

ISSN 0016-7789

GEOLOGIJA

1998

Ljubljana 1999

+115706

ISSN 0016-7789

GEOLOGIJA

IZVEDENJE - CONTENTS

1. Zvezek 2
2. Zvezek 3

3. Zvezek 4

4. Zvezek 5

5. Zvezek 6

6. Zvezek 7

7. Zvezek 8

8. Zvezek 9

9. Zvezek 10

10. Zvezek 11

11. Zvezek 12

12. Zvezek 13

13. Zvezek 14

14. Zvezek 15

15. Zvezek 16

16. Zvezek 17

17. Zvezek 18

18. Zvezek 19

19. Zvezek 20

20. Zvezek 21

21. Zvezek 22

22. Zvezek 23

23. Zvezek 24

24. Zvezek 25

25. Zvezek 26

26. Zvezek 27

27. Zvezek 28

28. Zvezek 29

29. Zvezek 30

30. Zvezek 31

31. Zvezek 32

32. Zvezek 33

33. Zvezek 34

34. Zvezek 35

35. Zvezek 36

36. Zvezek 37

37. Zvezek 38

38. Zvezek 39

39. Zvezek 40

40. Zvezek 41

41. Zvezek 42

42. Zvezek 43

43. Zvezek 44

44. Zvezek 45

45. Zvezek 46

46. Zvezek 47

47. Zvezek 48

48. Zvezek 49

49. Zvezek 50

50. Zvezek 51

51. Zvezek 52

52. Zvezek 53

53. Zvezek 54

54. Zvezek 55

55. Zvezek 56

56. Zvezek 57

57. Zvezek 58

58. Zvezek 59

59. Zvezek 60

60. Zvezek 61

61. Zvezek 62

62. Zvezek 63

63. Zvezek 64

64. Zvezek 65

65. Zvezek 66

66. Zvezek 67

67. Zvezek 68

68. Zvezek 69

69. Zvezek 70

70. Zvezek 71

71. Zvezek 72

72. Zvezek 73

73. Zvezek 74

74. Zvezek 75

75. Zvezek 76

76. Zvezek 77

77. Zvezek 78

78. Zvezek 79

79. Zvezek 80

80. Zvezek 81

81. Zvezek 82

82. Zvezek 83

83. Zvezek 84

84. Zvezek 85

85. Zvezek 86

86. Zvezek 87

87. Zvezek 88

88. Zvezek 89

89. Zvezek 90

90. Zvezek 91

91. Zvezek 92

92. Zvezek 93

93. Zvezek 94

94. Zvezek 95

95. Zvezek 96

96. Zvezek 97

97. Zvezek 98

98. Zvezek 99

99. Zvezek 100



GEOLOGIJA	LETNIK 1998	KNJIGA 41	Str. 1 do 487	LJUBLJANA 1999
------------------	--------------------	------------------	----------------------	---------------------------

20720505

GEOLOGIJA

GEOLOGIJA

Izdajatelj: Geološki zavod Slovenije, zanj v.d. direktor Trajan DIMKOVSKI
Publisher: Geological Survey of Slovenia, represented by Director Trajan DIMKOVSKI

Financirata Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije
in Geološki zavod Slovenije
Financed by the Republic of Slovenia, Ministry of Science and Technology and the
Geological Survey of Slovenia

Vsebina številke 41 je bila sprejeta na seji Uredniškega odbora dne 30. 3. 1999.
Manuscripts of the Volume 41 accepted by Editorial Board on March 30, 1999.

Glavni in odgovorni urednik:
Editor-in-Chief:
Bojan OGORELEC, *Ljubljana*

Uredniški in recenzijski odbor:
Editorial Board:

Stanko BUSER, *Ljubljana*, Giovanni Battista CARULLI, *Trieste*, Matija DROVENIK, *Ljubljana*,
Endre DUDICH, *Budapest*, Erik FLÜGEL, *Erlangen*, Miloš KEDVES, *Szeged*, Harald LOBITZER,
Wien, German MÜLLER, *Heidelberg*, Rinaldo NIKOLICH, *Trieste*, Simon PIRC, *Ljubljana*, Mario
PLENČIČ, *Ljubljana*, Danilo RAVNIK, *Ljubljana*, Mihael RIBIČIČ, *Ljubljana*, Marko ŠPARICA,
Zagreb, Josip TIŠLJAR, *Zagreb*, Dragica TURNSEK, *Ljubljana*, Miran VESELIČ, *Ljubljana*

Naslov:
Address:

GEOLOGIJA, Geološki zavod Slovenije - Geological Survey of Slovenia
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenia
Tel.: +386 (61) 136-75-98, Fax: +386 (61) 136-75-96

Za mnenje in podatke v posameznih sestavkih so odgovorni avtorji.
The authors themselves are liable for the contents of the papers.

Naklada: 600 izvodov. Printed in 600 copies.
Cena: 4000 SIT. Price: US \$ 60.

Tisk in vezava - Printed by: Delo - Tiskarna d.d., Dunajska 5, 1999.
Priprava tiska: Atelje Villa d.o.o., Ilirska Bistrica

Revija Geologija šteje med proizvode, za katere se plačuje 5 % davek od prometa proizvodov.
Mnenje je izdalo Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije na osnovi Zakona o
prometnem davku (Ur. l. RS, št. 4/92 in 71/93) dne 31.5.1999.

Copyright © 1999 - GEOLOGIJA

AVAILABILITY	TRADE NAME	IF ADVISED	ISSUE NOTICES	AUGUST 1999
--------------	------------	------------	---------------	-------------



560 20711

VSEBINA - CONTENTS

<i>Drobne, F.</i>		
V spomin Dušanu Novaku	7	
<i>Ribičič, M.</i>		
V spomin Renatu Verbovšku	9	
<i>Pavšič, J.</i>		
Željku Vidicu v spomin	11	
<i>Dimkovski, T.</i>		
Geološki zavod Slovenije	13	
The Geological Survey of Slovenia	15	

Stratigrafija - Stratigraphy

<i>Dolenec, T., Buser, S. & Dolenc M.</i>		
The Permian-Triassic boundary in the Karavanke Mountains (Slovenia): Stable isotope variations in the boundary carbonate rocks of the Koštutink Creek and Brsnina section	17	
(Permsko-triasna meja v Karavankah: variabilnost izotopske sestave v karbonatnih kaminah Košutnikovega potoka in Brsnine)		
<i>Jurkovšek, B., Ogorelec, B. & Kolar-Jurkovšek, T.</i>		
Spodnjetriasne plasti pri Tehovcu (Polhograjsko hribovje)	29	
Lower Triassic beds from Tehovec (Polhov Gradec Hills, Slovenia)	36	
<i>Bavec, M.</i>		
Ladinijske karbonatne in piroklastične kamnine med Jagrščami in Želinom	41	
Ladinian carbonate and pyroclastic rocks between Jagršče and Želin (Slovenia)	65	
<i>Dozet, S.</i>		
Lower Jurassic dolomite-limestone succession with coal in the Kočevski Rog and correlation with neighbouring areas (southeastern Slovenia)	71	
Spodnjejursko dolomitno-apnenčevo zaporedje s premogom v Kočevskem Rogu in primerjava s sosednjimi območji	89	
<i>Aničič, B. & Ramovš, A.</i>		
Vunduški peščenjak namesto ptujskogorski peščenjak - zahodne Haloze	103	
The Vundušek sandstone instead of Ptujška Gora sandstone in western Haloze	108	

Paleontologija - Paleontology

<i>Mikuž, V.</i>		
<i>Clypeaster scillae</i> Desmoulins, 1837 iz miocenskih plasti pri Podgračenem	109	
<i>Clypeaster scillae</i> Desmoulins, 1837 from Miocene beds near Podgračeno, Eastern Slovenia	113	
<i>Mikuž, V.</i>		
Kitovo vretence iz miocenskih plasti v Turju blizu Dola pri Hrastniku	117	
Whale vertebra from Miocene beds in Turje near Dol pri Hrastniku, Slovenia	120	
<i>Mikuž, V.</i>		
Nova najdba mastodontovega zoba iz bližnje okolice Ptuja	127	
The new finding of Mastodon's tooth from vicinity of Ptuj, NE Slovenia	131	

Petrologija - Petrology

<i>Kralj, Polona</i>	
Vulcanoclastic Rocks in Borehole Tdp-1/84 Trobni Dol, Eastern Slovenia	135
Vulkanoklastične kamnine v vrtini Tdp-1/84 Trobni Dol, vzhodna Slovenija	143
<i>Eržen- Trajanova, M.</i>	
Skrilav glinovec ali glinast skrilavec ?	157
Shale or slate ?	161

Sedimentologija - Sedimentology

<i>Skaberne, D.</i>	
Cirkon v gródenskem peščenjaku z območja Žirovskega vrha in Sovodnja	165
Zircon in the Val Gardena sandstone from the Žirovski vrh and Sovodenj region, W Slovenia	187

Tektonika - Tectonics

<i>Placer, L.</i>	
Structural meaning of Sava folds	191
Strukturni pomen Posavski gub	210
<i>Placer, L.</i>	
Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides	223
Prispevek k makrotektonski rajonizaciji ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi	243

Rudišča - Ore Deposits

<i>Zeeh, S., Kuhlemann, J. & Bechstadt, T.</i>	
The classical Pb-Zn deposits of the Eastern Alps (Austria/Slovenia) revisited: MVT deposits resulting from gravity fluid flow in the Alpine realm	257
(Nov pogled na klasična svinčevo-cinkova rudišča v Vzhodnih Alpah (Avstrija/Slovenija) - nastanek MVT rudišč zaradi gravitacijskega toka rudonosnih raztopin na območju Alp)	

Geokemija in okolje - Geochemistry and Environment

<i>Bidovec, M., Šajn, R. & Gosar, M.</i>	
Uporaba recentnih poplavnih sedimentov v geokemičnem kartiranju Slovenije	275
The use of recent overbank sediments in geochemical mapping of Slovenia	309
<i>Šajn, R., Bidovec, M., Gosar, M. & Pirc, S.</i>	
Geochemical Soil Survey at Jesenic area, Slovenia	319
(Geokemične raziskave tal na območju Jesenic)	

Hidrogeologija - Hydrogeology

<i>Žlebnik, L. & Drobne, F.</i>	
Pliocenski vodonosniki - pomemben vir neoporečne pitne vode za ptujsko - ormoško regijo	339
(Pliocene Aquifers - the Source of drinking Water for Ptuj and Ormož Region, Slovenia)	
<i>Urbanc, J. & Jamnik, B.</i>	
Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja	355
Isotope investigations of groundwater from Ljubljansko polje (Slovenia)	363

Seizmologija - Seismology

Vidrih, R. & Ribičič, M.
 Porušitve naravnega ravnotežja v hribinah ob potresu v Posočju 12. aprila 1998
 in Evropska makroseizmična lestvica (EMS-98) 365
 (Slope Failure Effects in Rocks at Earthquake - Posočje April, 12. 1998
 and European Macro seismic Scale (MS-98))

Geoinformatika - Geoinformatics

Komac, M. & Ribičič, M.
 Uporaba daljinskega zaznavanja - satelitskih posnetkov v inženirski geologiji
 (območje Črnega Kala) 411
 The application of remote sensing - satellite imagery in engineering geology
 (study area of Črni Kal, Slovenia) 429

Hafner, J.
 Klasifikacija satelitskih posnetkov z metodami umetne inteligence 435
 (Satelite image classification with artificial intelligence methods)

Nove knjige - Book reviews

South China Karst, (16 avtorjev) 477

Esad Prohić: Geokemija 478

Zanimivosti

Ramovš A.: Knjižnica Guida Stacheja 481

Navodila avtorjem 483
 Instructions to authors 485

Leta 1945 se je pridružil skupini mladih profesorov ki so prišli v delovanje v Študentski raziskovalni inštitut v Ljubljani.

Leta 1950 se je spisal na geološki oddelki Slovenskega geografskega inštituta v Ljubljani. Med študija je sodeloval pri raziskovalnih projektih na paleontološki področju, pri karstnega parakonske legacije, Ljubljani in Slovenije, sodeloval pri raziskovanju jama in pri karstnega krasa ter pri speleoloških raziskavah v Ljubljani. Leta 1956 je uspešno končal diplomsko delo in geologije s paleontologije „Stratigrafska raziskava v jami Vrata - Čop“.

Po dokončan študiju se je leta 1967 zaposlil na Geološkem inštitutu v Ljubljani. Zdeli je na oddelku za regionalno geologijo, nato na oddelku za ekološko geologijo in končno svoje veščine strokovno in raziskovalno oblikoval na oddelku za hidrogeologijo, kar je delal do upokojitve.

Na tem oddelku se je posvetil predvsem stratigrafske raziskave v Karst, karstnega in karstološkega raziskovanju ter paleontološke raziskovanju karstne področja voda. Bil je tudi strokovni sodelavec pri ustvarjanju karstne terminologije. V letu 1974 je sodeloval v Zagrebu s temo „Stratigrafsko-geografske raziskave slovenskega krasa“.

V času svojega študija se je sodeloval številnih kongresov in poslušal pri

V spomin Dušanu Novaku



14. septembra 1998 nas je zapustil kolega magister Dušan Novak, dipl.ing.geol. Bil je vsestranski geolog, hidrogeolog in speleolog. Povsod je delal z velikim navdušenjem. Njegovo obzorje je bilo široko, kar kažejo njegova dela. Bil je široko razgledan, skromen, strog do sebe in primerno zahteven do svojih sodelavcev, ki jim je vedno znal svetovati. Bil je pošten in iskren kolega. Za svoje raziskovalno delo je znal navdušiti mlajše sodelavce. Njegovo delo danes uspešno nadaljujejo v Sloveniji in tudi zunaj nje.

Rojen je bil 27. julija 1931 v Ljubljani. Tu je končal 5 razredov osnovne šole in popolno srednjo šolo z maturo - „višjim tečajnim izpitom“ na 4. gimnaziji leta 1950. Že v višji gimnaziji se je aktivno udeleževal pri prirodoslovnem krožku. V 8. razredu pa se je že podrobneje zanimal za problematiko Krasa.

Leta 1949 se je priključil skupini mladih jamarjev, ki so pričeli z delovanjem v Društvu za raziskovanje jam v Ljubljani.

Leta 1950 se je vpisal na geološki oddelek Prirodoslovno-matematične fakultete v Ljubljani. Med študijem je sodeloval pri raziskovanju postojnskega in planinskega podzemlja, pri barvanju ponikalnic Logaščice, Lokve in Hotenjke, sodeloval pri raziskovanju jam in pri barvanju Rinže ter pri speleoloških raziskavah v Liki. Julija 1956 je uspešno zagovarjal diplomsko delo iz geologije s paleontologijo „Hidrogeološke razmere ob črti Vreme - Osp“.

Po služenju vojaščine se je leta 1957 zaposlil na Geološkem zavodu v Ljubljani. Začel je na oddelku za regionalno geologijo, nato na oddelku za ekonomsko geologijo in končal svoje redne strokovne in raziskovalne obveznosti na oddelku za hidrogeologijo, kjer je delal do upokojitve.

Na tem oddelku se je povsem posvetil značilnostim kroženja vode v Krasu, kemičnim in bakteriološkim značilnostim ter problemom onesnaževanja kraške podzemne vode. Bil je med aktivnimi sodelavci pri sestavljanju kraške terminologije. V letu 1973 je magistriral v Zagrebu s temo „Hidrogeološka rajonizacija slovenskega krasa“.

V času svojega službovanja se je udeleževal številnih kongresov z geološko in

speleološko tematiko, oziroma simpozijev inženirske geologije in hidrogeologije. Njegova strokovna in znanstvena bibliografija je zelo številna in bogata. Obsega več kot 130 tiskanih del. Vzdrževal je osebne zveze s številnimi strokovnimi kolegi iz Amerike, Anglije, Nemčije, Španije, Italije, Avstrije, Poljske, Češke, Hrvaške in Kitajske. V letu 1992, ko je dopolnil 35 let delovne dobe, se je star 61 let upokojil.

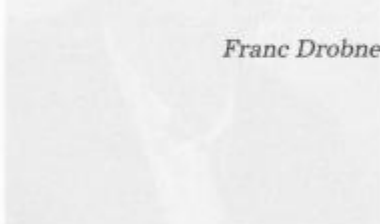
Posebej vidno je bilo njegovo delovanje na področju speleologije leta 1954 med ustanovitelji samostojne jamarske sekcije pri PD „Železničar“ v Ljubljani, od leta 1972-1982 in od 1986-1988 tajnik Jamarske zveze Slovenije, od 1972-1976 tajnik Speleološke zveze Jugoslavije, od 1982-1986 pa blagajnik Jamarske zveze Slovenije. Sourejal je revijo *Acta carsologica* in upravljal njeno poslovanje od 1978 dalje in bil odbornik Prirodoslovnega društva.

Ima zlati častni znak in srebrno značko Jamarske zveze Slovenije, zlato plaketo Ljudske tehnike, srebrno značko Planinske zveze Slovenije in je zaslužni član Zveze speleologov Jugoslavije. V Slovenskem geološkem društvu je do leta 1972 vodil sekcijo za predavanja. Prav tako je bil v letih 1982-1985 član uredniškega odbora časopisa *Jedro*, ki ga je izdajal Geološki zavod Ljubljana.

Dušan je bil izredno aktiven človek, organizator in zelo vnet dopisnik, ne samo pri Jedru, temveč tudi pri drugih časopisih in strokovnih revijah. Na dogajanja je gledal kritično z dobro namero, da se stvari popravijo in dobro uredijo. Bil je tudi delegat Geološkega zavoda v Zboru združenega dela Skupščine občine Ljubljana.

S svojim delom si je naš kolega Dušan Novak zaslužil, da se ga z hvaležnostjo spominjamo tudi sedaj, ko ga ne bo več med nami.

Franc Drobne



V spomin Renatu Verbovšku



Mnogo prežgodaj nas je zapustil kolega in prijatelj Renato Verbovšek, naš Rene. Šele sedaj se polagoma zavedamo njegove vloge v slovenski geologiji, ki jo je zaznamoval s samosvojo izbrano potjo.

Bil je praktik in bogato strokovno znanje mu je bilo osnova za reševanje zastavljenih problemov. Pri tem se je odlikoval z veliko vztrajnostjo in z značajem, ki ni poznal strahu in dvoma v uspeh. Ni se zadovoljil s polovičnimi rešitvami, želel je priti stvarno do dna.

Rojen je bil leta 1951 v Ljubljani, kjer je po končani Poljanski gimnaziji vpisal na Univerzi v Ljubljani smer geologijo, ki jo je uspešno končal leta 1975. Že v času študija se je usmerjal v področje hidrogeologije, kar je posledica njegovega udejstvovanja kot jamar. Že takoj po zaposlitvi na Geološkem zavodu Ljubljana (ki se je kasneje preimenoval v Inštitut za geologi-

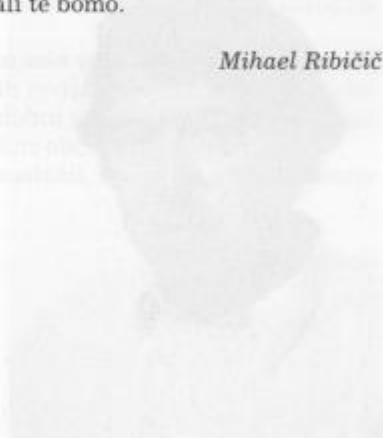
jo, geotehniko in geofiziko) je začel samostojno reševati delovne naloge. Njegovo osnovno področje dela je bilo zelo zanimivo in zahtevno - kako poiskati in zajeti podtalno pitno ali termalno vodo. Predvsem so ga zanimala zajetja vode v večjih globinah in v zahtevnih geoloških razmerah. Z bogatim pridobljenim teoretičnim in praktičnim znanjem je vodil raziskave ne samo v Sloveniji, temveč tudi drugod po takratni Jugoslaviji, največ v Makedoniji. S svojimi uspešnimi rezultati je postal eden vodilnih jugoslovanskih strokovnjakov na področju raziskav termalnih in mineralnih vod.

Iz njegove bogate bibliografije so razvidne zahtevne raziskave na številnih perspektivnih in pomembnih območjih pridobivanja termalne vode v Jugoslaviji. Na osnovi poznavanja in razumevanja geološke zgradbe pa je uspel odkriti tudi nova območja, bogata z termalno vodo. Pri delu ga je vodila radovednost in neprestana želja za napredkom. Vedno je težil za ciljem uspeti in pridobiti nove ugotovitve. Njegov pristop k reševanju različne problematike je bil zelo umirjen, toda kdor ga je bolje spoznal, je pod njegovo zunanjo mirnostjo začutil zelo močan temperament, ki ga je aktiviral v kritičnih trenutkih.

Ob raziskavah za pitno, termalno in mineralno vodo je spoznal, kako pomembno je kvalitetno izvedeno vrtnanje in oprema vrtine. Spoznal je, da pravilni geološki za-

ključki o možnosti zajema podtalne vode večkrat propadejo zaradi tehnoloških problemov pri vrtanju. Velika tehnološka nadarjenost in zanimanje za vse faze dela mu je zato omogočila, da je spoznal vse skrivnosti zahtevne vrtalne tehnike. Že zgodaj po letu 1980 je vzporedno s širjenjem znanja s področja hidrogeologije začel pridobivati tudi znanje s področja vrtanja. Želja, da bi z novimi uspešnejšimi tehnologijami vrtanja pridobival vodo, ga je vodila, da je skupaj z ženo začel podjetniško pot na področju vrtanja. Takorekoč iz nič je z veliko iznajdljivostjo iz iztrošene opreme vedno potegnil največ kar se da. Korak za korakom sta počasi dograjevala podjetje, ki je bilo čedalje bolj opremljeno. Ob tem sta iskala nove izvirne rešitve, ki jih v Sloveniji še niso uporabljali in to na področju čim večje mobilnosti vrtalne garniture in uporabe biopolimernih izplak. Po letu 1993 se je odločil za samostojno podjetniško pot, vendar na hidrogeološko stroko ni pozabil. Njegova življenjska pot se je v trenutku prekinila, ko je bil na vrhuncu ustvarjalnosti. Geologom nam bo ostal v spominu kot odličen strokovnjak, kolega, sodelavec in prijatelj, ki je pustil s svojo dejavnostjo in osebnim pristopom med nami globok pečat. Pogrešali te bomo.

Mihael Ribičič



V spomin Željku Vidicu



Zopet je ugasnilo mlado življenje. Čeprav naravoslovci poznamo zakone narave, se ne moremo sprijazniti s tem, da konča nekdo poln načrtov, iskrene zavzetosti za stroko, nekdo, ki bi ga stroka prav zdaj tako zelo potrebovala. Željko se je rodil na Jesenicah 27. januarja 1965 leta, kjer je hodil v osnovno šolo. Od tam ga je ljubezen do morja zanesla v Piran, kjer je obiskoval Srednjo pomorsko in prometno šolo, ki jo je leta 1984 zaključil. Po maturi se je odločil za študij naravoslovja. Fizika je bila tista, od katere je pričakoval največ odgovorov za svojo zvedavo dušo. Ni zadovoljila vseh njegovih pričakovanj, čeprav je študij fizike absolviral, se je odločil za geologijo. Na študij geologije je prinesel bogato doto s fizike. Dobro znanje matematike in fizike mu je dalo osnovo za drugačno razmišljanje o geologiji. Največji izziv je videl v paleontologiji. Že v

nižjih letnikih študija je našel snov za svoje nadaljnje raziskovanje. Začel se je seznanjati z mikroendoliti in njihovim pomenom za geologijo. Tematika ga je navduševala ves čas študija, prosti čas je porabil za proučevanje mikroendolitov v različnih objektih in za zbiranje strokovne literature. Z zavzetim delom, sistematičnim pristopom in kupom novih idej je izdelal model delovanja cianobakterij na karbonatno obalo slovenskega primorja ter njihovo odvisnost od globine.

Zato je svoje diplomsko delo lahko izdelal razmeroma hitro in pri tem dobil kvalitetne rezultate. Njegovo delo je bilo ocenjeno z najvišjimi ocenami in je zanj prejel fakultetno Prešernovo nagrado za študente.

Pri raziskovalnem delu ga je odlikovala jasna opredelitev problema, izvirni pristop pri njegovem reševanju in velika delovna vnema.

Mesto mladega raziskovalca na fakulteti, ki ga je zasedel leta 1996, ga je neizmereno osrečilo. Z veliko voljo in navdušenjem je razširil svoje raziskovanje cianobakterij. Želel je izpopolniti svoj model globinskega coniranja današnjega morskega okolja, ki bi ga lahko uporabil tudi za študij fosilnih razmer. Iskal je karbonatni medij, ki bi bil podobne kvalitete na vseh globinah, primerno velik in presojen. Našel ga je v spikulah kalcspongij. Začel je sistematično zbirati vzorce iz različnih globin v severnem Jadranu. Da bi lažje opazoval morsko dno in pobiral vzorce z dna, je končal

tečaj potapljanja. Preučeval je vzorce, ki so jih puščale različne vrste cianobakterij v spikulah spongij. Za objektivno obdelavo vzorcev si je izdelal svoj računalniški program. Posnel je na stotine fotografij vzorcev spikul, ki jih je potem računalniško obdelal in že dobival prve spodbudne rezultate, ki jih je to jesen nameraval strniti v magistrski nalogi ...

V svojem kratkem podiplomskem delovanju je pripravil predavanje na 13. strokovnem posvetovanju slovenskih geologov leta 1997, napisal poljuden članek za revijo Gea o mikroendolitih in imel v pripravi razpravo za strokovno geološko revijo.

Morje je ustavilo njegovo mlado, vendar uspešno strokovno kariero. Ob tem nas tolaži misel, da je vsaj v svojem raziskovalnem delu našel kanček sreče, ki mu je bila sicer v življenju tako skopo odmerjena.

Jernej Pavšič



Geološki zavod Slovenije

S sklepom Vlade republike Slovenije z dne 10. septembra 1998 (Ur.l. RS št. 66, z dne 1.10.1998) je bil del Inštituta za geologijo, geotehniko in geofiziko preoblikovan v javno raziskovalno organizacijo **Geološki zavod Slovenije (GeoZS)**. S tem se je Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, ki je imel status javnega zavoda in je nastal leta 1990 ob reorganizaciji Geološkega zavoda Ljubljana, razdelil na dva dela: na GEOLOŠKI ZAVOD SLOVENIJE in na GEOINŽENIRING d.o.o. Na ta način je novonastali Geološki zavod Slovenije naslednik nekdanjega Geološkega zavoda Ljubljana oz. Inštituta za geologijo, geotehniko in geofiziko.

Geološki zavod Ljubljana (GZL) je bil v svetovnem merilu pomemben izvajalec del pri geoloških raziskavah, v rudarstvu in gradbeništvu. Z 2700 zaposlenimi delavci, je izvajal dela doma, na celotnem območju nekdanje Jugoslavije in v 25 drugih državah na vseh celinah sveta. Kot naslednik Geološkega zavoda za Slovenijo (GZS), ki ga je leta 1946 ustanovila Vlada LR Slovenije, je opravljal tudi naloge republiškega geološkega zavoda. Te so bile ob reorganizaciji 1990 prenesene na Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko.

Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko (IGGG), ki je imel status rudarsko-raziskovalne organizacije, je bil v skladu z Zakonom o zavodih organiziran kot samostojen inštitut. Izvajal je temeljne, aplikativne in razvojne raziskave v vseh panogah geologije in sorodnih dejavnostih: na področju regionalne geologije, izdeloval je vse vrste geoloških kart, raziskoval mineralne in energetske surovine, premog, nafto in plin, uran, kovinske in nekovinske mineralne surovine, pitne, mineralne in industrijske vode, geotermalno energijo, deloval na področju varstva okolja, gradbeništva, geotehničnega projektiranja, geofizike itd. Poleg naštetih dejavnosti je deloval v okviru inštituta geološki informacijski center.

Mnogi odprti kamnolomi, gramoznice in rudniki so začeli in še danes uspešno delujejo na osnovi raziskovalnih dosežkov in znanj strokovnjakov inštituta. Številni elaborati o rezervah mineralnih surovin omogočajo nemoteno proizvodnjo sedanjim kamnolomom. Večina zdravilišč obratuje na osnovi raziskovalnih dosežkov strokovnjakov IGGG. Gradbeniški objekti stojijo na osnovi uspešnih projektantskih rešitev, ugotavljanja geotehničnih karakteristik tal in stabilnostnih presoj brežin, ki so jih izvajali strokovnjaki IGGG. Projektiranje površinskih in podzemnih objektov, vključno z numeričnim modeliranjem, monitoringom pri izvedbi AC programa v Sloveniji, so tudi prinesli pomembne rezultate in rešitve strokovnjakov IGGG. Problemi preskrbe Slovenije z neoporečno pitno vodo, ki postajajo iz leta v leto bolj pereči, so

spodbudili zaposlene na IGGG-ju k intenzivnejšemu iskanju novih vodonosnikov.

IGGG je zaposloval največ 240 strokovnjakov in je predstavljal največjo raziskovalno organizacijo za geološke raziskave v Sloveniji. Ob preoblikovanju v Geološki zavod Slovenije je bilo na IGGG-ju zaposlenih 142 ljudi.

GEOLOŠKI ZAVOD SLOVENIJE (GeoZS)

Na ustanavljanje Geološkega zavoda Slovenije je vplivalo več razlogov. Osnovni razlogi, ki so vplivali na to odločitev, so bili:

- Neurejeno financiranje dejavnosti, ki se izvaja za potrebe državnih organov in njihovih institucij.
- Zmanjšanje obsega del zaradi določil Zakona o graditvi gradbenih objektov, ki prepovedujejo javnim zavodom projektiranje za graditev.
- Usklajevanje dejavnosti znanstveno-raziskovalnega in aplikativno-tržnega dela na področju geologije.

Za izvajanje svoje dejavnosti je Geološki zavod Slovenije organiziran v dva dela:

- Raziskovalni sektor in
- Geološko strokovno službo.

V **raziskovalnem sektorju** delujejo raziskovalci in programske skupine, ki izvajajo raziskovalne programe in projekte v okviru nacionalnega raziskovalnega programa. Programi so dolgoročni in zajemajo vsa strokovna področja, pomembna za geološke raziskave državnega ozemlja. Raziskave se izvajajo v naslednjih programih, ki so istočasno organizirano-obračunske enote:

- petrologija, mineralogija in sedimentologija,
- paleontologija,
- geološke karte,
- mineralne surovine,
- geokemija in geologija okolja in
- podzemne vode.

Geološka strokovna služba zbira in posreduje geološke podatke in dokumentacijo ter pripravlja strokovne podlage iz geologije za organe državne uprave. V okviru geološke strokovne službe deluje **geološki informacijski center**, ki vodi baze podatkov in strokovni ter materialni arhiv vseh geoloških preiskav na območju Slovenije.

V okviru Geološkega zavoda Slovenije deluje sodobna strokovna knjižnica z IN-DOK centrom. Fond knjižnice obsega 14.901 knjižnih enot in preko 246 naslovov periodike ter izredno bogato strokovno dokumentacijo (preko 28.000 enot). Geološki zavod Slovenije izdaja znanstveno revijo "Geologija" in občasno druge znanstvene in strokovne publikacije. S svojim kadrovskim potencialom sodeluje v učnem procesu na ljubljanski Univerzi ter izobražuje in usposablja mlade raziskovalce.

Geološki zavod Slovenije ima 86 zaposlenih, od tega:

- 12 doktorjev znanosti,
- 13 magistrov znanosti,

- 24 univ.dipl.inženirjev,
- 2 inženirja,
- 21 tehnikov in
- 14 ostalih administrativno-tehničnih sodelavcev.

Organ upravljanja Geološkega zavoda Slovenije je Upravni odbor. Člani Upravnega odbora so predstavniki Ministrstva za znanost in tehnologijo, Ministrstva za okolje in prostor in Ministrstva za gospodarske dejavnosti, ki jih določi Vlada Republike Slovenije, ter dva člana iz Geološkega zavoda Slovenije, ki ju izvolijo zaposleni.

Trajan Dimkovski
v.d. direktorja
Geološki zavod Slovenije

The Geological Survey of Slovenia

Quite recently, with the decree of the government of the Republic of Slovenia dated 10 September 1998 (Official gazette RS, no. 66, 1.10.1998), a part of the Institute for Geology, Geotechnics and Geophysics (IGGG) was transformed into the public research organization **Geological Survey of Slovenia (GeoZS)**. In this way the former public institution Institute for Geology, Geotechnics and Geophysics that was founded in 1990 after reorganization of the Geological Survey of Ljubljana, was divided into two parts: the Geological Survey of Slovenia and the Geoinženiring d.o.o.

The Geological Survey of Ljubljana (GZL) was a globally important organization for fundamental and applied geologic investigations. With a staff of 2700, it operated in Slovenia, in other parts of former Yugoslavia, and in 25 countries all over the world. As successor of the Geological Survey for Slovenia (GZS) that was founded in 1946 by the government of the People's Republic of Slovenia, the organization performed also all duties of a regional geological survey. This broad scope of activities was transferred in 1990 during the reorganization of the Survey to the Institute for Geology, Geotechnics and Geophysics (IGGG).

The IGGG, Institute for Geology, Geotechnics and Geophysics (IGGG), was concerned with basic, applied and development activities in all branches of geology: regional geology and mapping for various purposes, exploration of mineral and energy resources, drinking, industrial and mineral water resources, geothermal energy, environmental protection, geophysics, geotechnics for mining and building, etc. The IGGG had a staff of 240 (at the time of reorganization in 1998 only 142), and was the largest geologic institution in Slovenia.

The new **GEOLOGICAL SURVEY OF SLOVENIA (GeoZS)**, consists of two units: the Research sector and the Geological service.

The experts employed in the **Research sector** are engaged in various research programs in the frame of the Slovenian national research program.

The individual programs are separate financial units, and are of longer term duration. They are as follows:

- Petrology, mineralogy and sedimentology,
- Paleontology,
- Geological mapping,
- Mineral resources,
- Geochemistry and environmental geology,
- Ground waters.

The **Geological service** collects and distributes geological data and documentation, and prepares geologic information for the authorities. In its frame the geological information center entertains the geological databases and material archives for all geologic investigations on the territory of Slovenia.

The Geological Survey of Slovenia hosts the modern geologic library with the information center. The library funds number 14,901 book units, 246 titles of periodicals and a rich unprinted geologic documentation that exceeds 28,000 units. The Survey publishes the scientific periodical "Geologija", and issues irregularly various scientific and professional publications and maps. With its staff the Survey takes part in the teaching process of the University in Ljubljana.

The staff of the Geological Survey of Slovenia numbers at present 86 employees. Among them are

- 12 doctors of science,
- 13 masters of science,
- 24 university diploma engineers,
- 21 technician, and
- 14 administrative and laboratory workers.

The managing body of the Survey is the Administrative board. Its members are the representatives of the Ministry for science and technology, Ministry for environment and land management and Ministry for economy, all appointed by the government of Slovenia, and two members of the Geological Survey of Slovenia who are elected by its staff.

Trajan Dimkovski
Deputy Director
Geological Survey of Slovenia

The Permian-Triassic boundary in the Karavanke Mountains (Slovenia): Stable isotope variations in the boundary carbonate rocks of the Košutnik Creek and Brsnina section

Permsko-triasna meja v Karavankah: variabilnost izotopske sestave v karbonatnih kamninah Košutnikovega potoka in Brsnine

Tadej Dolenc^{1,2}, Stanko Buser¹, Matej Dolenc³

¹ University of Ljubljana, Department of Geology, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia

² Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia

³ Geoexp d.o.o., Slap 21, 4290 Tržič, Slovenia

Key words: P/Tr boundary, Karavanke Mountains, oxygen and carbon stable isotopes

Ključne besede: meja perm-trias, Karavanke, stabilni izotopi kisika in ogljika

Abstract

The stable isotope composition of the Upper Permian and Lower Triassic beds at two locations (Košutnik Creek and Brsnina) in the southern Karavanke Mountains has been used to investigate $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ variations of the well exposed undisturbed marine carbonate sequence across the Permian-Triassic boundary. The lithostratigraphic boundary between the Lower Triassic-Scythian and underlying Upper Permian beds is transitional and no exact line can be drawn between them. The transition from Permian to Triassic is characterized by a major shift in carbonate carbon $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ from heavier to lighter values. The results suggest that the carbon isotope variability at the P/Tr boundary reflects global changes in the carbon cycle and/or climatic changes, probably controlled by the Upper Permian regression and further eustatic oscillations of the Tethys sea level and by tectonic. The corresponding $\delta^{18}\text{O}$ variability should be regarded as indication of seawater oxygen isotopic composition, salinity and temperature changes, changes in carbonate mineralogy of the rocks, postdepositional alterations or some combinations of all the mentioned possibilities.

Kratka vsebina

Članek obravnava variabilnost izotopske sestave kisika in ogljika v karbonatnih kamninah na meji perm-trias v Košutnikovem potoku in pri Brsnini v Karavankah. Za raziskano območje je značilna neprekinjena sedimentacija na prehodu iz perma v trias. Meja med zgornjepermskimi in spodnjestetskimi plastmi ni točno določena. Predpostavljamo, da poteka med tankoplastnatim sivim mikritnim dolomitom, ki ne vsebuje značilnih fosilov in rdečo, pretežno klastično sedimentno sekvenco, debelo od 5 m v Košutnikovem potoku in do 25 m na Brsnini. Za prehod iz perma v trias je značilna negativna kisikova in ogljikova anomalija. Variabilnost izotopske

sestave ogljika na meji P/Tr v raziskanih profilih odraža globalne spremembe v ogljikovem ciklusu, in klimatske spremembe, ki so najverjetneje posledica zgornjepermske regresije ter kasnejših spodnjetriasnih eustatičnih nihanj morske gladine. Variabilnost izotopske sestave kisika v mejni sekvenci pa je po našem mnenju najverjetneje posledica različnih faktorjev, tako variabilnosti izotopske sestave kisika v takratni morski vodi, slanosti, temperature kot mineralne sestave kamnin in post sedimentacijskih sprememb.

Introduction

The Permian-Triassic (P/Tr) boundary events which took place approximately 250 Ma ago, led to one of the most extensive mass extinctions in the history of the life. Their causes are not yet well known. The most plausible current explanation for this extinction appears to evolve multiple elements such as volcanism-induced cooling, extraterrestrial impact and global anoxia (Erwin, 1994). It was already demonstrated that at the P/Tr boundary a reflection of worldwide collapse of terrestrial ecosystems with accompanying loss of standing biomass is indicated by unparalleled abundances of fungal remains (Brinkhuis & Visscher, 1994). Studies of several P/Tr boundary sections all over the world show that the transition from Permian to Triassic is characterized by a negative $\delta^{13}\text{C}$ excursion of inorganic and organic carbon isotopes (Magaritz et al., 1988, 1992; Baud et al., 1989; Magaritz & Holsler, 1991; Magaritz & Stemmerik, 1989; Erwin, 1993; Wang et al., 1994; Faure et al., 1995; Doleneč et al., 1981). A considerable enrichment of light carbon isotopes in marine carbonates and in organic matter is associated with many extinction related boundaries not only the P/Tr. The corresponding oxygen isotope anomaly is sometimes more or less parallel but usually less pronounced. Parallel behaviour of oxygen and carbon isotopes in marine carbonates may suggest some common driving mechanisms (Verhagen et al., 1990). It could be related to the dominance of meteoric water during the marine regression (Verhagen et al., 1990), oxidation of marine organic matter and accompanying kinetic oxygen isotope fractionation (Gruszczyński et al., 1989). According to Schrag et al. (1995) the oxygen isotopic composition of diagenetically unaltered bulk carbonates primarily reflects the temperature and/or isotopic composition of the seawater. Based on this assumption the major $\delta^{18}\text{O}$ excursions thus could be related to global climatic changes, as well as changes in the isotopic composition of the ocean water.

The particular aims of this study have been to complete the previous investigations of the P/Tr boundary in the Karavanke Mountains (Doleneč et al., 1981) and to confirm the systematic changes during the Permian-Triassic transition.

Geological setting and stratigraphy

In the southern Karavanke Mountains, at Košutnik Creek and Brsnina (Fig. 1.) sedimentation continued concordantly across the P/Tr boundary. The biostratigraphic and lithostratigraphic boundary between the Lower Triassic (Scythian) beds and the underlying Upper Permian beds is transitional and no exact line can be drawn between them (Fig. 2.). The Middle Permian Val Gardena Formation of mostly fluvial origin is overlain by a 270 m thick Upper Permian carbonate sequence that was

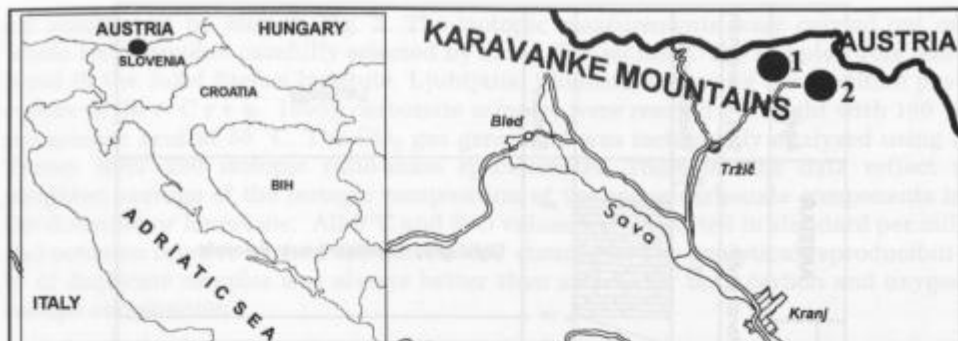


Fig. 1. Map showing location of the Karavanke Mountains (1 - Košutnik Creek section, 2 - Brsnina section)

named the Karavanke Formation (B u s e r et al., 1986). The basal unit of this sequence is represented by an up to 70 m thick evaporitic facies composed of cellular dolomite (rauhwacke) which alternates with rare black bituminous shales and grey vuggy dolomites. In the lower part of the basal unit, only in the Košutnik Creek a 1.5 m thick sequence of well bedded black bituminous biomicritic limestone was found. According to B u s e r (1974; 1980) it contains tiny sulfur geodes, *Bellerophon* gastropods and numerous microfossils (*Gymnocodium bellerophontis*, *Permocalculus fragilis*, *Velebitela triplicata*, *Mizzia velebitana* and *Glomospira* sp.) that permitted to prove for the first time the Upper Permian age of the Karavanke Formation. The evaporitic sequence is overlain by a thick succession (up to 200 m) of fossiliferous biomicritic dolomites probably deposited in an open lagoon and shallow shelf environment. The Upper Permian age of these beds is indicated by calcareous algal assemblages (*Mizzia cornuta*, *Permocalculus* sp., *Connexia* sp.), as well as by very common small foraminifers which belong to *Glomospira* sp., *Agathamina* sp. and *Hemigordius* sp. (R a m o v š, 1986). About 70 to 80 m below the P/Tr boundary a porphyrite dyke of Middle Triassic age cuts the Upper Permian beds.

The P/Tr boundary is placed arbitrarily at the end of the sedimentation of the well bedded grey dolomicrite. It is followed by a red coloured more or less terrigenous sequence predominantly composed of well bedded siltstones, mudstones and sandstones, alternating with micritic dolomites that contain no characteristic fossils. The sequence was deposited in a very shallow evaporitic part of the basin, into which abundant terrigenous material was transported. Its thickness is about 5 m in Košutnik Creek and 25 m at Brsnina. In the investigated area these beds are overlain mostly by dark grey and brown micritic and sparitic limestones intercalated with oolitic limestone, marls and shales.

Methods

The boundary profiles in the Košutnik Creek and at Brsnina were systematically sampled at 1 and 5 m intervals, except in the vicinity of the biostratigraphically and lithostratigraphically defined P/Tr boundary where sampling intervals were reduced to 20, 10 and 5 cm. The relative stratigraphic position of the samples and the analyti-

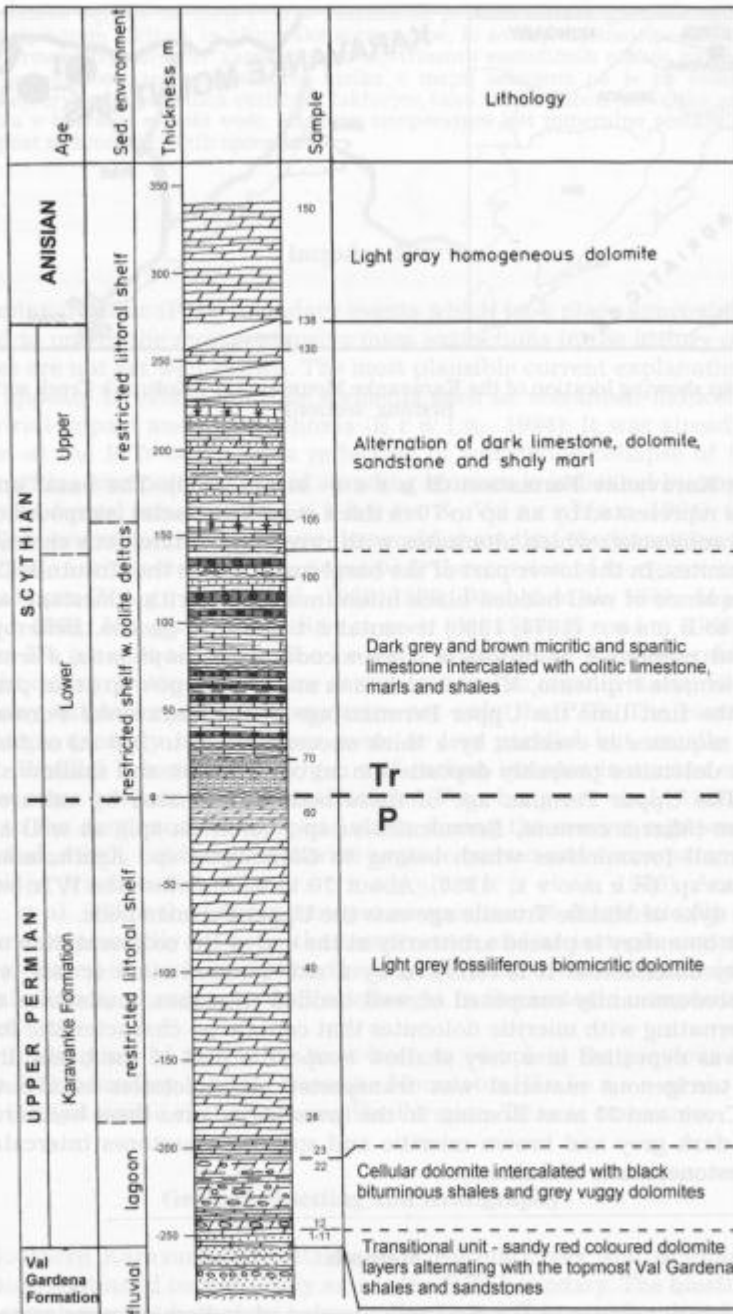


Fig. 2. Stratigraphic section of the Upper Permian and Scythian beds in the Karavanke Mountains, Tržič section (after Dolencec et al., 1981)

cal results can be seen in Fig. 2. The isotopic measurements were carried out on whole rock samples, carefully selected by using thin sections. The samples were analyzed in the Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia, following the modified procedure of (M c C r e a, 1950); carbonate samples were reacted overnight with 100 % phosphoric acid at 50 °C. The CO₂ gas generated was isotopically analyzed using a Varian MAT 250 isotopic ratio-mass spectrometer. Therefore the data reflect a weighted average of the isotopic composition of the entire carbonate components in the dolomite or limestone. All δ¹³C and δ¹⁸O values were reported in standard per mill (‰) notation relative to the PDB and SMOW standards. The analytical reproducibility of duplicate samples was always better than ±0.1 ‰ for both carbon and oxygen isotope composition.

Results and discussion

After the Middle Permian period during which the predominantly clastic Val Gardena Formation was deposited in continental environment gradual subsidence affected the extensive area of the Karavanke Mountains. The subsidence was followed by a vast marine transgression of the Tethys Sea from the SE to the NW. A transgression is consistent with conditions observed all over Europe during the late Permian. Documentations of a transgression exist not only in the Zechstein basin, but also to the south in the Tethys (A s s e r e t o et al., 1973). It was a time of climatic and geographic changes from continental to marine environment which are reflected in an intertongued lithofacies. In the Lower part of the Upper Permian thin sandy dolomite layers interfinger with the topmost Val Gardena shales and sandstones (B u s e r, 1980). The thickness of this basal unit which grades upward into the evaporitic sequence of the Upper Permian is about 5 m. The carbonate rocks of the evaporitic sequence (Fig. 3.) show the variation of δ¹³C mostly in the range between + 0.69 and + 3.83 ‰ (PDB) and δ¹⁸O between + 24.31 and + 26.93 ‰ (SMOW). Similar values have been also found in the basal Upper Permian evaporitic unit of the southern Karavanke Mountains at Trzič (D o l e n e c et al., 1981). Outside this range is the sandy dolomite of the basal unit which is distinctly depleted in ¹³C (δ¹³C = - 2.50 ‰) and ¹⁸O (δ¹⁸O = + 21.44 ‰). This depletion is probably related to the precipitation from low salinity solutions with a predominant component of meteoric water and/or post-depositional isotopic alteration. The oxygen isotopic composition of the evaporitic sequence is not as high as expected from the recent evaporitic environments. Modern dolomites from the Arabian Gulf have a δ¹⁸O range mostly from + 30.4 to + 34.3 ‰, while those from the Baffin Bay are even slightly heavier with δ¹⁸O between + 34.5 to + 35.5 ‰ (T u c k e r, 1990). Such values are consistent with carbonate minerals formation from hypersaline marine derived fluids (P e r k i n s et al., 1994). The observed depletion of the evaporitic sequence in ¹⁸O suggests the influx of fresh water into the evaporitic basin and extensive meteoric diagenesis which also lead to the various distribution phenomena. Thus δ¹⁸O values are to be regarded as indicators of seawater and pore fluids isotopic composition, as well as temperature and changes in mineralogy. Studies of carbonate rocks have shown that the oxygen-isotope system is more subject to exchange during diagenesis and burial metamorphism than the carbon isotope system (M a g a r i t z, 1975; 1983). By analysing the least visibly altered samples from the evaporitic sequence we attempt to minimise this effect. Thus we can suppose that although the post depositional changes more or less altered the

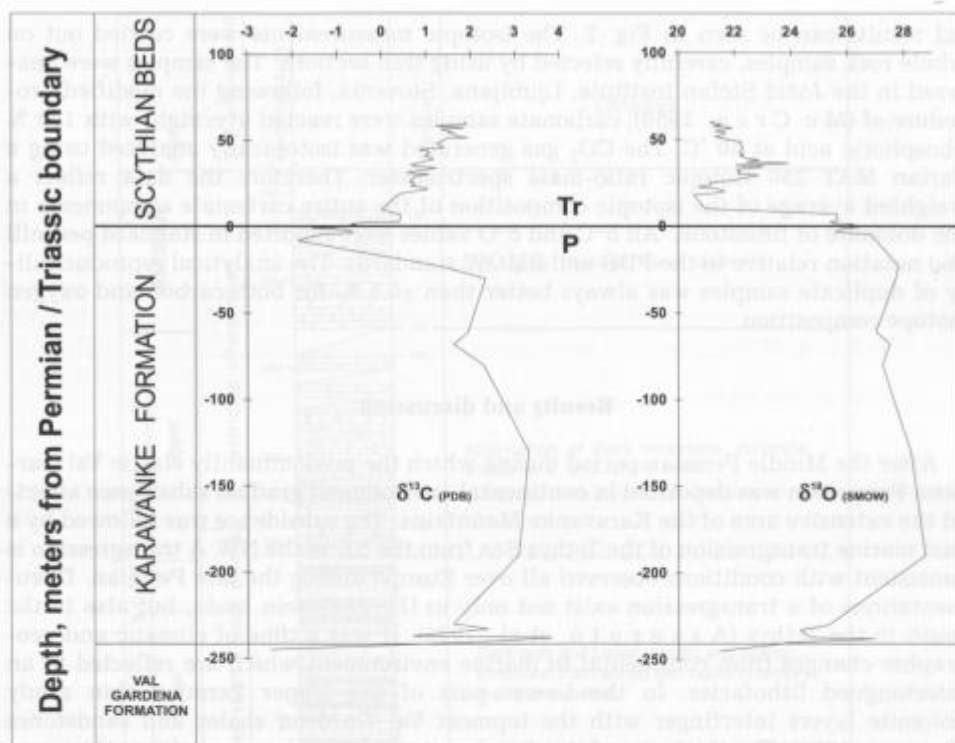


Fig. 3. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ data of the Košutnik Creek section

original oxygen and carbon isotopic composition, the primary paleoceanographic signal was not completely overprinted. Parallel behaviour of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ curves and a relatively high correlation ($r = 0.89$) between $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ suggest a transition from a terrestrial to shallow marine evaporitic conditions.

The transition from Middle Permian to Upper Permian is characterized by a considerable enrichment of carbonates with ^{13}C (from -2.50 to $+3.83$ ‰) and ^{18}O (from $+21.44$ to $+26.93$ ‰). Positive $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ excursions started when a transgressive sea flooded the vast alluvial Middle Permian landscape. The general hypothesis proposed to explain positive $\delta^{13}\text{C}$ shifts is that during the marine transgression, the expansion of shallow shelf areas increased the organic carbon burial rate and enriched the ocean in ^{13}C (Magaritz & Stemmerik, 1989; Compton et al., 1990; Faure et al., 1995). In terms of the corresponding isotopic changes, periods of high-sea level are reflected in enrichment of ^{13}C in carbonates (Hallam, 1992). According to the previous interpretation we suggest that a positive $\delta^{13}\text{C}$ shift at Middle Permian-Upper Permian transition resulted from changes in the burial rate of organic carbon which began with the transgression of the Tethys Sea. The corresponding oxygen isotope excursion is similar to those in $\delta^{13}\text{C}$ and also indicates changes from terrestrial to marine-evaporitic conditions.

Moving upward in the sections the sedimentary facies of the Upper Permian beds evolved from more or less restricted lagoon dolomites alternated with sabkha gypsum

toward open lagoon-shallow shelf biomicrite dolomite, suggesting a transgressive trend of the Tethys Sea. The isotopic data show a slight enrichment in ^{13}C and ^{18}O of biomicrite dolomite relative to the rocks of the evaporitic unit with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values mostly in the range from +2.0 to +3.1 ‰, and from +27.3 to +28.3 ‰. Out of this range is the host rock of the porphyrite dyke enriched in light carbon ^{13}C and oxygen ^{18}O isotopes (up to -1.3 ‰ for $\delta^{13}\text{C}$ and up to +17.8 ‰ for $\delta^{18}\text{O}$). However, the ^{13}C and ^{18}O alteration zones are only about 4 m thick.

Isotopic composition similar to those of the biomicrite dolomite has been also reported from the Upper Permian sections of the Carnic Alps (Magaritz & Holsler, 1991), as well as from the Upper Permian beds at Tržič (Dolenec et al., 1981). The relatively high $\delta^{13}\text{C}$ values of these carbonate rocks can be related to the worldwide high storage of organic matter during the Late Paleozoic (Magaritz & Holsler, 1991), while $\delta^{18}\text{O}$ values may reflect to some extent the temperature of the Tethys Sea water and /or dolomitizing solution.

The transition from Permian to Triassic is characterized by an abrupt shift of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ toward lower values. In terms of amplitude, the depletion of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ across the P/Tr boundary is of about 4 ‰ for $\delta^{13}\text{C}$ and 7 ‰ for $\delta^{18}\text{O}$. A detailed sampling of the boundary interval in the Košutnik Creek and at Brsnina shows that the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ anomalies are not confined strictly to the lithostratigraphically and biostratigraphically proposed boundary. A major global drop of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ begins

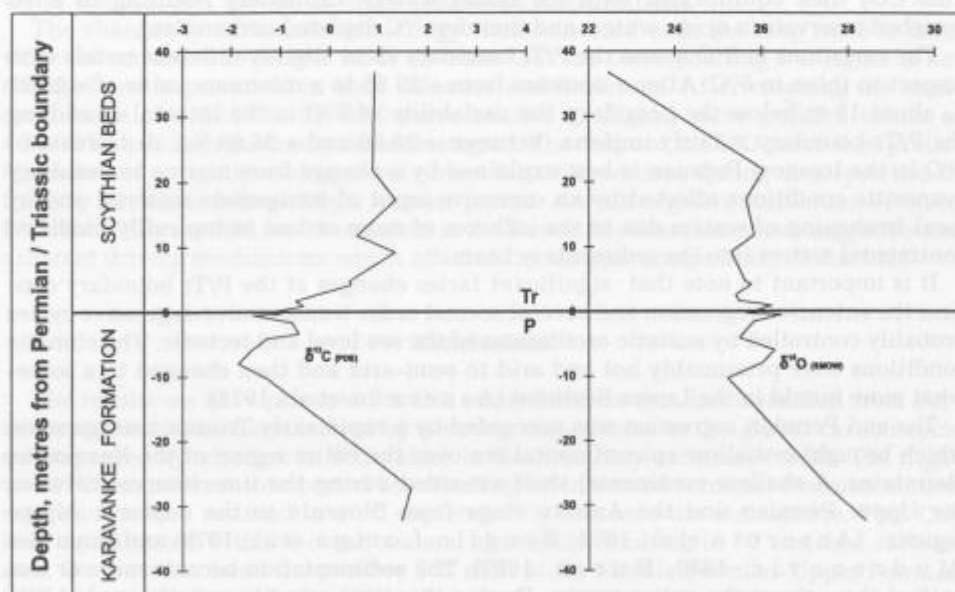


Fig. 4. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ data of the Brsnina section

about 30 m below the boundary. In Carnic Alps a decrease of $\delta^{13}\text{C}$ begins about 60 m (Magaritz & Holsler, 1991), while in the Idrijca Valley the same shift of $\delta^{13}\text{C}$ starts only 5 m below the P/Tr boundary (Dolenec & Ramovš, 1996). The $\delta^{13}\text{C}$ curve reaches the peak value of -1.86 ‰ about 8 m below the boundary and after that

suffers a succession of additional drop at the end of the Permian and two in the lowermost Scythian, before settling to more normal values which are 1 to 2 ‰ lower relative to those in the Upper Permian (Fig. 4.). If $\delta^{13}\text{C}$ values are to be regarded as indicators of changes in the oxidation and reduction system of carbon the shape of the carbon curve thus reflects at least two separate phases of subaerial oxidation of organic matter at the end of the Permian and two similar phases in the Lower Scythian. These phases may be related to the eustatic oscillations of the Tethys Sea level, as well as to the local fluxes of isotopically light organic derived carbon in a depositional environment which slightly disturbed the global carbon isotope signal. During marine regressions shelves were exposed to increased erosion and oxidation of organic carbon, producing a negative $\delta^{13}\text{C}$ shift (Tappan, 1968; Mackenzie & Piggot, 1981; Compton et al., 1990; Magaritz & Holser, 1991; Faure et al., 1995). The end Permian carbon isotopic perturbances in the investigated area span an interval of about 50 m, whereas in the Idrija Valley where limestone sedimentation proceeded concordantly across the P/Tr boundary the same shift of $\delta^{13}\text{C}$ happens over about 10 m of section (Dolenc & Ramovš, 1996). We suggest that the observed general decrease of $\delta^{13}\text{C}$ values at the P/Tr transition is probably associated with the global Late Permian marine regression which led to the destruction of terrestrial and marine ecosystems which related in a ^{13}C depleted CO_2 flux into the atmosphere (Magaritz & Holser, 1991; Faure et al., 1995). This CO_2 then equilibrated with the ocean waters, ultimately resulting in a ^{13}C enriched reservoir in ocean waters and therefore ^{13}C depleted carbonates.

The variations in $\delta^{18}\text{O}$ across the P/Tr boundary show slightly different trends with respect to those in $\delta^{13}\text{C}$. After a decrease from +27.55 to a minimum value of +25.22 ‰ about 10 m below the boundary, the variability of $\delta^{18}\text{O}$ in the interval straddling the P/Tr boundary is fairly uniform (between +25.30 and +26.05 ‰). A decrease of $\delta^{18}\text{O}$ in the topmost Permian is best explained by a change from marine to desultory evaporitic conditions affected by an excessive input of terrigenous material and by local freshening of waters due to the influxes of more or less isotopically modified continental waters into the sedimentary basin.

It is important to note that significant facies changes at the P/Tr boundary confirm the extensive regression and several second order transgressive-regressive cycles probably controlled by eustatic oscillations of the sea level and tectonic. The climatic conditions were presumably hot and arid to semi-arid and then changed to a somewhat more humid in the Lower Scythian (Assereto et al., 1973).

The end Permian regression was preceded by a rapid early Triassic transgression which brought a shallow epicontinental sea over the entire region of the Karavanke Mountains. A shallow continental shelf extended during the time interval between the Upper Permian and the Anisian stage from Slovenia to the adjacent Alpine regions (Assereto et al., 1973; Broglio Loriga et al., 1979) and Dinarides (Mudrenović, 1980; Buser, 1987). The sedimentation became more or less unified throughout the entire region. During this time micritic, sparitic and oolitic limestones, as well as marls and shales were formed. Carbon isotopic composition of this stratigraphic unit indicates a gradual enrichment in ^{13}C . According to previous interpretations we speculate that this enrichment in the regional sense probably coincided with deposition of organic matter in shelf sediment during high sea level stand, and/or with slightly cooling events in the Lower Scythian.

It is interesting to note that the Scythian limestones are considerably depleted in ^{18}O (from 3 to 8 ‰) relative to the Upper Permian as well as Lower Scythian dolomite

of the boundary zone. Extrapolation of high temperature data yields values which indicate that dolomite which formed in isotopic equilibrium under sedimentary temperatures should be enriched in ^{18}O relative to calcite by 3 - 6 ‰ (Sheppard & Schwartz, 1970). McKenzie (1981) showed that the enrichment of the naturally occurring dolomite in ^{18}O over sedimentary calcite is + 3.2 ‰ at 35 °C. However, the oxygen isotopic composition of coexisting sedimentary dolomite-calcite occurrences was often found to be similar (Botz & von der Borch, 1984). Our data show that the Scythian limestone are depleted in ^{18}O up to 4 ‰ relative to the Scythian dolomite, and up to 8 ‰ as compared to the Upper Permian dolomite. The isotopic composition of these limestones shows the variation of $\delta^{18}\text{O}$ mostly in the range between + 20.57 and + 23.95 ‰ and $\delta^{13}\text{C}$ between + 0.34 and + 1.96 ‰. Similar depleted values have been also observed in Scythian and Upper Permian limestone of the Idrija Valley (Dolenc & Ramovš, 1996). These values are also considerably depleted (up to 7 ‰) relative to the marine limestones of Recent age (Fure, 1977). Such depletion cannot be interpreted only in terms of seawater temperature. It may have also been caused by a change in $\delta^{18}\text{O}$ of the seawater, decrease of salinity as well as by postdepositional alteration. Although there are several problems with regard to the interpretation of the differences in the isotopic composition between dolomites and limestones we suggest that the cause of the observed ^{18}O depletion in limestones could be related to changes in carbonate mineralogy, salinity and oxygen isotopic water composition, as well as to the diagenetic modifications.

The changes in carbonate mineralogy thus coincided with the drop in $\delta^{18}\text{O}$ from values of around + 26.05 to + 22.45 ‰. Note that the corresponding $\delta^{13}\text{C}$ signal is not changed and is preserved in both dolomite and limestone. After reaching the minimum value of + 20.57 ‰ the $\delta^{18}\text{O}$ curve returns to slightly more positive values of + 23.95 ‰, and then gradually decreases again. The shape of the $\delta^{18}\text{O}$ curve thus probably indicates a slightly cooling trend - more humid conditions during the deposition of the grey limestone followed by a warmer period. A weak negative correlation between $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ ($r = - 0.24$ for 39 samples) in the Lower Scythian limestone suggests some different driving mechanisms which affected the isotopic composition of this unit.

Conclusions

The results we have presented in this study indicate that the transition from Permian to Triassic is characterized by a strong disturbance in the global carbon cycle accompanied by changes in $\delta^{18}\text{O}$ values in the boundary carbonate rocks. The negative $\delta^{13}\text{C}$ excursion is interpreted as reflecting an increased terminal Permian marine regression which resulted in a ^{13}C depleted CO_2 flux into the atmosphere. This CO_2 then equilibrated with the ocean waters, ultimately resulting in ^{13}C enriched carbonates. On the other hand the positive $\delta^{13}\text{C}$ shift at the Middle Permian-Upper Permian transition is attributed to the Upper Permian marine transgression with corresponding enrichment of carbonates in ^{13}C . The shape of the carbon isotope curve reflects at least two separate phases of subaerial oxidation of organic matter at the end of the Permian and two similar phases in the Lower Scythian. These phases may be related to the eustatic oscillations of the Tethys sea level and/or local changes in the proportions of continental and marine contributions of organic matter into the sedimentary basin which slightly overprinted and masked the changes in global carbon isotope composition.

The much more muddled oxygen isotopic patterns indicates that the multiple influences on oxygen isotopic composition confuse the original paleoceanographic signal. Therefore it is difficult to give a definite explanation of the observed $\delta^{18}\text{O}$ variations. However, the increases in $\delta^{18}\text{O}$ at the Middle Permian-Upper Permian and decreases at the Permian-Triassic transition may have also reflected major changes of the sea level stand.

According to our speculative interpretation of existing data we also suppose a causal connection between the isotopic anomalies and a widespread regression during the terminal Permian, leading to destruction of terrestrial and marine ecosystems and to the suggested the end-Permian mass extinction.

Acknowledgements

This research was performed with financial support from the Ministry of Science and Technology - Republic of Slovenia and Geoexp. d.o.o. Tržič, Slovenia. To both these institutions we express our sincere thanks.

References

- Assereto, R., Bosselini, A., Fantini Sestini, N. & Sweet, W. C. 1973: The Permian - Triassic boundary in the Southern Alps (Italy): In Logan A. & Hills, L. V. (Eds.): The Permian and Triassic systems and their mutual boundary. - *Albertal. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 2, 176 - 199.
- Baud, A., Magaritz, M. & Holser, W. T. 1989: Permian-Triassic of the Tethys: Carbon isotope studies. - *Geologische Rundschau*, 78, 642 - 677.
- Botz, R. W. & von der Borch, C. C. 1984: Stable isotope study of carbonate sediments from the Coorong Area, South Australia. - *Sedimentology*, 31, 837 - 849.
- Brinkhuis, H. & Visscher, H. 1994: New evidence for terrestrial ecosystem collapse at the K/T and Permian/Triassic boundaries: In *New Developments Regarding the K/T Event and Other Catastrophes in Earth History*. - LPI Contribution No. 825, Lunar and Planetary Institute, Houston, 138 p.
- Broglia Loriga, C., Masseti, D. & Neri, C. 1979: The Werfen Formation (Lower Triassic) in the Catinaccio Mt. - Ricardo Assereto and Giulio Pisa Field Symposium on Triassic Stratigraphy in Southern Alps. Bergamo 1979, 40 - 47.
- Buser, S. 1974: Neue Feststellungen im Perm der westlichen Karawanken. - *Carinthia II*, 164/84, 27 - 37.
- Buser, S. 1980: Guidebook, Basic Geological Map 1:100.000, Sheet Celovec (Klagenfurt). - Federal Geol. Survey, 62p., Beograd.
- Buser, S. 1987: Development of the Dinaric and Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian basin (NW Yugoslavia). - *Mem. Soc. Geol. It.*, 40, 313-320.
- Buser, S., Grad, K., Ogorelec, B., Ramovš, A. & Šribar, L. 1986: Stratigraphical, paleontological and sedimentological characteristics of the Upper Permian beds in Slovenia. - *Mem. Soc. Geol. It.*, 34, 195-210.
- Compton, J. S., Snyder, S. W. & Hodell, D. A. 1990: Phosphogenesis and weathering of shelf sediments from the southern United States: Implications for Miocene $\delta^{13}\text{C}$ excursions and global cooling. - *Geology*, 18, 1227 - 1230.
- Dolenc, T., Ogorelec, B. & Pezdič, J. 1981: Upper Permian and Scythian beds in the Tržič area. - *Geologija*, 24/2, 217 - 238.
- Dolenc, T. & Ramovš, A. 1996: Stable isotope variations in the Permian-Triassic boundary carbonate sequence from the Idrija Valley (W. Slovenia). - *Permophiles*, 29, 42 - 44.
- Erwin, D. H. 1993: The great Paleozoic crisis: Life and death in the Permian. New York, Columbia University Press, 327 p.
- Erwin, D. K. 1994: The end-Permian mass extinction: A complex multicausal extinction: In *New Developments Regarding the K/T Event and Other Catastrophes in Earth History*. - LPI Contribution No. 825, Lunar and Planetary Institute, Houston, 138p.
- Faure, G. 1977: Principles of Isotope Geology. - John Wiley and Sons, New York, 464 p.

- Faure, K., Maarten, J. de Wit. & Willis, J. P. 1995: Late Permian global coal hiatus linked to ^{13}C -depleted CO_2 flux into the atmosphere during the final consolidation of Pangea. - *Geology*, 23, 507 - 510.
- Gruszczynski, M., Halas, S., Hoffman, A. & Malkowski, K. 1989: A brachiopod calcite record of the oceanic carbon and oxygen isotope shift at the Permian/Triassic transition. - *Nature*, 337, 64 - 68.
- Hallam, A. 1992: Phanerozoic sea-level changes. - In: Bottjer, D. & Bambach, R. K., (Eds.), *Perspectives in Paleobiology and Earth History Series*, Columbia University Press, New York, 266 p.
- Mackenzie, F.T. & Piggot, J.D. 1981: Tectonic controls of Phanerozoic sedimentary rock cycling. - *J. Geol. Soc.*, 138, 183 - 196.
- Magaritz, M. 1975: Sparitization of a pelleted limestone: A case study of carbon and oxygen isotopic composition. - *J. Sed. Petrol.*, 45, 599 - 603.
- Magaritz, M. 1983: Carbon and oxygen isotope composition of recent and ancient coated grains. - In: Peryt, T.M. (Eds.), *Coated grains*. - Berlin, Springer Verlag, 27 - 37.
- Magaritz, M. & Stemmerik, L. 1989: Oscillation of carbon and oxygen isotope composition of carbonate rocks between evaporative and open marine environments, Upper Permian of East Greenland. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 93, 233 - 240.
- Magaritz, M. & Holser, W.T. 1991: The Permian-Triassic of the Gartnerkofel - 1 Core (Carnic Alps, Austria): Carbon and Oxygen Isotope Variation. - *Abh. Geol. B. - A.*, 45, 149 - 163.
- Magaritz, M., Bar, R., Baud, A. & Holser, W.T. 1988: The carbon-isotope shift at the Permian-Triassic boundary in the Southern Alps is gradual. - *Nature*, 331, 337 - 339.
- Magaritz, M., Krishnamurthy, R.V. & Holser, W.T. 1992: Parallel trends in organic and inorganic carbon isotopes across the Permian/Triassic boundary. - *Amer. Jour. Sci.*, 292, 727 - 739.
- McCrea, J. 1950: The isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. - *Jour. Chem. Phys.*, 18, 849 - 857.
- McKenzie, J.A. 1981: Holocene dolomitization of calcium carbonate sediments from the coastal sabkhas of Abu Dhabi, U. A. E.: a stable isotope study. - *J. Geol.*, 89, 185 - 198.
- Mudrenović, V. 1980: Stratigrafske i facijalne odlike donjeg triasa planine Dimitor-Simpozijum iz regionalne geologije i paleontologije, Beograd 1980, 445 - 457.
- Perkins, R.D., Dwyer, G.S., Rosoff, D.B., Fuller, J., Baker, P.A. & Lloyd, R.M., 1994: Saline sedimentation and diagenesis: West Caicos Island, British West Indies. In: Dolomites (Purser, B., Tucker, M. & Zenger, D., Editors). - *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, 21, 37 - 54.
- Ramovs, A., 1986. Marine development of the uppermost Žažar beds and the lowermost Scythian beds. In: Permian and Permian-Triassic boundary in the South Alpine segment of the Western Tethys. IGCP Project 203, Excursion Guidebook, pp. 39-42.
- Schrag, D.P., DePaolo, D.J. & Richter, F.M. 1995: Reconstructing past sea surface temperatures: Correcting for diagenesis of bulk marine carbonates. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 2265 - 2278.
- Sheppard, S.M.F. & Schwartz, H.P. 1970: Fractionation of carbon and oxygen isotopes and magnesium between coexisting metamorphic calcite and dolomite. - *Contrib. Miner. Petr.*, 26, 161 - 198.
- Tappan, H. 1968: Primary production, isotopes, extinctions and the atmosphere. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 4, 187 - 210.
- Tucker, M.E. 1990: Geological background to carbonate sedimentation. In: Tucker, M.E., Wright, V.P. (Eds.), *Carbonate Sedimentology*. - Oxford, Blackwell Sci. Publ., 482 p.
- Verhagen, B.Th., Tredoux, M., Lindsay, N.M., Selsdop, J.P.F., Perch-Nielsen, K. & Koerberl, C. 1990: Implication of isotopic and other geochemical data from a Cretaceous-Tertiary transition in south Africa. - *Chem. Geol.*, 80, 319 - 325.
- Wang, E., Geldsetzer, H.H.J. & Krouse, H.R. 1994: Permian-Triassic extinction: Organic d^{13}C evidence from British Columbia, Canada. - *Geology*, 22, 580 - 584.

Spodnjetriasne plasti pri Tehovcu (Polhograjsko hribovje)

Lower Triassic beds from Tehovec (Polhov Gradec Hills, Slovenia)

Bogdan Jurkovšek, Bojan Ogorelec & Tea Kolar-Jurkovšek
 Geološki zavod Slovenije
 Dimičeva 14, 1001 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: spodnji trias, karbonatne kamnine, konodonti, facies, Slovenija
Key words: Lower Triassic, carbonate rocks, conodonts, facies, Slovenia

Kratka vsebina

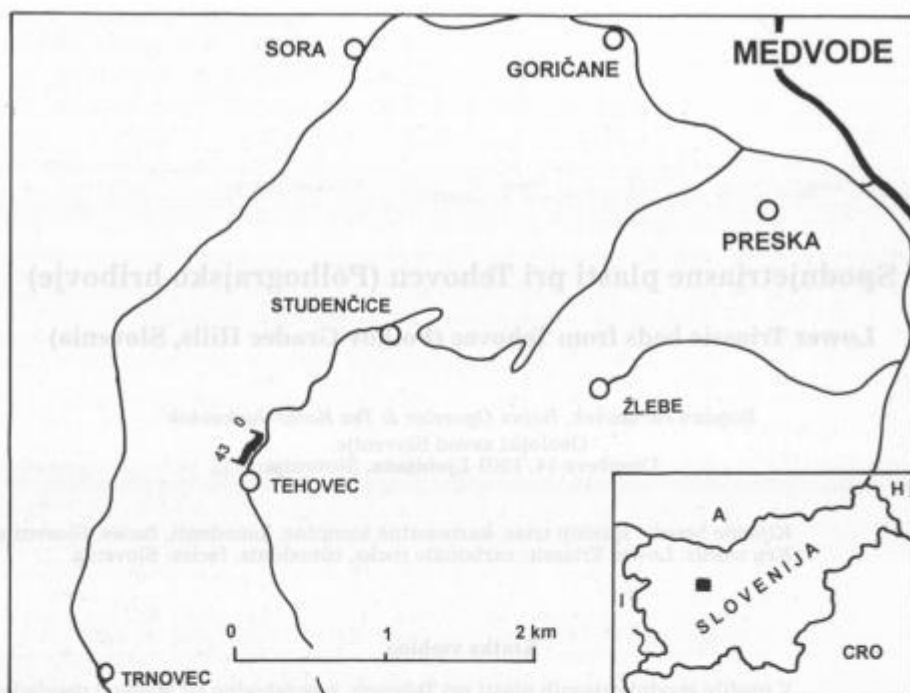
V profilu spodnjetriasnih plasti pri Tehovcu, jugozahodno od Medvode prevladuje temno siv, rahlo lapornat biomicritni apnenec, ki ga prekinjajo tanjše pole laporja. Od fosilnih moluskov so zastopane vrste *Natiria costata* (Münster) in *Costatoria costata* (Zenker) ter redke hišice amonitov. Med mikrofosili se najpogosteje pojavlja foraminiferna vrsta *Meandrospira pusilla* (Ho), med konodonti pa so zastopani značilni plitvodni spodnjetriasni elementi *Pachycladina*, *Hadrodontina* in *Ellisonia*.

Abstract

In the profile of Lower Triassic beds at Tehovec, southwest of Medvode, prevails dark grey, slightly marly biomicritic limestone interbedded with thinner sheets of marl. Fossil molluscs are represented by *Natiria costata* (Münster) and *Costatoria costata* (Zenker) as well as by sparse ammonite shells. Among microfossils the most frequent is foraminifer species *Meandrospira pusilla* (Ho). Recovered conodonts are marked by characteristic shallow water Lower Triassic elements *Pachycladina*, *Hadrodontina* and *Ellisonia*.

Uvod

Jugozahodno od Medvode, med Studenčicami in Tehovcem, je bil ob širitvi ceste leta 1997 v dolžini 200 m odkrit več deset metrov debel profil v spodnjetriasnih plasteh. Profil leži v zahodnem cestnem useku 200 m pred zaselkom Tehovec (sl. 1). R a m o v š (1968) je iz kampilskih plasti pri vasi Studenčice prvi opisal pojavljanje foraminifer vrste *Meandrospira iulia* (Premoli Silva) (= *Meandrospira pusilla* (Ho)), omenja pa tudi natirije, mioforije in nedoločljive avikulidne školjke. Iz spodnjetriasnih plasti Škofjeloško-idrijskega hribovja je Pantičeva poleg meandrospir določila



Sl. 1. Položaj raziskanega profila spodnjetriasnih plasti pri Tehovcu
 Fig. 1. Position of the studied section in Lower Triassic beds at Tehovec

tudi konodonte vrste *Ellisonia triassica* Müller (Grad & Ferjančič, 1976). Kasneje je ekolog A. Komat v olivnosivem lapornatem apnencu ob cesti nad Studenčicami našel posamezne amonite in nas opozoril na rekonstrukcijo ceste proti Tehovcu.

Med gradbenimi deli je bil popolnoma odkrit zgornji del spodnjetriasnih plasti (sl. 2), v katerem se poleg slabše ohranjenih amonitov pojavljajo številna kamena jedra polžev vrste *Natiria costata* (Münster) in redke školjke *Costatoria costata* (Zenger). V nekaterih nivojih je zelo pogostna foraminifera *Meandrospira pusilla* (Ho).

Raziskava je obsegala natančno dokumentiranje ter vzorčevanje 47 m debelega spodnjetriasnega zaporedja plasti v cestnem useku (sl. 3). Paleontološke raziskave so bile osredotočene predvsem na odvzem ter analizo konodontnih vzorcev in predstavljajo del večletnih sistematičnih raziskav konodontov spodnjetriasnih plasti Slovenije.

Opis profila

V času gradbenih del je bil cestni usek, v katerem je bil posnet profil, v celoti odkrit. Plasti vpadajo z nagibom 40 do 60° proti jugovzhodu. Talnina spodnjetriasnih plasti ni odkrita, vrhnji del profila pa končuje s prelomom, ob katerem so plasti premaknjene.

V profilu prevladujejo karbonatne kamnine, predvsem apnenc, ki nastopa v 10 do



Sl. 2. Pogled na osrednji del profila v cestnem useku pri Tehovcu

Fig. 2. Central part of the section investigated along the road cut at Tehovec

30 in izjemoma do 50 cm debelih plasteh, v manjši meri se vmes pojavljajo tanjše plasti laporja. Apnenec je rjavkasto sive do temno sive barve in ima makroskopsko v nekaterih plasteh lapornat izgled. Vsebuje do 10 % nekarbonatne primesi, katero sestavljajo do 100 μm velika zrna detritičnega kremenca, sljuda in minerali glin. V sedmih raziskanih vzorcih laporja se delež karbonata giblje med 30,5 in 68 % s povprečjem okrog 50 %, pri čemer sestavlja karbonatno komponento v vseh primeseh le kalcit. Vsebnost MgO je v vseh vzorcih nižja od 0,48 %.

Spodnjih šest metrov profila gradi debeloplastovit in zrnat dolomit sivorumene barve, ki vključuje v vrhnjem metru pole in gnezda laporja ter muljevca. Zaradi dolomitizacije kamnine njena prvotna struktura ni več ohranjena. Dolomitna zrna merijo do 100 μm , nekarbonatno komponento pa sestavljajo do 50 μm velika zrna detritičnega kremenca (okrog 2 %) ter piritni pigment. Zaradi limonitizacije piritja je dolomit rumenkasto razbarvan. Kljub rekristalizaciji in dolomitizaciji pa v raziskanih vzorcih dolomita opazujemo več primerkov foraminifere vrste *Meandrospira pusilla* (Ho) (tab. 1, sl. 1).

Od šestega metra dalje pa vse do konca profila se menjavata apnenec in podrejeno lapor. Dolomit se javlja le še v nekaj tanjših plasteh (vzorec Teh 38). Je temnosive barve, po strukturi pa rahlo lapornat mikrodolosparit s kalcitnimi žilicami in je brez fosilov ali drugih alokemov.

Apnenec je po strukturi različen. Zastopani so vsi prehodi od „mudstone do packstone“ (sl. 3), kot tip kamnine pa so zastopani rekristaliziran biomikrit, biopelmikrit

in redkeje biopelsparit. V skoraj vseh raziskanih vzorcih so prisotna tudi do 50 μm velika detritična zrna kremenca in sljude. Temna barva apneneca je pogojena s pigmentom organske snovi in piritu. Med fosili so zastopane predvsem številne ploščice ehinodermov, manj pa je ostrakodov, foraminifer (*Meandrospira pusilla*, *Glomospira* sp.), mikrogastropodov (*Natiria* sp. in drugi) ter školjčnih lupin. Ehinodermi so v nekaterih plasteh tako pogostni, da so kamnotvorni (tab. 3 sl. 3). Na površini plasti opazujemo mestoma še slabo ohranjene lupine amonitov. Mikritna osnova je povečini rekristalizirana v mikrosparit z 10 do 30 μm velikimi zrni (tab. 3 sl. 2).

Zaradi detritične primesi kažejo redke plasti apnenca slabo nakazano laminacijo mm do nekaj mm dimenzij, v posameznih plasteh pa opazujemo tudi budinažasto teksturo neravnih kontaktov plasti ter neizrazito teksturo plastične breče. V redkih plasteh je prisotna fukoidna bioturbacijska tekstura. Mestoma je apnenec prepreden tudi s stilolitnimi šivi in s kalcitnimi žilami. Po faciesu in energijskem indeksu ugotavljamo, da se je odlagal na plitvem in dokaj zaprtem šelfu, ki pa je imel zvezo z odprtim morjem. Na to sklepamo po konodontih in posameznih primerkih amonitnih hišic.

Monotonost mirnega sedimentacijskega okolja razbijajo posamezne plasti oolitnega in biosparitnega apnenca, ki so litoška posebnost v profilu Tehovec (Teh 13 in Teh 33). Tak oolitni apnenec je značilen za spodnjetriasno zaporedje na širšem alpskem in dinarskem prostoru (tab. 1, sl. 3). Predvidevamo, da je oolitni apnenec nastajal na plitvinah in v medplimskih kanalih znotraj šelfa, kjer je bila energija valovanja dovolj velika za njihov nastanek. Na plitvo okolje in na občasno celo nadplimsko okolje med sedimentacijo sklepamo po vadoznem sparitnem cementu znotraj oolitov v posameznih plasteh.

Posebnost oziroma diagenetska značilnost apnenca v profilu Tehovec so tudi lokalna gnezda kasnodigenetskega dolomita. Dolomitni romboedri so zaradi povečane vsebnosti železovih ionov rumenkastorjave barve, merijo do 200 μm , njihov delež pa

LITOLOGIJA - LITHOLOGY



Apnenec
Limestone



Oolitni apnenec
Oolitic limestone



Lapornat apnenec
Marly limestone



Lapor
Marl



Dolomit
Dolomite



Strukturni tip
Primary depositional textures
(Dunham, 1962)

FOSILI - FOSSILS

Konodonti
Conodonts

Foraminifere v splošnem
Foraminifers in general

Meandrospira pusilla (Ho)

Ostrakodi
Ostracods

Iglokožci
Echinoderms

Amoniti
Ammonites

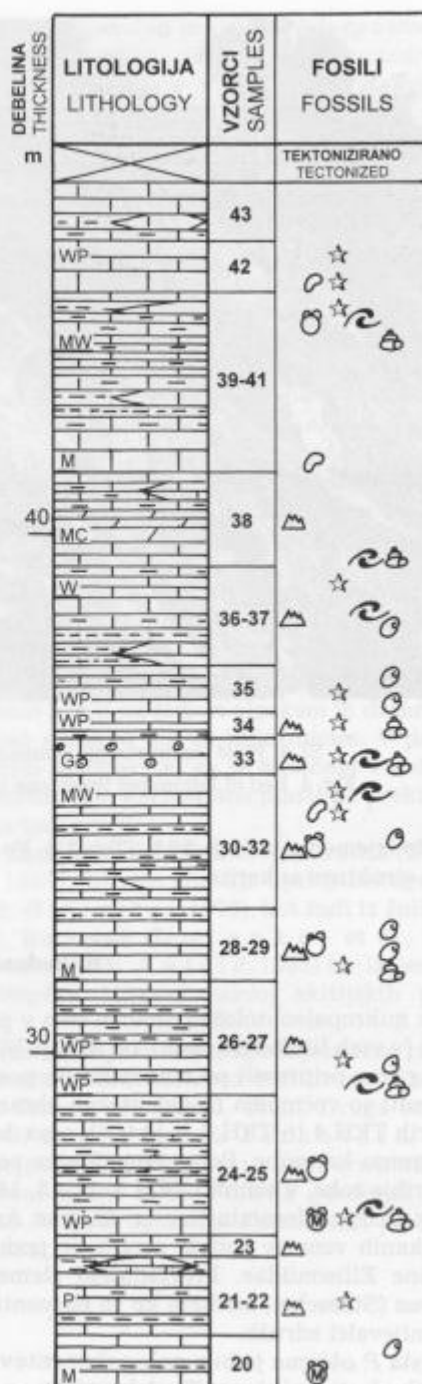
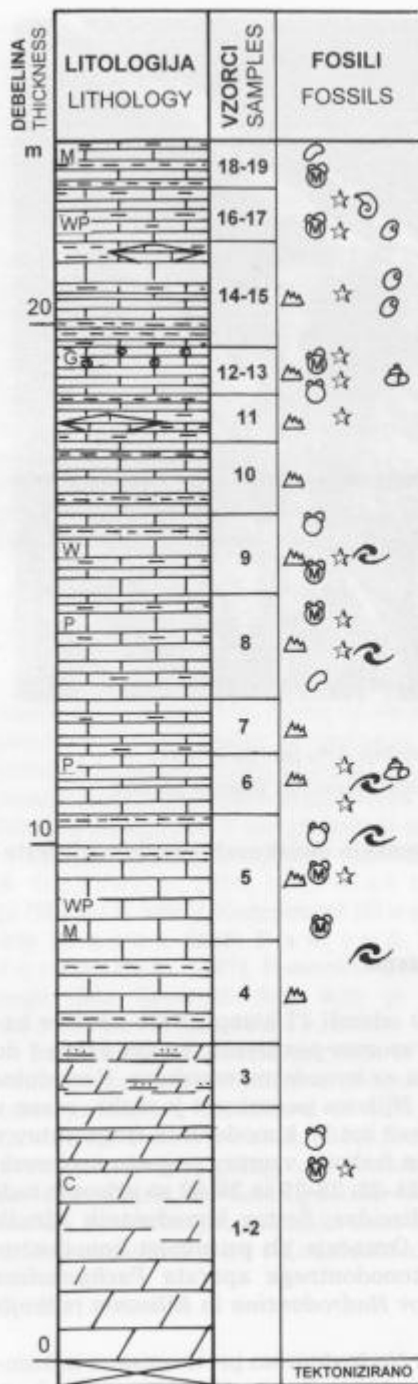
Školjke
Pelecypods

Polži v splošnem
Gastropods in general

Natiria

Sl. 3. Litostratigrafski stolpec spodnjetriasnih plasti pri Tehovcu

Fig. 3. Lithostratigraphic sequence of the Lower Triassic beds at Tehovec





Sl. 4. Plast laminiranega apnenec v osrednje delu profila Tehovec

Fig. 4. Bed of laminated limestone in the central part of Tehovec section

doseže izjemoma tudi do 20 % (Teh 28). Po rentgenskih raziskavah ima dolomit sestavo in strukturo ankerita.

Konodontna favna

Za mikropaleontološke analize smo v profilu odvzeli 27 kompozitnih vzorcev kamnin (v vseh litoloških tipih), od tega je bilo 20 vzorcev pozitivnih. Vzorce s težo 1 do 1,5 kg smo pripravili po standardnem postopku za konodontne raziskave. Konodontni elementi so večinoma fragmentarno ohranjeni. Njihova pogostnost je nizka, razen v vzorcih TEH 4 in TEH 6, v katerih smo dobili več kot 50 konodontnih fragmentov v kilogramu kamnine. Poleg konodontov so težke frakcije vzorcev pogosto vsebovale tudi ribje zobe, v vzorcih TEH 5, 12-13, 16-17, 24-25, 28-29 in 30-32 so prisotne tudi limonitizirane foraminifere iz družine Ammodiscidae. Sestav konodontnih združb preiskanih vzorcev vzdolž profila je podoben. Označuje jih prisotnost konodontov družine Ellisoniidae. Prevladujejo elementi konodontnega aparata *Pachycladina obliqua* (Staesche), medtem ko so elementi rodov *Hadrodontina* in *Ellisonia* redkejši spremljevalci združb.

Vrsta *P. obliqua* je bila poleg elementov rodu *Hadrodontina* prvič opisana iz kamninskih plasti na južnem Tirolskem (Staesche, 1964). Swett (1988) navaja, da so

se v spodnjem triasu rodu *Ellisonia* v plitvodnih okoljih pridružile (ali ga zamenjale) vrste rodov *Furnishius*, *Hadrodontina* in *Pachycladina*. Elemente *Pachycladina* in *Hadrodontina* sta iz kampiljskih plasti zahodne Srbije v Jugoslaviji zabeležila Budurov in Pantićeva (1973). Hirsch in Gerry (1974) sta iz plasti zgornjega dela spodnjega skitija do spodnjega dela zgornjega skitija v Izraelu opisala združbo *Hadrodontina-Pachycladina*. Pri biostratigrafskih raziskavah v Utahu je Solien (1979) ugotovil, da rodova *Pachycladina* in *Hadrodontina* označujeta smithijsko starost plasti. Vrsta *P. obliqua* se v Južnih Alpah nahaja v Werfenski formaciji in sicer v členih Campil, Val Badia in Cencenighe, njeno pojavljanje v plasteh zgornjenammalijske do spathijske starosti je bilo določeno na osnovi bentoških makrofosilov (Perri & Andraghetti, 1988). Razen tega sta avtorici opozorili tudi na veliko stratigrafsko uporabnost vrste *P. obliqua*, saj ima veliko geografsko razširjenost v Severni Ameriki, Evropi, na Bližnjem Vzhodu in v Aziji ter razpon omejen na zgornji skitij. Na osnovi vertikalne razširjenosti vrst plitvodnih rodov v Werfenski formaciji je Perri (1991) predlagala tri biocone (cone *aequabilis*, *anceps*, *obliqua*), za katere meni, da so verjetno izvedljive le v Alpah. V profilu Bulla (Južne Alpe, Italija) je njegov zgornji del pripisan coni *obliqua*. Spodnjo mejo te cone označuje prvo pojavljanje vrste *P. obliqua*, ki je prisotna le v vzorcu BU 45, ostalo favno pa sestavljajo elementi *Hadrodontina* in *Ellisonia* (Fara begoli & Perri, 1998).

Zaključek

Kljub relativno skromni debelini 47 metrov so v profilu Tehovec zastopani vsi elementi, ki so značilni za razvoj spodnjetriasnih plasti na širšem alpskem in dinarskem prostoru. To velja tako za litologijo, fosilno združbo kot za mikrofacies. V profilu prevladuje temen, rahlo lapornat biomikritni apnenec, ki ga je mestoma v večji ali manjši meri zajela kasnodiaogenetska dolomitizacija, karbonatne plasti pa prekinjajo tanjše pole laporja. V več plasteh se javljajo tudi ooliti.

Podoben razvoj skitijskega zaporedja je znan iz okolice Polhovega Gradca (Gard & Ogorelec, 1980), Idrije (Čar et al., 1980), južnega obrobja Ljubljanskega barja (Mušič, 1992), Kočevskega (Dozet & Silvester, 1979), kot tudi iz Julijskih Alp (Buser, 1986; Ramovš, 1989), Karavank (Dolenec et al., 1981; Jurkovšek, 1987), Posavskih gub (Ramovš & Aničić, 1995) ter iz centralnega dela Severnih Alp, kjer je pri Werfnu klasični razvoj skitijskih plasti (Mostler & Rossner, 1984).

Raziskana konodontna združba iz Tehovca vsebuje značilne spodnjetriasne plitvodne elemente *Pachycladina obliqua* (Staesche), *Hadrodontina* in *Ellisonia*. Primerjamo jo lahko z združbami iz nahajališč Vrlejca pri Želinu, Trzič, Draga in Iška (Kolar-Jurkovšek, 1990; Kolar-Jurkovšek & Jurkovšek, 1995, 1996), v katerih se poleg vrste *P. obliqua* pojavljajo tudi elementi vrst *Furnishius triserratus* Clark, *Parachirognathus ethingtoni* Clark in/ali *Foliella gardenae* (Staesche), ki ustrezajo smithijski coni 7 (cona *Parachirognathus-Furnishius*) po konodontni conaciji Swetta in sodelavcev (1971).

Lower Triassic beds from Tehovec (Polhov Gradec Hills, Slovenia)

Northwest of Ljubljana, at the hamlet of Tehovec, a 47 m thick profile of Lower Triassic beds (Figs. 1 - 4) was exposed during widening of the road. In spite of the relatively modest thickness, in the Tehovec profile all elements are represented that are characteristic for the development of the Lower Triassic beds in the wider Alpine and Dinaric regions. This is true for lithology, fossil assemblage and also for microfacies. In the profile dark, slightly marly biomicritic limestone prevails, locally more or less altered by late diagenetic dolomitization. The carbonate beds are interbedded by thinner sheets of marl. In several beds appear also oolites.

A similar development of the Scythian sequence is known from the surroundings of Polhov Gradec (Grad & Ogorelec, 1980), Idrija (Čar et al., 1980), south border of Ljubljansko Barje (Mušič, 1992), Kočevje area (Dozet & Silvester, 1979), and also from Julian Alps (User, 1986; Ramovš, 1989), Karavanke (Dolenc et al., 1981; Jurkovšek, 1987), Sava folds (Ramovš & Aničič, 1995) and from the central part of the Northern Alps where at Werfen the classic development of the Scythian beds was established (Möstler & Rossner, 1984).

Fossil molluscs in the Tehovec profile are represented by species *Natiria costata* (Münster) and *Costatoria costata* (Zenker) as well as by sparse ammonite shells. Foraminifer species *Meandrospira pusilla* (Ho) occurs frequently (Pl. 1, Fig. 1).

The examined conodont assemblage from 27 conodont samples contains the characteristic Lower Triassic shallow water elements *Pachycladina obliqua* (Staesche), *Hadrodontina* and *Ellisonia*. It is comparable with the assemblages from localities Vrlejška near Želin, Tržič, Draga and Iška (Kolar-Jurkovšek, 1990; Kolar-Jurkovšek & Jurkovšek, 1995, 1996) in which next to the species *P. obliqua* also elements of species *Furnishius triserratus* Clark, *Parachirognathus ethingtoni* Clark and/or *Foliella gardenae* (Staesche) occur that correspond to the Smithian zone 7 (zone *Parachirognathus-Furnishius*) according to the conodont zonation by Sweet and coworkers (1971).

Literatura

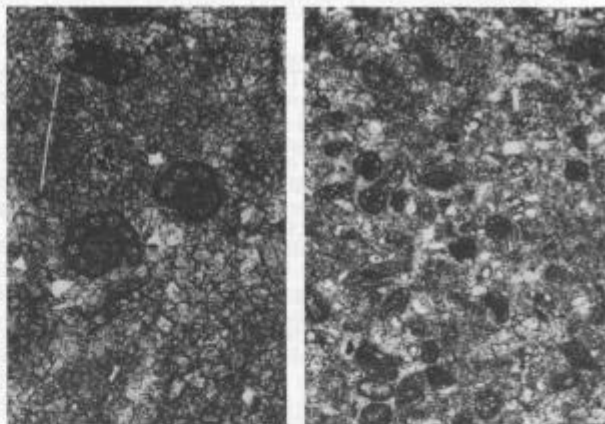
- Budurov, K. & Pantić, S. 1973: Conodonten aus dem Campiller Schichten von Brassina (Westserbien). II. Systematischer Teil. - Bull. Geol. Inst., Ser. Paleont. 22, 49-64, Sofija.
- User, S. 1986: Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine). Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. - Zvezni geološki zavod, 103 p., Beograd.
- Čar, J., Gregorič, V., Ogorelec, B. & Orehek, S. 1980: Sedimentološki razvoj skitskih plasti v idrijskem rudišču. - Rud. met. zb., 27/1, 3-20, Ljubljana.
- Dolenc, T., Ogorelec, B. & Pezdnič, J. 1981: Zgornjepermske in skitske plasti pri Tržiču. - Geologija, 24/2, 217-238, Ljubljana.
- Dozet, S. & Silvester, M. 1979: Skitske in zgornjekarnijske kamenine na Kočevskem. - Geologija, 22/2, 237-336, Ljubljana.
- Farabegoli, E. & Perri, M. C. 1998: Stop 4.3 - Permian/Triassic boundary and Early Triassic of the Bulla section (Southern Alps, Italy): lithostratigraphy, facies and conodont biostratigraphy. - V: Perri, M. C. & Spalletta, C. (eds.): Southern Alps Field Trip Guidebook. ECOS VII. - Giorn. Geol. 60, Spec. Issue, 292-311, Bologna.
- Grad, K. & Ferjančič, L. 1976: Tolmač lista Kranj. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. - Zvezni geološki zavod, 70 str., Beograd.
- Grad, K. & Ogorelec, B. 1980: Zgornjepermske, skitske in anizične kamnine na Žirovskem ozemlju. - Geologija, 23/2, 189-220, Ljubljana.
- Hirsch, F. & Gerry, E. 1974: Conodont- and Ostracode-Biostratigraphy of the Triassic in Israel. V: Zapfe, H. (ed.): Die Stratigraphie der alpin-mediterranen Trias. - Öster.-Akad. Wiss. Schrift. Erdwiss. Kom. 2, 107-114, Wien.

- Jurkovšek, B. 1987: Tolmač lista Beljak in Ponteba. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. - Zvezni geološki zavod, 58 p., Beograd.
- Kolar-Jurkovšek, T. 1990: Smithian (Lower Triassic) conodonts from Slovenia (NW Yugoslavia). - N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 9, 536-546, Stuttgart.
- Kolar-Jurkovšek, T. & Jurkovšek, B. 1995: Lower Triassic conodont fauna from Tržič (Karavanke Mts., Slovenia). - Eclogae geol. Helv. 88/3, 789-801, Basel.
- Kolar-Jurkovšek, T. & Jurkovšek, B. 1996: Contribution to the knowledge of the Lower Triassic conodont fauna in Slovenia. - Razprave 4. razr. SAZU 37/1, 3-21, Ljubljana.
- Mostler, H. & Rossner, R. 1984: Mikrofazies und Palökologie der höheren Werfener Schichten (Untertrias) der Nördlichen Kalkalpen. - Facies, 10, 87-144, Erlangen.
- Mušič, B. 1992: Zgornjepermijske in spodnjetriasne kamnine pri Skopačniku v Želimeljski dolini. - Rud. met. zb., 39/1-2, 241-259, Ljubljana.
- Perri, M. C. 1991: Conodont biostratigraphy of the Werfen Formation (Lower Triassic), Southern Alps, Italy. - Boll. Soc. Paleont. It. 30/1, 23-46, Modena.
- Perri, M. C. & Andraghetti, M. 1988: Permian-Triassic boundary and Early Triassic conodonts from the Southern Alps, Italy. - Riv. It. Paleont. Strat. 93/3, 291-238, Milano.
- Ramovš, A. 1968: *Meandrospira iulia* (Premoli Silva) (Foraminifera) aus den Untertrias-Schichten in Westslowenien und ihre Lebensbedingungen. - N. Jb. Geol. Paläont. 131/1, 78-81, Stuttgart.
- Ramovš, A. 1989: Razvoj skitskih plasti (spodnji trias) v severnih Julijskih Alpah. - Rud. met. zb., 36/4, 623-638, Ljubljana.
- Ramovš, A. & Aničič, B. 1995: Untertrias und Unteranis - Ausbildung im Mišnica - Tal, östlich von Rimske Toplice, Ostslowenien. - Rud. met. zb., 42/3-4, 143-155, Ljubljana.
- Solien, M. A. 1979: Conodont biostratigraphy of the Lower Triassic Thaynes Formation, Utah. - J. Paleont. 53/2, 276-306, Lawrence.
- Staesche, U. 1964: Conodonten aus dem Skyth von Sdtirol. - N. Jb. Paläont. Abh. 119/3, 247-306, Stuttgart.
- Sweet, W.C., Mosher, L.C., Clark, D.L., Collinson, J.W. & Hassenmueller, W.A. 1971: Conodont biostratigraphy of the Triassic. V: Sweet, W.C. & Bergström, S.M. (eds.): Symposium on Conodont Biostratigraphy. - Geol. Soc. Am. Mem. 127, 441-465, Boulder.

Tabla 1 - Plate 1

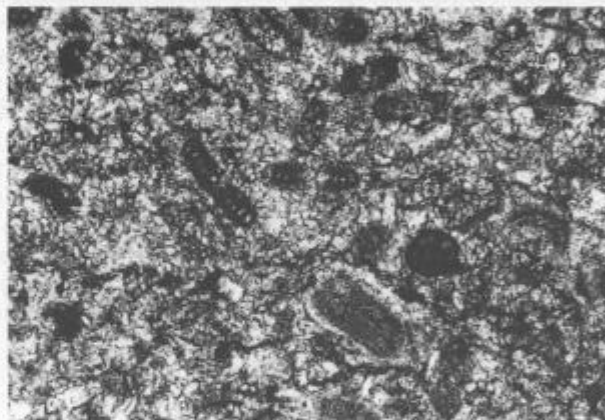
- 1 *Meandrospira pusilla* (Ho) v drobnozrnatem dolomitu. Vzorec Teh 2: 1a - 60 \times , 1b - 30 \times

Meandrospira pusilla (Ho) in fine-grained sparry dolomite. Sample Teh 2: 1a - 60 \times , 1b - 30 \times



- 2 Foraminiferni rekrystalizirani apnenec z *Meandrospira pusilla* (Ho) ter redkimi ploščicami ehinodermov. Vzorec Teh 9a, 60 \times

Recrystallized foraminiferal limestone with *Meandrospira pusilla* (Ho) and some echinoid plates. Sample Teh 9a, 60 \times



- 3 Rekrystaliziran oosparitni apnenec (grainstone) z ohranjenimi mikritnimi ovoji. Vzorec Teh 19, 25 \times

Recrystallized oosparitic limestone (grainstone) with preserved micritic envelopes. Sample Teh 19, 25 \times

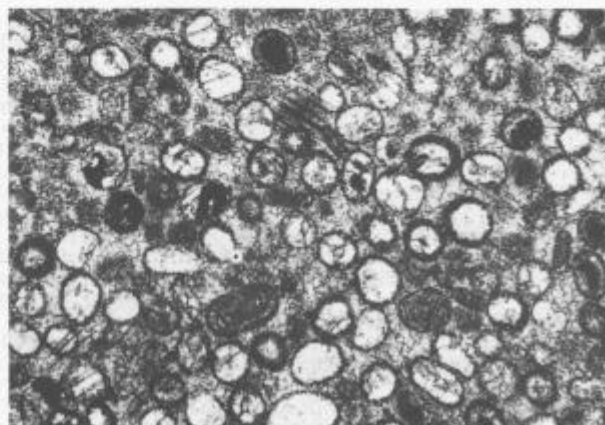
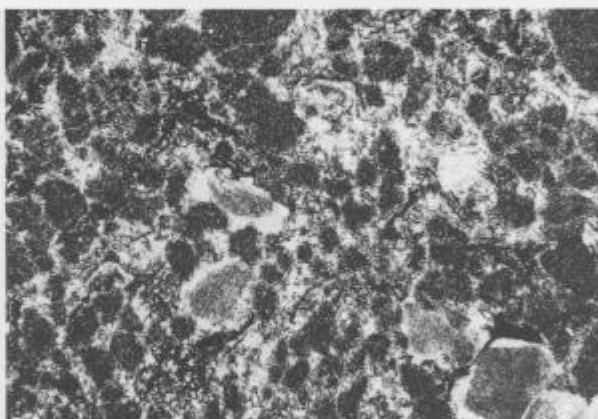


Tabla 2 - Plate 2

- 1 Mikritni apnec s fukoidno bioturbacijsko teksturo. Vzorec Teh 20, 10x
Micritic limestone with fucoidal bioturbated structure. Sample Teh 20, 10x



- 2 Biopelmikritni apnec (packstone). Sintaksialni cement okrog ploščic ehinodermov. Vzorec Teh 21, 25x
Biopelmicritic limestone (packstone). Syntaxial cement around echinoidal plates. Sample Teh 21, 25x



- 3 Rekrystaliziran biosparitni apnec (grainstone). Vzorec Teh 33, 25 x
Recrystallized biosparitic limestone (grainstone). Sample Teh 33, 25 x

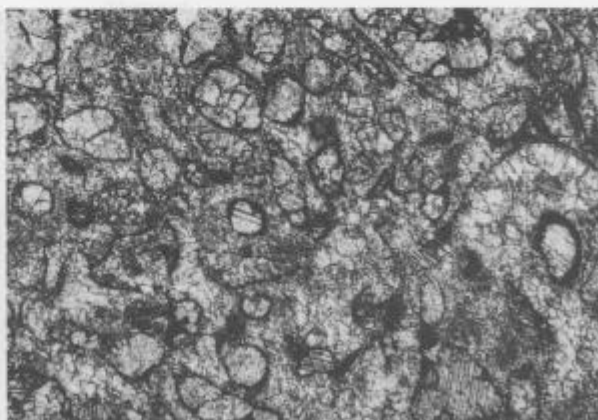
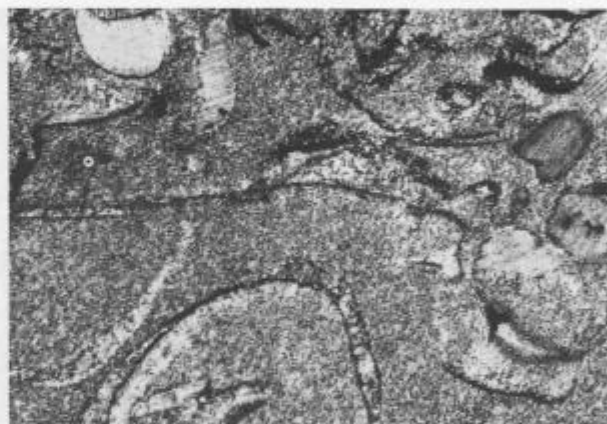


Tabla 3 - Plate 3

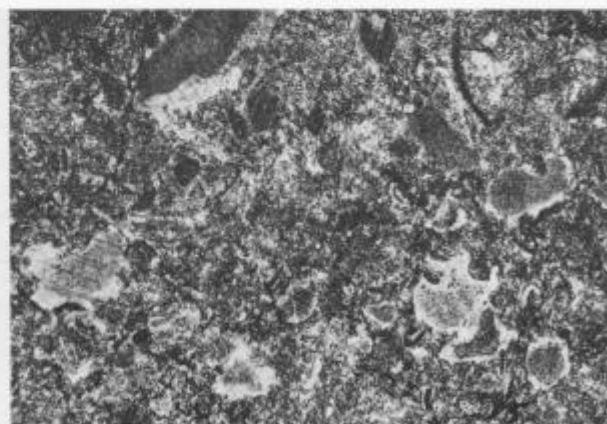
- 1 Biomikritni apnenec z lupinami školjk (packstone). Vzorec Teh 34a, 10×
Biomicrotic limestone with pelecypods (packstone). Sample Teh 34a, 10 ×



- 2 Rekristaliziran biomikritni apnenec z ehinodermi in moluski (wackestone). Vzorec Teh 35, 25 ×
Recrystallized biomicrotic limestone with echinoderms and molluscs (wackestone). Sample Teh 35, 25 ×



- 3 Rekristaliziran apnenec s številnimi ploščicami ehinodermov (packstone). Vzorec Teh 42, 25×
Recrystallized limestone with numerous echinoid fragments (packstone). Sample Teh 42, 25×



Ladinijske karbonatne in piroklastične kamnine med Jagrščami in Želinom

Ladinian carbonate and pyroclastic rocks between Jagršče and Želin (Slovenia)

Miloš Bavec

Geološki zavod Slovenije
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: ladinij, langobard, karbonatne kamnine, piroklastične kamnine
Key words: Ladinian, Langobardian, carbonate rocks, pyroclastic rocks

Kratka vsebina

Ozemlje med Jagrščami in Želinom je zgrajeno predvsem iz ladinijskih karbonatnih in piroklastičnih kamnin. V lateralni in vertikalni smeri se med seboj hitro izmenjujejo. Imajo bolj ali manj izraženo plastnatost in z manjšimi odstopanji vpadajo proti zahodu s povprečnim vpadom 30° S kotno erozijsko diskordanco nalegajo na starejše anizijske plasti, meja z zgoraj ležečim cordevolskim dolomitom pa je normalna.

Kljub predvidevanju, da bomo ugotovili nastanek na pregibu ali na pobočju med Dinarsko karbonatno platformo in Slovenskim bazenom, se je izkazalo, da so kamnine nastajale na robu karbonatne platforme, kjer je bil vpliv globljevodne sedimentacije zanemarljiv.

Abstract

The area between Jagršče and Želin consists mainly of Ladinian carbonate and pyroclastic rocks alternating in vertical as well as in lateral direction. General dip of the strata is estimated at approximately 30°W.

An angular unconformity separates Anisian and Ladinian strata while the boundary between Ladinian and Carnian (Cordevolian) strata is concordant.

Rocks originated in the area of transitional zone between Dinaric carbonate platform and Slovenian basin. Detailed geological mapping and sedimentological analysis of three representative cross-sections have shown that sedimentation took place at the edge of the carbonate platform with only a minor influence of pelagic sedimentation from the basin.

Uvod

V spodnjem triasu se je na območju do takrat enotne Slovenske karbonatne platforme začelo tektonsko premikanje (P l a c e r & Č a r, 1975b), ki je v srednjem triasu

privedlo do diferenciacije na tri velike paleogeografske enote: Dinarsko karbonatno platformo, Slovenski bazen in Julijsko karbonatno platformo (B u s e r, 1986).

V ladiniju je bila paleogeografska diferenciacija že vzpostavljena. Območje današnje Slovenije je bilo takrat zaznamovano z izrazito močnimi tektonskimi dogajanji. Tektonska premikanja in z njimi povezan vulkanizem, ki je v langobardski podstopnji zajel večji del slovenskega ozemlja, so povzročila zelo hitre spremembe v sedimentaciji. Nastajale so različne karbonatne, klastične, magmatske in piroklastične kamnine (B u s e r, 1986).

Paleogeografsko si ta čas predstavljamo kot mnoga otočja, med njimi pa plitvejša ali globlje morske prelive (G e r m o v š e k, 1956).

Obravnavano ozemlje leži na območju, kjer smo lahko pričakovali sedimente, nastale v vmesni coni med Dinarsko karbonatno platformo in Slovenskim bazenom, ki sta jo ugotovila Č a r in S k a b e r n e (1995) pri bližnjem Stopniku. Ozemlje sestavljajo anizijske, ladinijske in cordevolske kamnine.

Cilj raziskave je bil z detajlnim geološkim kartiranjem in nekaterimi sedimentološkimi metodami določiti okolje nastajanja ladinijskih kamnin in ob tem poskusiti določiti potek meje med Slovenskim bazenom in Dinarsko karbonatno platformo, ki na idrijsko - cerkljanskem ozemlju še ni natančno določena.

Pregled dosedanjih raziskav

S t u r (1858) je omenil najdbo amonitov v tufih pri Jablanici južno od Jagršč.

K o s s m a t (1910) je južno od Jagršč našel nahajališče kamnine, ki jo je imenoval porfirit.

B e r c e (1960) je poročilu o kartiranju ozemlja Cerčno - Idrija - Žiri priložil geološko karto območja med Jagrščami in Želinom v M 1:10 000, vendar ga v besedilu ni omenil. Ladinijskim kamninam je določil bistveno premajhen obseg.

V okviru raziskav za potrebe idrijskega rudnika so bile na kartiranem ozemlju izvedene tudi mineraloške (T o v š a k & O r e h e k, 1960) in geofizikalne (Š u m i, 1960) raziskave.

M l a k a r (1969) je območje med Jagrščami in Želinom omenil v svojem delu o geologiji zahodne Slovenije in ga uvrstil v Trnovski pokrov. V isto tektonsko enoto ga je kasneje uvrstil tudi P l a c e r (1981) v nadgradnji Mlakarjevega dela.

Ozemlje je bilo skartirano v M 1:25 000 za potrebe OGK 1:100 000 (F e r j a n č i č, 1972). V neobjavljenem poročilu avtor ugotavlja, da leže ladinijske plasti diskordantno na anizijskem dolomitu in se začenjajo s tufi in diabazi. Kasnejše raziskave prisotnosti diabaza niso pokazale. Avtor poroča o najdbi fosilov *Yoanites deschmani*, *Cidaris dorsata*, *Avicula tofanae*, *Posidonia wengensis* in *Daonella lommeli* v Jagrščah.

V tolmaču k OGK idrijske občine (M 1:25000) omenja Č a r (1985b) v okolici Jagršč vulkanite in tufe kisle sestave ter temnosive plastnate, neplastnate in gomoljaste apnenec langobardske starosti, ki so se usedali v šelfnem območju.

B u s e r (1986) v tolmaču k OGK SFRJ 1:100 000 list Tolmin ugotavlja, da je med Želinom, Jagrščami in Idrskimi Krnicami v ladiniju razvit svetlo zeleni tuf, v njegovem vrhnjem delu pa najdemo temno sivi mikritni gomoljasti apnenec. Na severni strani Idrije pri Želinu je 5 m pod normalnim stikom ladinijskih in cordevolskih plasti našel nekaj centimetrov debelo lumakelo daonel in pod njo plasti s poredkimi amoniti arcestidnih oblik. Tu se menjavata temno sivi mikritni lapornati apnenec in trdi glineni lapor. Določena je bila konodontna vrsta *Epigondolella hungarica* in ribje

luskice *Nurella* sp. Kolar - Jurkovičova (1990) je konodonte in ribje zobe iz tega profila uvrstila v hungarica - Sz., ki označuje langobardsko podstopnjo. V tufitu in polah apnenca severno od Jagršč je določila nekaj foraminifer, ostrakodov in konodontov, ki kažejo na anizijsko starost, zato sklepa, da so bili kosi z anizijsko mikrofavno preneseni v sedimentacijsko okolje s pobočne cone v ladinijski stopnji. Langobardsko starost na zadnji lokaciji dokazuje tudi s školjko *Daonella lomelli*, omenja pa še *D. cf. reticulata* Mojsisovics, *Daonella* sp., *Posidonia* sp., in *Protrachyceras* sp.

Goričanova in Buser (1990) sta tik pod Jagrščami v apnencu in rožencu našla redke slabo ohranjene radiolarije. V istem delu omenjata tudi amonite in školjke *Daonella lomelli* v tufu in laporju severozahodno od Jagršč, tik pod mejo s cordevolom.

Geološke razmere na širšem območju

Litostratigrafija

Na območju Cerknega, med Želinom, Masorami in Vojskarsko planoto predstavlja anizijsko stopnjo plastnati dolomit, ki lateralno prehaja v neplastnati dolomit s konglomeratnimi vložki in leži konkordantno na spodnjetriasnih plasteh. Debelina anizijskega dolomita znaša 100 do 350 m (Buser, 1986).

V srednjem ali v spodnjem delu zgornjega anizija se je začel odpirati Slovenski bazen, na jugu pa se je začela oblikovati Dinarska karbonatna platforma. Sedimentacija je bila na meji med anizijem in ladinijem prekinjena s kotno erozijsko diskordanco. Ob njej je bila erodirana znatna debelina anizijskega dolomita (Čar, 1985a, 1990). Ker je bilo ozemlje v tem času razkosano na različno dvignjene bloke, je erozija nekatere bloke prizadela bolj od drugih. Sedimentacija se je nadaljevala šele v langobardu (Mlakar, 1967, 1969; Placer & Čar, 1975b).

V ladinijski stopnji so se na prostoru Dinarske karbonatne platforme odlagali tufi, v zgornjem delu pa tudi organogeni temno sivi apneneci in ponekod pisani konglomerati. V tufih najdemo ponekod tudi izlive kislih in intermediarnih predornih (Buser, 1986). Kjer leže langobardske kamnine na skitiju so (večinoma) razviti le najmlajši členi; tuf, tufit z roženci in gomoljasti apnenec, kjer pa leže na anizijskih kamninah, pa so razviti vsi langobardski litoški členi. V Idriji in njeni okolici je sedimentacija v srednjem triasu potekala v okviru Idrijske srednjetriasne tektonske zgradbe (Placer, 1981; Čar, 1985a, 1990). Sedimentacija se je neprekinjeno nadaljevala v cordevol, ko se je odložil apnenec, ki se je med diagenozo spremenil v neplastnat bel zrnať dolomit. Izjema je območje Idrijskih Krnic in Vojskarske planote, kjer leži cordevolski dolomit neposredno na anizijskem dolomitu (Mlakar, 1969).

Na prostoru Slovenskega bazena so se v ladiniju odlagale kamnine psevdoziljskih skladov. Po mnenju nekaterih avtorjev (Čar et al., 1981) se je sedimentacija psevdoziljskih skladov nadaljevala še v cordevolu in se zaključila z amfiklinskimi plastmi, po mnenju drugih (Buser, 1986) pa so se v cordevolu usedale amfiklinske plasti.

Meja med Slovenskim bazenom in Dinarsko karbonatno platformo, ki je danes znanovana z izredno zapletenimi medsebojnimi odnosi pestrih ladinijskih kamnin, je potekala približno ob črti Bukovo - Zakriž - Cerčno - Robidensko brdo (Čar, 1985a). Pri Stopniku, ki spada v prehodno območje med obema paleogeografskima enotama, leži na bazi ladinija ponekod bazalni debelozrnať dolomitni konglomerat, sicer pa tufski litični peščenjak. Na teh kamninah ali pa neposredno na erodirani anizijski

podlagi leži svetlosiv do rožnat organogeni grebenski apnenec. Nad apnencem leži tufski peščenjak, do 250 m debeli izlivi keratofirja, porfirja in mandljastega diabaza ter litični tufski peščenjak, peščeni konglomerat in glinenčevo litični prodat peščenjak. Ponekod najdemo tudi kristalaste tufe in tufske meljevce. Litologija tega območja kaže na nastanek v območju prevoja v razgibanem plitvodnem šelfu z vulkanskim in kopenskim vplivom (Č a r & S k a b e r n e, 1995).

Tektonika

Današnja zgradba idrijsko - cerkljanskega ozemlja je posledica treh faz alpskega gorotvornega cikla (P l a c e r & Č a r, 1975a):

- srednjetriasne faze radialnih prelomov,
- staroterciarne faze gubanja (nastanek narivne zgradbe),
- mladoterciarne faze zmikanja (prelomi NW-SE).

Mnenja o starosti terciarnih tektonskih faz so različna (M l a k a r, 1969; B u s e r, 1976, 1986). Po mojem mnenju je zato ustrezneje kot o staroterciarni in mladoterciarni tektonski fazi, govoriti o starejši terciarni in mlajši terciarni tektonski fazi.

V času srednjetriasne - idrijske tektonske faze (B u s e r, 1980), katere prve znake zasledimo že v zgornjem delu spodnjega skita (P l a c e r & Č a r, 1975b), je prišlo v aniziju najprej do kosa terena ob subvertikalnih radialnih prelomih v smeri E - W in N - S in s tem do nastanka blokov (M l a k a r, 1967). Sledilo je dvigovanje in spuščanje blokov in ob tem do erozije, ki je nekatere bloke prizadela bolj, druge pa manj. Prvi fazi idrijske tektonike tako pripada kosa terena in dviganje terena nad erozijsko bazo, drugi pa izravnavanje terena. Posledica tega dogajanja je erozijska in mestoma kotno erozijska diskordanca, ki zaznamuje mejo med anizijem in ladinijem (Č a r, 1968). Na območju Idrijskega tektonskega jarka je erozija zajela celotno anizijsko skladovnico, ponekod pa tudi starejše, celo karbonske kamnine. (Č a r, 1990). Drugod na območju idrijskega srednjetriasnega tektonskega sistema je erozija zajela le del anizijskih plasti (P l a c e r & Č a r, 1975b). Močnejša tektonska aktivnost se je na območju idrijskega rudišča končala v sr. triasu, v širšem okolju pa se je nadaljevala. Tako imamo na Cerkljanskem pomembne litološke spremembe še v zg. triasu. (P l a c e r & Č a r, 1975a). Idrijska tektonska faza predstavlja prvi močnejši sunek v alpskem orogenem ciklu (P l a c e r & Č a r, 1975a).

V terciarju je pod vplivom močnih tangencialnih pritiskov s severa in severozahoda prišlo do gubanja, luskanja in končno narivanja ozemlja. Posledica je nastanek narivne zgradbe jugozahodne Slovenije (M l a k a r, 1969; P l a c e r, 1981). Ozemlje med Jagrščami in Želinom spada po njuni razdelitvi v Trnovski pokrov. P l a c e r in Č a r (1975a) to starejšo terciarno tektonsko fazo vzporejata s pirenejsko fazo v okviru alpskega orogena in ji, ob dvomu, da gre mogoče celo za starejšo tektoniko od eocena, pripisujeta posteocensko starost. Za razliko od omenjenih avtorjev pa uvršča B u s e r (1976, 1986) to gubanje v mlajši terciar na mejo med tortonijem (badenijem) in sarmatijem.

Končno so v mlajši terciarni tektonski fazi zaradi tangencialnih pritiskov nastali prelomi v smeri NE - SW in NW - SE. Ob njihovih subhorizontalnih ploskvah je prišlo do levih in desnih zmikov, ki so bili dolgi tudi do nekaj kilometrov (P l a c e r & Č a r, 1975a). Prelomi so nastali po sarmatiju oziroma v pliocenu (B u s e r, 1976).

Vulkanizem

Nastajanje ladinijskih kamnin na Idrijskem in Cerkljanskem je v veliki meri povezano s tankajšnjim vulkanizmom.

Starejši raziskovalci govorijo o dveh vulkanskih erupcijah na Idrijskem (S t u r, 1858; K o s s m a t, 1910; R a k o v e c, 1946). Prva erupcija naj bi bila kopenska, temu dejstvu v prid govore rastlinski ostanki v tufih, vendar blizu morske obale, na kar kažejo amoniti, ki jih S t u r (1858) omenja pri Jablanici južno od Jagršč.

K o s s m a t (1910) trdi, da je druga erupcija prekrila širše območje z lavo, ki pa je bila kasneje razkosana in na nekaterih mestih, na primer pri Jagrščah in Šebreljah, popolnoma erodirana. Če vemo, da je meja ladinija s cordevolom pri Jagrščah normalna, lahko potrdimo trditve kasnejših raziskovalcev o le enem večjem vulkanskem izbruhu (Č a r, 1968; Č a r & S k a b e r n e, 1995; B a v e c, 1996).

R a k o v e c (1946) piše, da sta erupciji povzročili nastajanje kislih felzitskih porfirjev in bolj bazičnih porfiritov. Iskanje ladinijskih vulkanskih stožcev naj bi bilo po njegovem mnenju brezpredmetno, saj si moramo takratne vulkane predstavljati kot linearno razporejene hrbte brez kraterja, ki so nastali pri večkratnih erupcijah ali zaradi večje količine gostejše lave. Tak vulkanizem - vulkanizem z linearnimi erupcijami lahko danes zasledimo na Islandiji.

B e r c e (1962) za razliko od Rakovca govori o verjetno podmorskih erupcijah. Kot središči erupcij najprej (1960) omenja Stopnik in Ravne, kasneje (1962) pa še Vojsko.

Č a r (1968) piše, da je bilo vulkansko delovanje sicer živo skozi ves langobard, večji vulkanski izbruh pa naj bi bil le eden. Dal naj bi material za tufe in tufite, ki zaključujejo langobardsko podstopnjo na vsem idrijskem ozemlju.

Razvoj ladinijskih plasti med Jagrščami in Želinom

Na kartiranem območju si v normalnem zaporedju sledi več različkov karbonatnih in vulkanoklastičnih kamnin, ki se med seboj lateralno in vertikalno pogosto izmenjujejo (slike 1-3). Kamnine imajo jasno izraženo plastnatost. Z manjšimi odstopanji vse plasti vpadajo proti zahodu s povprečnim vpadom približno 30°. Debelina ladinijskih skladov se spreminja od 20 m na skrajnem severnem robu, do 110 m v profilu južno od Jagršč.

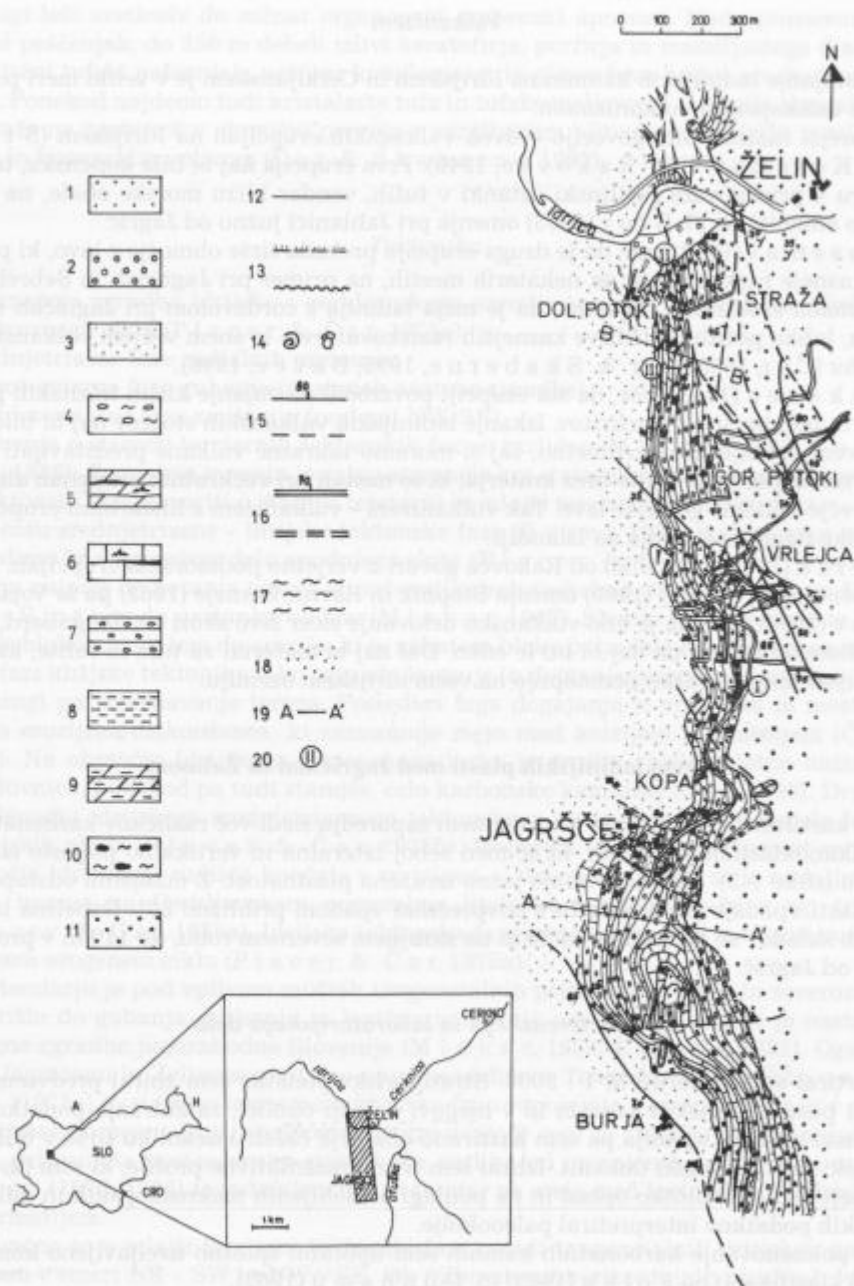
Metode terenskega in laboratorijskega dela

Kartiral sem v merilu M 1 : 5000. Stratigrafske podatke sem zbiral predvsem na ozkem pasu ladinijskih kamnin in v njegovi najožji okolici, za zbiranje podatkov o tektonski zgradbi ozemlja pa sem kartirano območje razširil nekoliko širše v bližnja anizijski in cordevolski dolomit. Izbral sem tri reprezentativne profile, ki sem jih podrobneje sedimentološko opisal in na podlagi pridobljenih makroskopskih in mikroskopskih podatkov interpretiral paleookolje.

Za poimenovanje karbonatnih kamnin sem uporabil splošno uveljavljeno kombinacijo klasifikacij po F o l k u (1962) in D u n h a m u (1962).

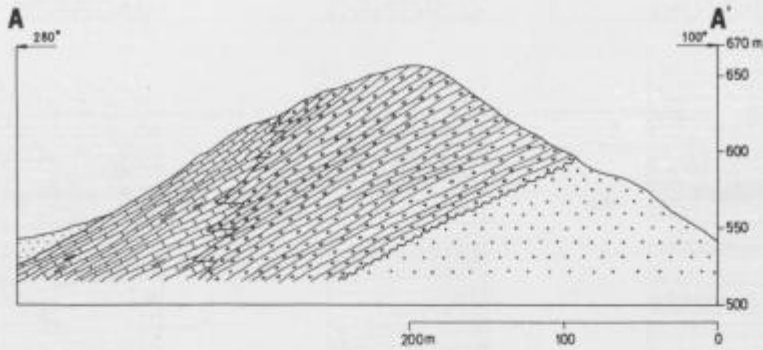
Sestavo plagioklazov sem določal mikroskopsko s pomočjo krivulje za določanje sestave plagioklazov, zraščenih po albitnem zakonu (R o g e r s & K e r r, 1942).

Za klasifikacijo vulkanoklastičnih kamnin sem uporabljal prirejeno tabelo za klasifikacijo glede na velikost zrn, ki jo predlagajo M c P h i e in soavtorji (1993).



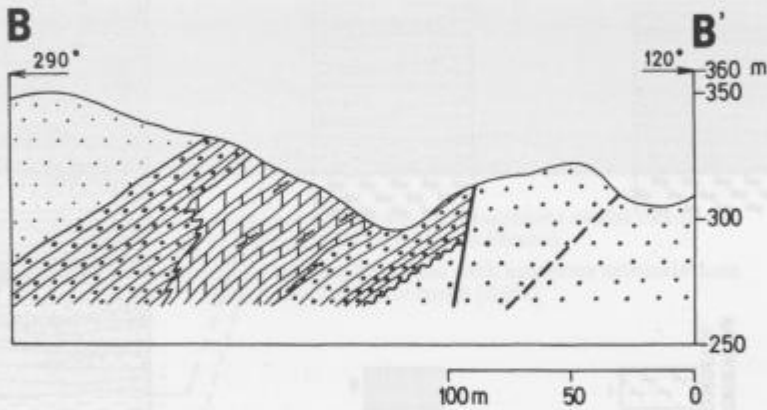
Sl. 1. Geološka karta ozemlja med Jagrščami in Želinom

Fig. 1. Geological map of the area between Jagrščami and Želin



Sl. 1a. Geološki profil A - A'

Fig. 1a. Geological cross-section A - A'



Sl. 1b. Geološki profil B - B'

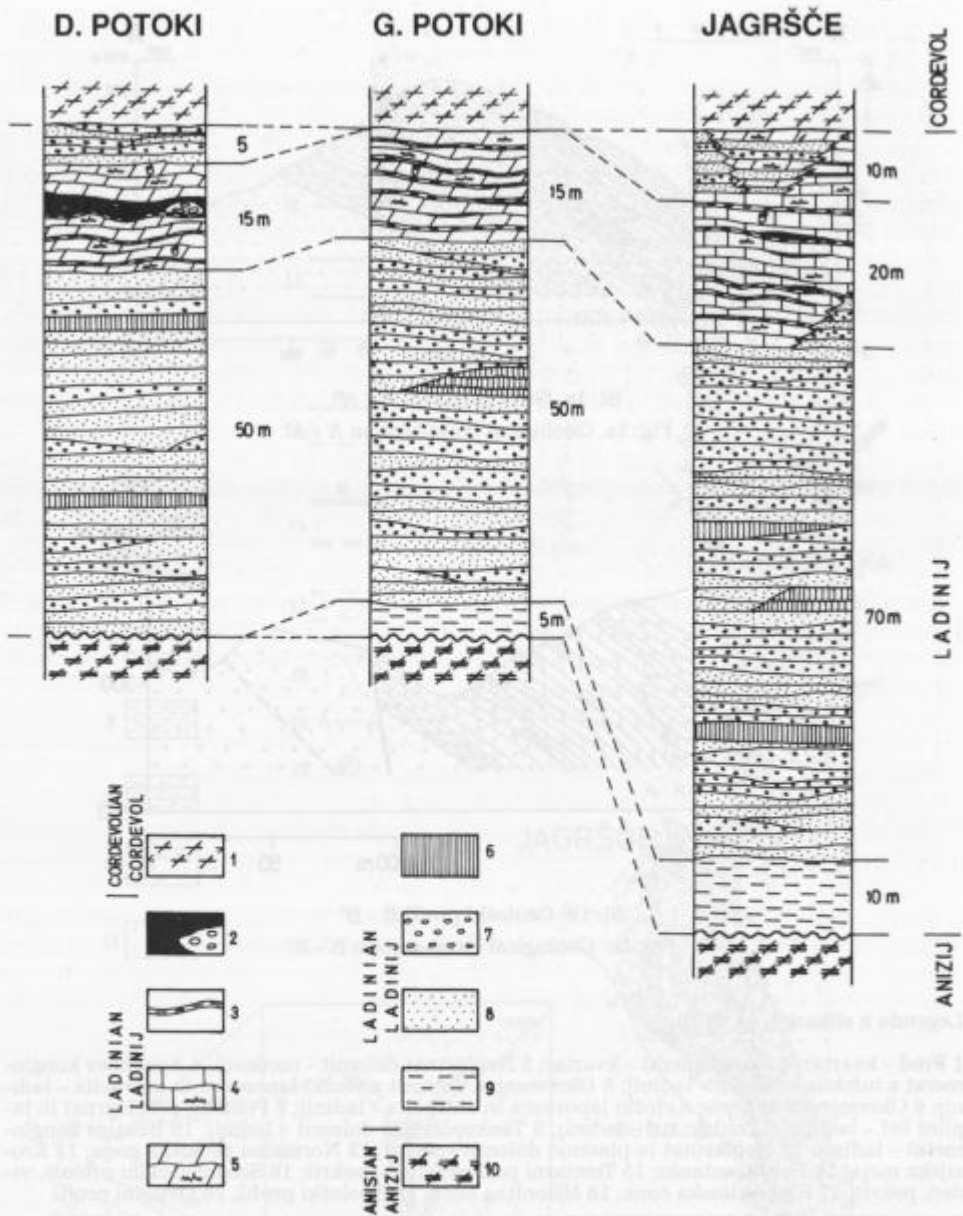
Fig. 1b. Geological cross-section B - B'

Legenda k slikam 1, 1a in 1b

1 Prod - kvartar; 2 Konglomerat - kvartar; 3 Neplastnat dolomit - cordevol; 4 Apnenčev konglomerat s tufskim vezivom - ladinij; 5 Okremenjen dolomit z vložki laporovca in antracita - ladinij; 6 Okremenjen apnenec z vložki laporovca in antracita - ladinij; 7 Pelitski, debelozrnat in lapilni tuf - ladinij; 8 Pelitski tuf - ladinij; 9 Tankoplastnat dolomit - ladinij; 10 Bazalni konglomerat - ladinij; 11 Neplastnat in plastnat dolomit - anizij; 12 Normalna geološka meja; 13 Erozijska meja; 14 Fosilni ostanki; 15 Terciarni prelom, viden, pokrit; 16 Srednjetriasni prelom, viden, pokrit; 17 Razpoklinska cona; 18 Milonitna cona; 19 Geološki profil; 20 Detajlni profil

Legend to figs. 1, 1a and 1b

1 Gravel - Quaternary; 2 Conglomerate - Quaternary; 3 Non-bedded dolomite - Cordevolian; 4 Conglomerate with tufaceous matrix - Ladinian; 5 Silicified dolomite with coal intercalations - Ladinian; 6 Silicified limestone with coal intercalations - Ladinian; 7 Andesite lapilli, coarse-grained and pelitic tuffs - Ladinian; 9 Dolomitized pelitic tuff - Ladinian; 10 Basal breccia and conglomerate - Ladinian; 11 Dolomite - Anisian; 12 Conform geological boundary; 13 Geological disconformity; 14 Fossils; 15 Younger faults - Tertiary; 16 Older faults - Middle Triassic; 17 Fractured zone; 18 Milonite zone; 19 Geological cross-section; 20 Detailed cross-section



Sl. 2. Litološki stolpci ozemlja med Jagrščami in Želinom

Fig. 2. Lithological columns of the area between Jagršče and Želin



Sl. 3. Tektonska meja med apnencem z antracitnimi vložki (levo)
in piroklastičnimi kamninami (desno)

Fig. 3. Tectonic boundary between limestone with antracite intercalations
(left) and pyroclastic rocks (right)

Legenda k sliki 2

1 Neplastnat dolomit; 2 Antracit s konglomeratom; 3 Laporovec; 4 Okremenjen plastnat apnec;
5 Okremenjen plastnat dolomit; 6 Pelitski tuf; 7 Lapilni tuf; 8 Debelozrnat tuf; 9 Dolomitiziran
pelitski tuf; 10 Neplastnat in plastnat dolomit

1 Massive dolomite; 2 Antracite with conglomerate; 3 Marlstone; 4 Silicified layered limestone;
5 Silicified layered dolomite; 6 Pelitic tuff; 7 Lapilli tuff; 8 Coarse-grained tuff; 9 Dolomitized
pelitic tuff; 10 Massive and layered dolomite

Opis kartiranih enot

Anizijska stopnja

Najstarejši litološki člen na kartiranem ozemlju je anizijski dolomit. V spodnjem delu prevladuje neplastnat svetlosiv do bel debelozrnat dolomit, ki se lateralno izmenjuje s tanko do debeloplastnatim mikritnim dolomitom. Zadnji je pogosto laminiran. Vzrok laminacije so ponekod stromatolitne tvorbe. V zbruskih pogosto opazimo tudi izsušitvene pore in razpoke, zapolnjene z dolosparitnim cementom.

V zgornjem delu najdemo le še tankoplastnat dolomit, ki ga na nekaterih mestih zamenjuje kataklastična monomiktna dolomitna breča - posledica srednjetriasne tektonike. Izdanke breče najdemo pri kmetijah v Gorenjih in Dolenjih Potokih.

V najvišjem delu tankoplastnatega dolomita nastopajo med plastmi tudi neravne emerzijske površine, ki tako kot konglomerat kažejo na tektonsko aktivnost in dvigovanje nad erozijsko bazo. Zanimivo je, da v dveh najstarejših emerzijskih površinah, ki ležita 8,5 m in 10 m pod mejo anizij - ladinij, najdemo razen dolomita le še železove okside in minerale glin. Višje, tik pod mejo z ladinijem se v mineralni združbi pojavi še kremen. To kaže na začetke vulkanske aktivnosti na meji anizij - ladinij.

V dolomitu je bila določena foraminifera *Meandrospira dinarica*, ki je vodilna za anizijsko stopnjo.

Mejo anizij - ladinij predstavlja močna erozijska in mestoma kotno erozijska diskordanca.

Ladinijska stopnja

Dolomit

Ob cesti Želin - Jagršč se južno od Vrlejce ladinjska stopnja začne s tankoplastnatim svetlorjavim dolomitom. Pojavlja se le na nekaj deset kvadratnih metrih. Rentgenska posnetka sta pokazala, da gre za izjemno čist dolomit. Dolomikrit je deloma že rekristaliziran v dolosparit. V tej kamnini najdemo domnevno biogene ostanke, ki pa niso določljivi.

Rentgenska posnetka sedimenta, odvzetega z neravnih emerzijskih površin, ki se pojavljajo v dolomitu, sta pokazala prisotnost glinencev, ki pričajo o bližnji vulkanski aktivnosti.

Bazalna breča in konglomerat

Južno od Vrlejce se ladinij ponekod začne z bazalno brečo, ki leži na erodirani anizijski podlagi. Sestavljajo jo do 40 cm veliki dolomitni bloki in dolomitno vezivo. Na nekaterih mestih so klasti zaobljeni, tako da lahko kamnino imenujemo tudi bazalni (blokovni) konglomerat.

Dolomitiziran pelitski tuf

Ladinijska stopnja se pri Gorenjih Potokih in vzhodno od Jagršč začne s svetlozelenim močno dolomitiziranim pelitskim tufom v plasteh debeline 3 - 15 cm. Rent-

genska analiza tufa je pokazala, da je sestavljen iz kremenca, glincev in dolomita. Dolomit nastopa kot cement. Debelina doseže 10 m.

Menjavanje andezitnega lapilnega tufa, debelozrnatega tufa in pelitskega tufa

Naštete kamnine se tako pogosto izmenjujejo, da jih pri kartiranju ni bilo mogoče ločevati kot posamezne litološke enote.

Pokrivajo največji del kartiranega ozemlja. So temnosive in temnozeleno barve. Dosežejo debelino 50 do 70 m. Pojavljajo se v plasteh debelih od 3 do 40 cm in se vertikalno in lateralno pogosto izmenjujejo. Ponekod se v laminah izmenjujejo tudi znotraj ene plasti. Tu in tam lahko znotraj plasti opazimo tudi gradacijo.

V lapilnem tufu prevladujejo odlomki predornin in kosi bolj ali manj sericitizirane plovca ter steklasta osnova. Manj je glincev kisle in srednje sestave (oligoklaz in andezin), kremenova zrna pa so zelo redka. Imenujemo ga lahko steklast kristalolitični lapilni andezitni tuf (McPhie et al., 1993).

V debelozrnatem tufu glinenci (oligoklaz in andezin) prevladujejo nad litičnimi zrnji, plovcem in steklasto osnovo. Gre torej za steklast litičnokristalni debelozrnat andezitni tuf. V njem se pojavljajo tudi redka zrna kalcedona.

Tudi pelitski tuf ima najbrž (kolikor se da oceniti s pomočjo rentgenskega posnetka) podobno sestavo kot prej omenjeni kamnini.

Ob cesti, 30 m NE od jagrške cerkve se 10 m pod mejo s cordevolskim dolomitom med ladinijskimi tufskimi plastmi pojavijo tudi redke plasti okremenjenega dolomita. Takšnega primera drugod na kartiranem območju ne zasledimo.

Karbonatne kamnine z vložki antracita

Piroklastične kamnine na kartiranem ozemlju lateralno in vertikalno prehajajo v črn okremenjen dolomit in apnenec.

Okremenjen zgodnjediagenetski dolomit

Temnosiv do črn zgodnjediagenetski dolomit se pojavlja v zgornjem delu ladinijske stopnje, med Dolenjimi in Gorenjimi potoki pa se z njim ladinij celo zaključuje. Največja debelina dolomitnih plasti je 20 m. Dolomit je plastnat, predvsem v spodnjem delu pa tudi gomoljast. Plasti so debele 3 do 60 cm in jih ponekod ločijo do 1 cm debele pole laporovca s primesjo tufskega meljevca. Dolomit je bolj ali manj okremenjen. Za okremenitev so bile najbolj dovzetne številne razpoke in lupinice organizmov. Dolomitu je primešano tudi nekaj tufskega materiala, ki ga mikroskopsko ni videti.

Mikrofosili so močno rekristalizirani, zato je težko ugotoviti kaj več kot to, da gre za ostrakode in morda za foraminifere iz družine ?Duostominidae.

Med dolomitnimi plastmi najdemo mestoma vložke antracita, meljevca in peščenjaka. Med Dolenjimi in Gorenjimi Potoki je taka plast debela kar 55 cm, sicer pa se debelina giblje med 1 in 20 cm.



Sl. 4. *Protrachyceras archelaus* iz gomoljastega apnenca jugozahodno od Vrlejce. Ladinij
Fotografija 5,4 × 3,7 cm. Foto: M. Grm.

Fig. 4. *Protrachyceras archelaus* from the nodular limestone SW of Vrlejca hill. Ladinian
Photo size: 5,4 × 3,7 cm. Photo: M. Grm.



Sl. 5. Lumakela školjk iz rodu *Posidonia* iz gomoljastega apnenca jugozahodno od Vrlejce.
Ladinij. Fotografija 12,4 × 8,4 cm. Foto: M. Grm.

Fig. 5. *Posidonia lumachelle* from the nodular limestone, SW of Vrlejca hill. Ladinian.
Photo size: 12,4 × 8,4 cm. Photo: M. Grm.

Okremenjen apnenec

Podobne lastnosti kot zgoraj opisani dolomit ima tudi biomikritni apnenec, ki nastopa v okolici Jagršč in na najsevernejšem izdanku ladinja na severni strani Idrije. Ker do dolomitizacije ni prišlo, so fosilni ostanki mnogo bolj ohranjeni. Prevladujejo odlomki ostrakodov in nedoločeni fosilni ostanki okroglih oblik. Fosili skupaj predstavljajo tudi do 60% kamnine. V apnencih se pojavljajo tudi lepo razviti onkoidi veliki do 1,5 cm. Ti nikjer ne predstavljajo več kot 5% kamnine.

Mikrofosilni ostanki so nadomeščeni in ponekod zapolnjeni s sparitom, ostanek pa predstavlja mikrit in bituminozna snov. V gomoljastem apnencu iz cestnega useka zahodno od Vrlece smo tik pod mejo s cordevolskim dolomitom določili *Protrachyceras archelaus* (sl. 4), *Daonella lomelli*, in plast s pozidonijami (sl. 5). Pregled vzorcev, odvzetih iz okremenjenih plasti ob cesti pri Jagrščah, v katerih smo pričakovali radiolarije, je dal negativen rezultat.

Vsebnost bituminozne snovi se spreminja. Največ, po mikroskopski oceni ponekod kar do 40%, je vsebujejo gomoljasti apneneci. Razlike v vsebnosti organske snovi se odražajo z laminacijo. Kremen se v apnencih pojavlja zelo podrejeno in sicer v obliki klastov makrokristalnega kremenca in kalcedona, njegova vsebnost pa ne presega 1%. Izjema so pole in konkretije (gomolji) roženca, ki se pojavljajo v teh apnencih.

S pomočjo fosilnih ostankov je bila že pri predhodnih raziskavah dokazana langobardska starost apnenca (B u s e r, 1986; G o r i č a n & B u s e r, 1990; K o l a r - J u r k o v š e k, 1990).

Apnenčev konglomerat s tufitskim vezivom

Na enem samem mestu - vzhodno od Burje je v plasteh lapilnega tufa viden vložek konglomerata. Podobna kamnina je izdajala tudi v cestnem useku kakšnih 150 m severovzhodno od jagrške cerkve, vendar je danes ta izdanek pokrit (ustno poročilo, J. Č a r).

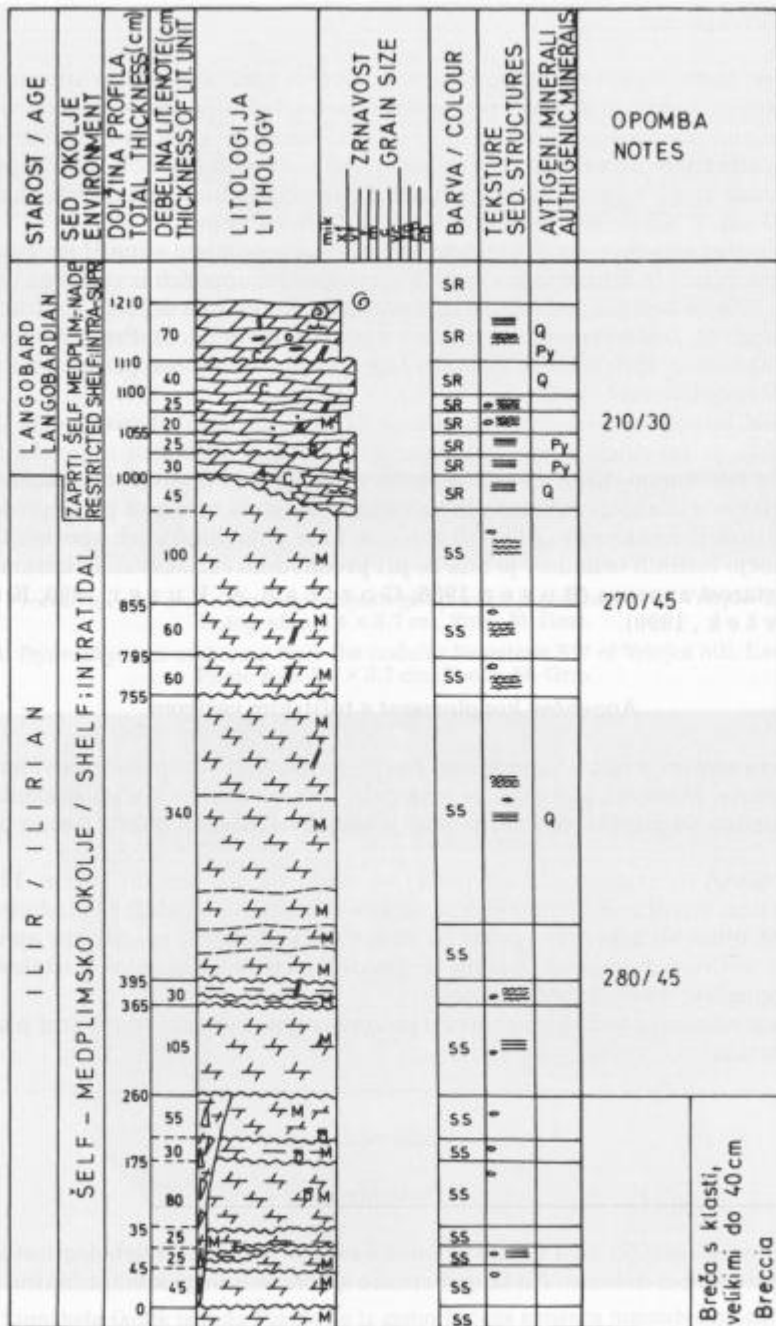
Polzaobljeni in zaobljeni klasti (80%) so veliki od 0,1 mm do 20 cm. Plavajo v osnovi in niso orientirani. Zelo redki so točkovni kontakti. Prodniki so ladinijske starosti. Med njimi se pojavljajo prodniki mikritnega apnenca, sparitnega apnenca in dolomita, izolirani apnenčevi onkoidi ter prodniki kremenca in mikrokristalnega kremenca. Apnenčevi prodniki prevladujejo.

Vezivo predstavlja tufitski meljevec s posameznimi prepoznavnimi zrnji plagioklazov - andezina.

Cordevolska podstopnja

















Dolomit

Najvišji stratigrafski člen na kartiranem ozemlju je masiven debeložrnat in porozen svetlosiv do bel dolomit. Na langobardske kamnine nalega konkordantno.



Sl. 6. Profil I - Jagršče

Fig. 6. Cross-section I - Jagršče

	Pelitski tuf Pelitic tuff	L	Limonit Limonite
	Debelozmat tuf Coarse-grained tuff	Q	Kremen Quartz
	Lapilni tuf Lapilli tuff	S	Sericit Sericite
	Laporovec s tufskim meljvcem Marlstone with tuffaceous siltstone	—	Oster prehod med plastmi Sharp bed contact
	Tankoplastnat dolomit Thinlayered dolomite	—	Jasen prehod med plastmi Distinct bed contact
	Dolomitna breča Dolomite breccia	—	Postopen prehod med plastmi Gradational bed contact
	Antracit s konglomeratom Antracite with conglomerate	—	Emerzijska površina Emersion plane
	Plastnat dolomit Layered dolomite	—	Kotno erozijska diskordanca Angular unconformity
	Ostrakodi Ostracods	—	Normalna postopna zravost Grading
	Makrofosili Macrofossils	—	Inverzna postopna zravost Inverse grading
	Foraminifere Foraminifers	—	Vzporedna laminacija Parallel lamination
	Problematični organizmi Non-determined bioforms	—	Stilolitski šivi Stylolites
	Skeletne alge Skeletal algae	—	Izsušitvene pore Fenestral structures
	Intraklasti Intraclasts	—	Stromatoliti Stromatolites
	Plastiklasti Plasticlasts	TSZ	Temnosivozelena Dark grayish green
	Organska snov Organic matter	SSZ	Svetosivozelena Light grayish green
	Peleti Pellets	SS	Svetosiva Light gray
Py	Pirit Pyrite	SR	Sivorjava Grayish brown
D	Dolomit Dolomite	Č	Črna Black
C	Kalcedon Calcedony	C	Sparit Sparite
		M	Mikrit Micrite

Legenda k slikam 6, 7 in 8

Legend to figs. 6, 7 and 8

Tektonika

Kartirano ozemlje, ki pripada Trnovskemu pokrovu (P l a c e r, 1981), sekata dve generaciji prelomov.

Starejši - srednjetriasni prelomi, ki so posledica idrijske tektonske faze (B u s e r, 1980), potekajo v smeri E - W. Ob takih prelomih najdemo sprijeto tektonsko brečo v anizijskem dolomitu.

Bolj izraziti so mladoterciarni prelomi v smeri NW - SE, postsarmatijske oziroma pliocenske starosti (B u s e r, 1976), vendar je tudi ob njihovih subvertikalnih ploskvah prišlo le do krajših desnih zmikov. Največji premik (približno 50 m) je viden v vasi Jagršče. Ti prelomi so vzrok za obsežne milonitne cone v anizijskem in predvsem v cordevolskem dolomitu, v katerih so si ponekod domačini uredili peskokope. Pomembnejši regionalni prelom je Kneški prelom (B u s e r, 1986), ki prečka kartirano ozemlje severno od Burje.

Ob kombinaciji srednjetriasnih in mladoterciarnih prelomov je pri Dolenjih in Gorenjih Potokih prišlo do dvigovanja blokov in ob tem do povečane erozije.

K o l a r - J u r k o v š k o v a (1990) omenja nariv pri Želinu, kjer so ladinijske in cordevolske plasti narinjene na spodnjetriasne kamnine, vendar na kartiranem ozemlju naravnice nisem ugotovil. Nariv je vrisan tudi na OGK SFRJ M 1:100 000, list Tolmin (B u s e r, 1987).

Opisi profilov

Na kartiranem ozemlju smo izbrali tri kratke in čimbolj reprezentativne razgaljene profile. V litostratigrafskem zaporedju si s prekinitvami od spodaj navzgor sledijo profili I, II in III. Profil I je posnet na meji anizij - ladinij, profil II znotraj zaporedja ladinijskih piroklastitov in profil III znotraj ladinijskega dolomita (sl. 1).

Profil I - Jagršče

Profil I (sl. 6) je posnet na meji med anizijem in ladinijem, ki ga na tem mestu zaznamuje kotno erozijska diskordanca. Debelina profila je 12,10 m.

Anizijska stopnja

Dolomit in dolomitna breča

Profil začenja s svetlosivim plastnatim anizijskim dolomitom. Kamnina je homogena, redkeje slabo laminirana ali stromatolitna. Plasti so debele od 25 do 45 cm in vpadajo proti zahodu s povprečnim vpodom 275/45. Plastnatost je dobro izražena. Plasti so ločene z lezikami ali z emerzijskimi površinami. Emerzijske površine so prevlečene s sedimentom sestavljenim iz železovih sulfidov, oksidov in hidrooksidov ter mineralov glin (glinenih mineralov in sljud).

Prevladuje zgodnjediagenetski dolomikrit - mudstone, ki je mestoma rekristaliziran v dolomikrosparit. V njem so pogoste izsušitvene pore nepravilnih oblik velike do 0,5 cm. Njihov delež se spreminja od 5 do 30%. Zapolnjene so z mozaičnim dolosparinim cementom, ki nastopa v subhedralnih in euhedralnih zrnih, velikih do 0,6 mm.

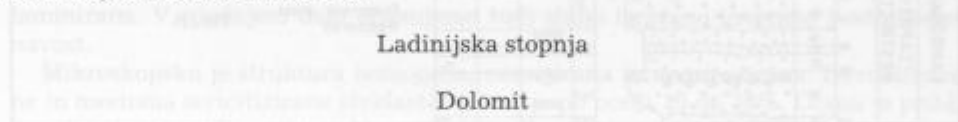
Nezapolnjeni del por predstavlja poroznost, ki znaša največ 3%. Izjemoma najdemo v dolomitu tudi geopetalne teksture. Dolomikrit mestoma prehaja v stromatolit (biomikrit) - boundstone, še redkejši pa je dolomikrit, sestavljen iz plastiklastov (intradolomikrit) - wackestone. Stromatoliti nastopajo v do 0,5 cm debelih pasovih. So mikritni, vmesni prostori pa so zapolnjeni s sparitnim cementom.

V dolomitu najdemo razen skeletnih alg in zelo redkih, do 0,2 mm velikih peletov, še foraminifero *Meandrospira dinarica*, ki je značilna za ilirsko podstopnjo anizija.

Dolomit je mestoma rahlo okremenjen (do 2%). Mikrokristalni kremen nadomešča dolosparitni cement v porah.

V spodnjem delu profila najdemo v dolomitu sinsedimentne razpoke, ki so zapolnjene z monomiktno dolomitno brečo. Na sinsedimentne deformacije kaže podatek, da kar 60% površine klastov predstavljajo od 0,1 do 0,3 mm veliki plastiklasti. Klasti v breči so veliki do 40 cm, vezivo med njimi (po približni oceni ga ni več kot 5%) pa je iz limonitiziranega dolomikrita.

Mejo anizijskega dolomita z zgoraj ležečim ladinijskim dolomitom predstavlja kotno erozijska diskordanca (sl. 9).



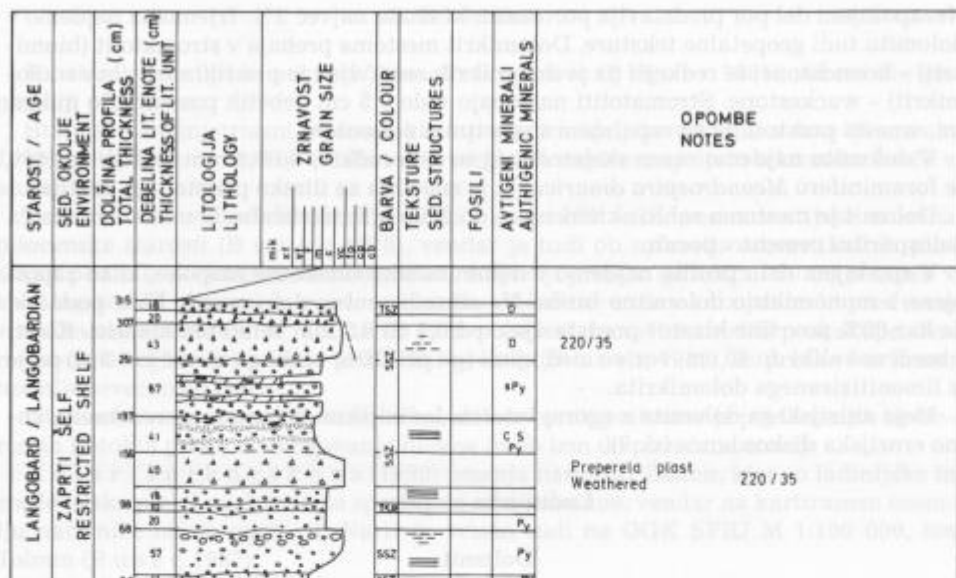
Ladinijske plasti se začenjajo z dolomitom. Vpad plasti se v ladinijskem delu profila spremeni na 210/30. Plasti so debele le 2 do 12 cm. Na dveh mestih so plasti v profilu ločene z neravnimi emerzijskimi površinami. Dolomit je svetlosive do svetlorjave barve, je zgodnjediagenetski, delno ali v celoti rekristaliziran.

Zanimivo je, da v dolomitu ni nikakršnih sledov vulkanizma. Rentgenska posnetka vzorcev sta pokazala sliko idealno čistega dolomita. Zato pa se vulkanogeni material pojavlja na emerzijskih površinah med dolomitnimi plastmi. Rentgenogrami so pokazali, da se poleg dolomita in drugotnih mineralov najprej pojavi kremen, višje v profilu pa se mu pridružijo še minerali glincev.

V spodnjem delu je dolomit spariten in mikrospariten s hipidiotopično strukturo, po Dunhamu kristalinični dolomit. V njem najdemo redka popolnoma okrogla polja velikosti do 40 μm , ki so zapolnjena s sparitnim cementom. Izvora jim žal nismo mogli določiti, predvidevam pa, da gre za bioklaste. Medzrnske poroznosti v kamnini je od 0 do 25%. Kot avtigena mineral se pojavljata mikrokristalni kremen (do 1%), ki se ponekod združuje v polja velika do 30 μm in pirit (do 1%) v nepravilnih presekih velikih do 30 μm .

V zgornjem delu preide kristalinični dolomit v dolomikrit in laminiran dolomikrosparit. V njem se pojavljajo redki peleti, lupinice ostrakodov, polžev in nedoločljivi bioklasti, ki lahko skupaj predstavljajo do 50% kamnine. Laminacija je ponekod posledica stromatolitnih tvorb. Stromatoliti so dolomikritni ali dolomikrosparitni, vmesni prostori pa so zapolnjeni z dolosparitom. V najvišjem delu profila najdemo tudi zaobljene klaste mikrokristalnega kremenca (1%) velike do 5 mm. Pogoste so izsušitvene pore velike do 0,5 cm (do 30% znotraj posameznih lamin), ki so zapolnjene z euhedralnim in subhedralnim mozaičnim dolosparitnim cementom. Ta zapolnjuje tudi redke žilice.

Kamnina je delno okremenjena. Do 2% por zapolnjuje tudi avtigeni mikrokristalni kremen, ki nadomešča dolosparitni cement. Kot avtigeni mineral nastopa še pirit v nepravilnih zrnih velikih do 0,2 mm (do 1%).



Sl. 7. Profil II - Dolenji Potoki. Legenda pri sl. 6.

Fig. 7. Cross-section II - Dolenji Potoki. Legend on fig. 6.

Profil II - Dolenji Potoki

V profilu II (sl. 7) se menjujejo od 10 do 67 cm debele ladinjske plasti lapilnega in debelozrnatega tufa z laminami pelitskega tufa. Zaporedje tufskih plasti je prekinjeno z dolomitnim vložkom. Plastnatost je izražena s hitrimi postopnimi prehodi. Vpad plasti znaša 220/35. Barva kamnin v profilu se spreminja od svetle do temne sivozele. Gre za prave piroklastične kamnine nastale s podvodnim usedanjem piroklastičnega materiala. Debelina profila je 315 cm.

Lapilni andezitni tuf

Lapilni andezitni tuf se pojavlja v plasteh debelih 18 do 43 cm. Nastopa v večih različnih. Glede na vsebnost posameznih komponent sem ločil kristalni steklastolitični, kristalolitični steklast, steklast kristalolitični in steklast litičnokristalni različek.

Struktura tufa je večinoma homogena, zrna so neorientirana in nesortirana, le v zgornjem delu lahko opazujemo slabo razvito normalno postopno zrnnavost. Fosilov ni. V steklasti, pogosto močno devitrificirani in sericitizirani osnovi (25 - 60%) plavajo od 10 μ m do 7 mm velika litična in steklasta zrna ter zrna plagioklazov.

Velikost plagioklazovih zrn se giblje med 5 μ m in 0,4 mm. Zrna so euhedralna, do 10% je fragmentiranih. Preseki so polpodolgovati do polizometrični, pogosto je dvojčično zraščanje po albitnem zakonu, redkejša so conarna zrna. V njih opazujemo vključke albita, neprozornih mineralov in apatita. Enakovredno sta zastopana ande-

zin in oligoklaz. Plagioklazi tvorijo od 10 do 30% kamnine. Oligofirskih litičnih zrn z devitrificirano steklasto osnovo je 20 do 45%. So nepravilnih oblik in so velika od 0,1 do 5 mm. Kontakt z osnovo je nazobčan ali raven. Poleg osnove jih grade še plagioklazi (andezin, oligoklaz) z delno korodiranimi robovi, ob katerih ponekod opazujemo strukturo rotacije. Zrn stekla in plovca je 5-20%. So izrazito nepravilnih oblik in so velika 10 μm do 3 mm. Ker so, tako kot osnova, močno devitrificirana, jih včasih težko ločimo od osnove s katero se stikajo z ravnimi ali nazobčanimi kontakti.

Na nekaterih mestih je prišlo do dolomitizacije kamnine, ki je prizadela predvsem litična in steklasta zrna, ponekod pa tudi osnovo. Vpršeni dolomikrit predstavlja največ 10%.

Debelozrnati andezitni tuf

Svetlosivozelen debelozrnat tuf se pojavlja kot kristalolitični steklast in steklast litičnokristalni debelozrnat andezitni tuf. Kamnina je pogosto bolj ali manj izrazito laminirana. V spodnjem delu opazujemo tudi slabo izraženo inverzno postopno zrnnavost.

Mikroskopsko je struktura homogena, nesortirana in neorientirana. Devitrificirane in mestoma sericitizirane steklaste osnove je po oceni 10 do 30%. Ocena je približna, ker je zrna plovca in stekla na nekaterih mestih nemogoče ločiti od osnove. V osnovi plavajo ali pa se stikajo z ravnimi in točkovnimi kontakti od 10 μm do 2 mm (izjemoma do 5 mm) velika zrna stekla, plovca, plagioklazov in litična zrna. Zrna plovca ponekod prehajajo v psevdoosnovo.

Med plagioklazi, ki pokrivajo 10 do 50% kamnine prevladuje andezin, oligoklaz se pojavlja podrejeno. Euhedralna in subhedralna polpodolgovata zrna in zrna vmesnih oblik so velika 30 μm do 0,9 mm. Pogosto opazujemo dvojčično zraščanje po albitnem zakonu, redkeje pa conarna zrna. Do 5% zrn je fragmentiranih. Oligofirska litična zrna predstavljajo 5 do 30% kamnine. Velika so od 70 μm do 5 mm in se z osnovo stikajo z ravnimi ali nazobčanimi kontakti. Osnova v zrnih je močno devitrificirana in mestoma sericitizirana. Plagioklazi, ki so ujeti vanjo imajo euhedralne polpodolgovate do polizometrične preseke in se pogosto dvojčično zraščajo. Redkejši so conarni plagioklazi. Robovi plagioklazov kažejo sledove korozije, v njih najdemo redke paličaste vključke apatita.

Kot avtigeni minerali se v debelozrnatem tufu pojavljajo kremen, kalcedon in pirit, ki skupaj ne presežejo 3%. Avtigen je seveda tudi zelo pogosti sericit.

Pelitski andezitni tuf

V laminah debelih do 2 mm se v debelozrnatem tufu pojavlja tudi pelitski tuf. Prehodi med laminami so ostri. Kamnina je laminirana tudi mikroskopsko. Takšna laminacija je izražena z različno zrnnavostjo plagioklazov.

V mikrokristalni osnovi (80%) plavajo zrna glinencev in litična zrna, velika 5 μm do 50 μm , izjemoma do 1,8 mm.

Glinenci tvorijo 15% kamnine. V drobnozrnatih laminah so veliki od 5 μm do 50 μm , povprečno 10 μm , v debelejezrnatih pa od 5 μm do 150 μm , povprečno 40 μm . Zrna so neusmerjena, preseki so euhedralni in subhedralni, polizometrični do polrazpotegnjeni, pojavljajo se tudi so fragmentirana zrna (približno 5%). Litična zrna so

velika od 0,3 mm do 1,8 mm, povprečno 0,8 mm. Gre za devitrificirana zrna stekla in plovca z vključki mikrokristalnih plagioklazov. Stik z osnovo je nazobčan ali raven. Tvorijo 5% površine vzorca. Devitrificirana steklasta zrna nastopajo v oglatih, mestoma delno zaobljenih zrnih velikosti od 0,1 mm do 0,8 mm, ki pokrivajo 5% površine.

V kamnini se pojavljajo tudi redka, do 70 μm velika zrna, sestavljena iz avtigenega kalcedona.

Dolomit

Znotraj debelozrnatega tufa sta tudi dve, do 10 cm debeli plasti temnosivega dolomita. Kamnina je intradolomitikrit - mudstone do wackestone. Meja s tufom je postopna. V dolomitu je 10% klastov mikrokristalnega kremenca, ki so veliki do 10 μm in prav toliko intraklastov dolomikrosparita. Pomemben delež, kar 20%, zavzemajo tudi izsušitvene pore, ki so zapolnjene z dolosparitnim cementom.

Profil III - Gorenji Potoki

Profil III (sl. 8) je posnet v črnem zgodnjediagenetskem ladinijskem dolomitu z vložki antracita, ki je časovni ekvivalent južneje ležečega črnega apnenca z vložki antracita. Plasti so debele od 11 do 55 cm in vpadajo v smeri 310/35. Debelina profila je 225 cm.

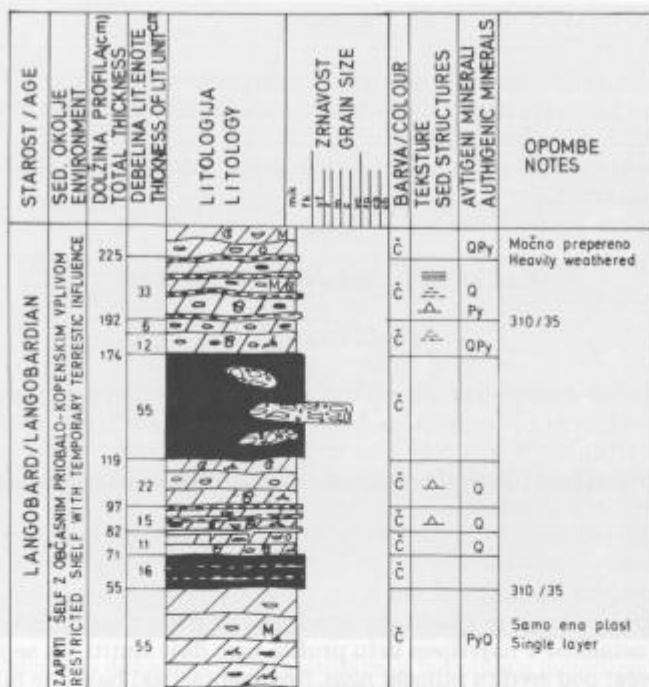
Zgodnjediagenetski dolomit s polami laporovca

Plasti črnega dolomita so debele od 11 do 55 cm. Plastnatost je jasno izražena. Med plastmi so ponekod 0,5 do 2 cm debele pole laporovca, ki se ponekod zajeda tudi v nižjeležeče dolomitne plasti. Takšen primer opazujemo na 192. cm v profilu III, kjer je razpoka v dolomitu zapolnjena s klastičnim materialom, ki vsebuje tudi manj kot 1% močno spremenjenih plagioklazov. Tudi rentgenski posnetek pole laporovca je pokazal vsebnost plagioklazov in kremenca. Zato lahko kamnino imenujemo laporovec s primesjo tufskega meljevca.

Ponekod je dolomit skoraj v celoti sestavljen iz plastiklastov, ki kažejo na sinsedimentacijske deformacije. V njem se pojavljajo klasti roženca, teh je do 40%, do 3% kremenovih klastov in do 5% dolomitnih. Klasti so veliki do 1 cm. Kamnina je bolj ali manj impregnirana z bituminozno snovjo, katere vsebnost ne preseže 3%. Zaradi različne vsebnosti le te je kamnina ponekod laminirana. Osnovo plastiklastom predstavlja močno okremenjen dolomitikrit. Različki dolomita, ki se pojavljajo v profilu so biodolomitikrit, intradolomitikrit in intrabiodolomitikrit, wackestone do packstone.

V kamnini je najprej prišlo do dolomitizacije; mikrosparit je bil nadomeščen z dolomikrosparitom. Sledilo je zapolnjevanje razpok in nadomeščanje fosilov z dolosparitom, ki ga je kasneje delno nadomestil avtigeni kremen. Ponekod so sledovi dolomitnih romboedrov v okremenjenih bioklastih še vidni.

Skladovnico je prizadela tudi postsedimentacijska tektonika. Kot posledica so nastale mnoge žilice zapolnjene z mozaičnim dolosparitnim cementom. Žilice pokrivajo do 20% kamnine. Posebnost so vertikalne (na plastnatost) razpoke na 71. cm, ki so



Sl. 8. Profil III - Gorenji Potoki. Legenda pri sl. 6.

Fig. 8. Cross-section III - Gorenji Potoki. Legend on fig. 6.

napolnjene s sedimentom zgornje plasti - z laporovcem s primesjo tufskega meljevca. Le te so mlajše od razpok zapoljenih z dolosparitom, vseeno pa je očitno, da so nastale še preden je bila kamnina dokončno litificirana. Na tektonsko aktivnost kažejo tudi stilolitski šivi in nekatera zrna avtigenega makrokristalnega kremenca, ki izrazito valovito potemneva.

V dolomitu najdemo številne rekristalizirane fosilne ostanke, ki skupaj predstavljajo do 5% kamnine. Prevladujejo lupinice ostrakodov, poleg njih pa najdemo še foraminifere iz družine ?Duostominidae in nedoločljive biomorfe velike do 40 µm. Fosilni ostanke so v popolnosti nadomeščeni z dolosparitom, večina pa kasneje še z mikrokristalnim kremenom.

Opisani dolomitni različki so močno okremenjeni. Kremen na nekaterih mestih predstavlja do 40%. Prevladuje vpršeni mikrokristalni kremen, ki se pojavlja tudi v gnezdih velikih do 50 µm. Fosilni ostanke in dolosparit v žilah so ponekod v celoti nadomeščeni z mikrokristalnim, mestoma pa tudi makrokristalnim kremenom. Avtigenega kremenca ponekod ne moremo ločiti od alokemičnega. V zgornjem delu najdemo v dolomitu tudi pirit v euhedralnih izometričnih zrnih velikih do 70 µm.

Antracit

Antracit se pojavlja v plasteh, ena izmed njih je debela kar 55 cm. Gre za premog tipa detrogelit s primesjo detritičnega materiala - klastov dolomita in piroklastičnih kamnin. V premogu najdemo zrna framboidalnega pirita - tako imenovane orudene bakterije. Zanimiv je tudi pojav psevdomorfoze goethita po zrnih glinencev v klastih piroklastičnih kamnin.

Interpretacija sedimentacijskih okoliš

Profil I - Jagrščec

Anizijski zgodnjediagenetski dolomikrit z redkimi peleti in pogostimi stromatoliti je nastajal na območju plitvovodnega šelfa in sicer nad srednjim plimskim nivojem („supratidal“). Občasno je prišlo do prekinitev pri sedimentaciji. Sediment je dosegel vodni nivo in bil izpostavljen subaerskim pogojem. Prišlo je do redukcije sedimenta - nastale so emerzijske površine.

Na meji med anizijem in ladinijem je bil del anizijskega dolomita erodiran, po transgresiji pa se je nanj začel odlagati ladinijski dolomit. Mejo med obema zaznamuje kotno erozijska diskordanca (sl. 9).

Sedimentacijsko okolje je v ladiniju ostalo enako kot v aniziju. Edino velika vsebnost fosilnih ostankov v najvišjem delu profila nam daje slutiti, da se je morje občasno poglobilo vsaj pod srednji plimski nivo. Sedimentacijski bazen je bil sicer enoten, vendar pa morfološko razgiban.

Profil II - Dolenji Potoki

O izvoru piroklastičnega materiala, ki se je usedal na opisanem območju lahko sklepamo na podlagi razmerij med komponentami. V kamninah v profilu II, pa tudi v drugih piroklastičnih kamninah na kartiranem ozemlju, prevladujeta plovec in steklasta faza, kar je značilno za piroklastite, nastale kot posledica eksplozivnih magmatskih erupcij (C a s & W r i g h t, 1993).

O okolju, v katerem so se usedali tufi opisani v profilu II, je le malo zanesljivih podatkov. Eden od kriterijev za ločevanje subakvatsko ali subaersko odloženih tufov je razmerje med velikostmi litičnih zrn in zrn plovca (M c P h i e et al., 1993). Če ne upoštevamo oligofirskih litičnih zrn - to so zrna plovca, v katerih je včasih ujeta le eno ali dve zrni plagioklazov - potem lahko opisanim piroklastitom pripišemo podvodno okolje usedanja. Razmerje med velikostmi litičnih zrn in zrn plovca je namreč manjše od 1:5. O podvodnem (podmorskem) nastanku kamnin v profilu II nas prepričujejo tudi lamini intradolodismikrita v katere prehaja debelozrnat tuf. V dolomitu so pogoste izsušitvene pore in intraklasti, zato gre verjetno za nastanek v občasno medplimskem okolju.

Zanimivo je opazovati vsebnost karbonatov v piroklastičnem materialu. Ni namreč neobičajno, če v tufih najdemo precejšnje količine fosilnih ostankov (H i n t e r - l e c h n e r - R a v n i k & P l e n i č a r, 1967) ali karbonatov. Predvidevam, da je bil dotok piroklastitov občasno tako obilen, da je popolnoma onemogočil nastajanje karbonata. Verjetno je v tufih le skrito nekaj karbonata, ki ga mikroskopsko ne moremo



Sl. 9. Kotno erozijska diskordanca med anizijskim in ladinijskim dolomitom v profilu I - Jagršče

Fig. 9. Angular disconformity between Anisian and Ladinian dolomites within the cross-section I - Jagršče

ločiti, pri rentgenski analizi pa se njegov signal prekrije s signalom avtigenega dolomita. Občasno pa je bil dotok piroklastov le prekinjen, na kar kažejo dolomitne lamine v tufu.

Glede na to, da so piroklastiti v profilu relativno debelo zrnati, povzeman (McPhie et al., 1993), da so bili odloženi z usedanjem piroklastičnega materiala v proximalnem delu glede na center vulkanizma in sicer v šelfnem okolju.

Profil III - Gorenji Potoki

Črn dolomit je nastajal v zaprtem, laguni podobnem šelfu z občasnim povečanim priobalnim oz. kopenskimi vplivom, ki ga izkazujejo pole laporovca in prinešena organska snov. Takšno okolje je bilo v podobnih kamninah opisano že pri Stopniku (Čar & Skaberne, 1995). Stalno primes vulkanogenega materiala v kamninah profila III gre pripisati eroziji starejših piroklastitov, morda pa tudi zelo šibkemu nadaljevanju vulkanske aktivnosti.

Morsko dno je bilo v času odlaganja sedimentov tektonsko aktivno. O tem nam pričajo mnogi plastikasti v kamnini in zanimive plastične deformacije v črnem dolomitu in apnencu, ki sta ekvivalent dolomita, opisanega v profilu III.

Sklep

V aniziju je mirno sedimentacijo dolomita v šelfnem okolju zmotilo prvo obdobje idrijske tektonske faze (Č a r, 1968; B u s e r, 1980). Najstarejši pokazatelj srednjetriasne tektonike na kartiranem ozemlju so razpoke v anizijskem dolomitu, ki so zapolnjene z monomiktno dolomitno brečo - menim, da gre za neptunske dajke - in srednjetriasni prelomi pri Gorenjih in Dolenjih Potokih. Odlaganje karbonata je bilo v aniziju večkrat prekinjeno, ko je sediment dosegel vodni nivo. Prišlo je do redukcije sedimenta in nastanka emerzijskih površin.

Proti koncu anizija je prišlo do dvigovanja terena nad erozijsko bazo, kar je povzročilo nastanek kotne erozijske diskordance. Ob posameznih bolj dvignjenih blokih je nastajal bazalni ladinijski konglomerat, v nekaterih lagunah pa dolomit z vložki vulkanogenega materiala, ki že kaže na vulkansko dejavnost.

Nadaljevanje sedimentacije je zaznamovano z močno aktivnostjo bližnjega vulkana. V zaprtem šelfu se je v času najmočnejše vulkanske aktivnosti usedal piroklastični material - nastajali so lapilni, debelozrnati in pelitski andezitni tufi. Piroklastične kamnine so nastajale v proksimalnem območju ognjenika z usedanjem piroklastičnega materiala (pyroclastic fall) (M c P h i e et al., 1993). Med krajšimi obdobji zmanjšane vulkanske aktivnosti je prišlo tudi do karbonatne sedimentacije. Takrat so nastale redke tanke plasti dolomita s tufsko primesjo.

Ob dvigovanju blokov so bili nekateri deli erodirani, kar je povzročilo nastanek konglomeratov.

Med plastmi apnenca in dolomita najdemo pole laporovca s primesjo tufskega meljevca, ki kažejo na občasno povečan vpliv s kopnega. Posledica dotoka kopenskega materiala je tudi nastanek plasti antracita z vložki terigenega materiala. Karbonatne kamnine ponekod zaključujejo ladinijsko stopnjo, ponekod pa jih lateralno spet zamenjajo piroklastične kamnine.

Sedimentacija se je iz ladinija neprekinjeno nadaljevala v cordevol, ko se je odložil apnenec, iz katerega je kasneje nastal mlečnobel zrnat dolomit.

Predvidevali smo, da bomo na kartiranem ozemlju ugotovili prehodno območje (pobočje) med Slovenskim bazenom in Dinarsko karbonatno platformo. Obstojta sicer nekaj podobnosti s prehodnim območjem, ugotovljenim v okolici Stopnika (Č a r & S k a b e r n e, 1995), vendar v kamninah med Jagrščami in Želinom ne zasledimo nobenega vpliva globljemorske sedimentacije. Ozemlje paleogeografsko še vedno spada v platformo, verjetno v bližino mejnega območja, ki ga bo potrebno iskati severneje, nekje med Želinom in prvimi ostanki kamnin globokomorskega razvoja v okolici Cerknega.

Zahvala

Prispevek je nastal kot povzetek diplomskega dela na NTF v Ljubljani. Iskrena hvala mentorju J. Čarju za koristne in obširne napotke pri izdelavi naloge, D. Skabermetu za pomoč pri pregledovanju zbruskov, U. Herlecu za opis premoških obrusov, V. Mikužu in A. Horvatu za določitev fosilov, Š. Goričanovi za pregled vzorcev na radiolarije ter N. Zupančičevi in M. Boletovi za pomoč pri interpretaciji rentgenogramov.

Ladinian carbonate and pyroclastic rocks between Jagršče and Želin (Slovenia)

Introduction

Tectonic movements that started on the Slovenian carbonate platform in the Lower Triassic (P l a c e r & Č a r, 1975b) led to the final differentiation of the platform into three major paleogeographic units: Dinaric carbonate platform, Slovenian basin and Julian carbonate platform (B u s e r, 1986).

In Ladinian the differentiation has already been completed although tectonic activities have not stopped. Due to tectonism, volcanic activity started all over Slovenian territory at that time. Two consecutive volcanic events were described by the first researchers in the Idrija and Cerklje region (S t u r, 1858; K o s s m a t, 1910; R a k o v e c, 1946), while more recent authors claim only one major volcanic event in Ladinian (Č a r, 1968, Č a r & S k a b e r n e, 1995; B a v e c, 1996).

On the Dinaric carbonate platform the Ladinian layers are separated from the underlying Anisian dolomite by a disconformity, but locally an angular unconformity is present (Č a r, 1985a, 1990). Sedimentation in the Ladinian has not started before the Langobardian (M l a k a r 1967, 1996; P l a c e r & Č a r, 1975b). Typical platform rocks of that age consist of tuffs intercalated with intermediate volcanic rocks, dark organic matter rich limestone and variegated conglomerates found in spots (B u s e r, 1986). Ladinian layers are covered by conformable Cordevolian dolomite (M l a k a r, 1969; B u s e r, 1986).

Ladinian stage in Slovenian basin is marked by deposition of diverse deeper-water clastic sediments of the Psevdozilja Formation. Rock layers of the Psevdozilja Formation are covered by Cordevolian rocks of the Amphiclina Formation (Č a r et al., 1981, B u s e r, 1986).

The boundary area between Slovenian Basin and Dinaric Carbonate platform is marked by complicated association of diverse Ladinian rocks (Č a r, 1985a). Detailed analysis of the boundary area was made at the Stopnik village (Č a r & S k a b e r n e, 1995).

Tectonic structure of Idrija and Cerklje area is a consequence of three stages of the Alpine orogenetic cycle (P l a c e r & Č a r, 1975a). In the Middle Triassic radial faults in N-S and E-W direction were formed (M l a k a r, 1967, B u s e r, 1980). This orogenetic stage was followed by folding and overthrusting in Tertiary (M l a k a r, 1969; B u s e r, 1976, 1986; P l a c e r, 1981). Finally, in the younger Tertiary, NE-SW and NW-SE faults were formed due to tangential pressure (P l a c e r & Č a r, 1975a; B u s e r, 1976).

Geology of the area between Jagršče and Želin

A 1:5000 scale map was used for geological mapping (figs. 1, 1a, 1b, 2). Three detailed cross-sections 1:20 to 1:50 scale were analyzed in order to determine paleoenvironmental conditions (figs. 6, 7, 8).

Anisian

The oldest lithostratigraphic unit of the mapped area is a light gray to white, massive to thin-layered, coarse- and fine-grained Anisian dolomite. SS stromatolites are common in fine-grained type. In the upper portion of the unit emergence planes and some cataclastic breccias were found in spots. They both prove tectonic movements were present before deposition of Ladinian sediments. It is known from the surrounding area that some tectonic blocks were uplifted higher than the others (M l a k a r, 1967; Č a r 1968, 1990). *Meandrospira dinarica* was determined to give evidence of Anisian age.

The boundary with rocks of Ladinian age is marked by a disconformity and locally by an angular unconformity (fig. 9).

Ladinian

Ladinian stage in the mapped area consists of carbonate and pyroclastic rocks alternating in lateral and vertical direction (fig. 3).

South of Vrležca (Cross section I; fig. 6) less than 10 m of thin-layered light brown dolomite covers the Anisian dolomite. Mineralogical X-ray analyses of the emergence planes show presence of volcanogenic materials.

South of Vrležca basal monomict dolomite breccia and conglomerate form the base of Ladinian in spots. Blocks are up to 40 cm in diameter.

At Gorenji Potoki and east of Jagršće about 10 m of dolomitized thin-layered (3 to 15 cm) pelitic tuff layers lay at the base of the Ladinian.

The lithological unit consisting of different tuff varieties - andesite lapilli, coarse-grained and pelitic tuffs - is 50 to 70 m thick. Layers of various tuff types that are 3 to 40 cm thick alternate in vertical as well as in lateral sense. Three main tuff varieties were distinguished (after M c P h i e et al., 1993): vitric-crystal-lithic lapilli tuff, vitric-lithic-crystal coarse-grained tuff and pelitic tuff. Cross-section II was analyzed within this lithological unit (fig. 7).

Layers of silicified carbonate rocks - limestone and dolomite with coal intercalations - alternate with pyroclastic rocks in vertical and lateral sense. Dark gray and black early-diagenetic silicified dolomite forms the upper and somewhere even uppermost part of Ladinian sequence in this area. The sequence of layers, 3 to 60 cm thick, reach the maximum thickness of 20 m. Dolomite is nodular locally in lower parts of the sequence. Some ostracods and ?Duostominidae were found even though microfossils are considerably recrystallized. Layers of anthracite with silt and sandstone, 1 to 55 cm thick, intercalate with the dolomite. Cross-section III has been positioned within this dolomite (fig. 8).

Limestone occurs around Jagršće and at the most northern extent of the mapped territory. It is macroscopically identical to the dolomite described above. There are some differences, though. Limestone is less well silicified and contains up to 40% of bituminous matter. Some chert nodules are present as well. Fossils represent up to 60% of the rock. Ostracods, onkoids and undetermined forms prevail. West of Vrležca *Protrachyceras archelaus* (fig. 4), *Daonella lomelli* and *Posidonia* sp. (fig. 5) were found. Langobardian age of the certain limestone has been established by previous researchers (B u s e r, 1986; G o r i č a n & B u s e r, 1990; K o l a r - J u r k o v š e k, 1990).

East of Burja conglomerate was found intercalating with lapilli tuff layers. It consists of limestone clasts (80%) and tuffaceous matrix (20%).

Cordevolian

Light gray and white massive coarse-grained Cordevolian dolomite overlies the Ladinian rocks of the mapped area. The contact is conformable.

Tectonics

The mapped area is cut by two generations of faults. The older ones, originating from the Middle-Triassic Idrija tectonic phase (B u s e r, 1980), cross the area in E-W direction. Younger - Postsarmatian (B u s e r, 1976) strike-slip faults cross the area in NW-SE direction. Minor (max. 50 m) right-hand striking took place along the latter. The area belongs to the Trnovo nappe (M l a k a r, 1969; P l a c e r, 1981).

Paleoenvironmental interpretation

Calm continental shelf sedimentation of carbonates has been disturbed by movements belonging to the first period of the Idrija tectonic phase in Anisian (Č a r, 1968; B u s e r, 1980). Synsedimentary fissures filled with monomictic dolomitic breccia and Middle Triassic faults at Gorenji Potoki and Dolenji Potoki are the main evidence for such conclusion. Emergence planes in the dolomite show that sediments were periodically uplifted above the sea level during sedimentation.

At the end of the Anisian some tectonic blocks were uplifted along the Middle Triassic faults causing the formation of disconformity and angular unconformity. Tuffaceous dolomite was formed in some calm lagoons while basal Ladinian conglomerate accumulated around uplifted blocks.

Sedimentation in Ladinian was marked by volcanic eruptions of nearby volcano. Lapilli, coarse-grained and pelitic tuffs were formed on a calm continental shelf. Underwater sedimentation of pyroclastic material has been proved by grain-size relation between lithic and pumice grains lower than 1:5 (C a s h m a n & F i s k e, 1991; after M c P h i e et al., 1993). Prevailing pumice and vitric phase in tuffs shows that explosive volcanic eruptions caused the formation of volcanoclastic sediments in the area (C a s & W r i g h t, 1993). Sedimentary structures of tuffs are typical for proximal pyroclastic fall deposits (M c P h i e et al., 1993).

Shorter periods of lowered volcanic activity were marked by prevailing carbonate sedimentation. Thin layers of tuffaceous dolomite intercalating with tuffs were formed in such conditions.

Most of carbonate sediments were accumulated after the termination of volcanic activity on calm, lagoon-like shelf. Marl intercalations, anthracite layers and admixture of bituminous matter in dolomite and limestone evidence substantial influx of terrigenous materials.

While uplifting continued from the Anisian through the Ladinian, some conglomerates consisting of limestone clasts and pyroclastic matrix accumulated in spots. Synsedimentary deformations in the limestone and dolomite prove that minor tectonic activities carried on until the end of the Ladinian.

Sedimentation went on continuously to the Cordevolian when white, coarse-grained dolomite was formed.

Conclusions

Anticipation of finding the transitional zone between Slovenian Basin and Slovenian carbonate platform in the area between Jagršče and Želin proved to be wrong. There is some analogy with the transitional zone rocks described by Čar and Skaberne (1995) in nearby Stopnik, though, but no evidence of deeper-sea sedimentation was found between Jagršče and Želin. The rocks of the mapped area were formed on the platform, probably near to its edge. The transitional zone should therefore be searched for somewhere north of Želin.

Literatura

- Bavce, M. 1996: Ladinijske plasti med Jagrščami in Želinom. - Diplomski naloga. Katedra za geologijo in paleontologijo NTF, 69 str., 7 pril., Ljubljana.
- Berčec, B. 1960: Poročilo o geološkem kartiranju na ozemlju Cerčno - Žiri - Idrija - Rovte. - Tipkano poročilo. Geološki zavod Slovenije, 82 str., Ljubljana.
- Berčec, B. 1962: Raščlanjenje trijasa u zapadnoj Sloveniji. - Referati 5. savetovanja geologa, 155-160, Beograd.
- Buser, S., 1976: Tektonska zgradba južnozahodne Slovenija. - 8. jugoslovanski geološki kongres, 45-58, Ljubljana.
- Buser, S., 1980: Stratigradske vrzeli v paleozojskih in mezozojskih plasteh v Sloveniji. - Simpozij iz regionalne geologije i paleontologije, 335-345, Beograd.
- Buser, S. 1986: Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine). Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. - Zvezni geološki zavod, 103 str., Beograd.
- Buser, S. 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Tolmin in Videm. - Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Cas, R. A. F. & Wright, J. V. 1993: Volcanic Successions. - Chapman & Hall, 527 p., London.
- Čar, J. 1968: Razvoj langobardskih plasti v strukturi IV. pokrova v bližnji okolici Idrije. - Diplomski delo. Katedra za geologijo in paleontologijo NTF, 62 str., Ljubljana.
- Čar, J. 1985a: Razvoj srednjetrojskih sedimentov v idrijskem tektonskem jarku. - Doktorska disertacija. Katedra za geologijo in paleontologijo NTF, 236 str., Ljubljana.
- Čar, J. 1985b: Izdelava OGK občine Idrija v merilu 1:25000, faza II. - Tipkano poročilo. Arhiv Rudnika Idrija, 93 str., Idrija.
- Čar, J. 1990: Kotna tektonsko - erozijska diskordanca v rudiščnem delu idrijske srednjetrojsne tektonske zgradbe. - Geologija 31/32, 267-284, Ljubljana.
- Čar, J. & Skaberne, D. 1995: Ladinijske plasti Stopnika. - Geološki zbornik 10, 22-25, Ljubljana.
- Čar, J., Skaberne, D., Ogorelec, B., Turnšek, D. & Placer, L. 1981: Sedimentological characteristics of Upper Triassic (Cordevolian) circular quiet water bioherms in western Slovenia, Northwestern Yugoslavia. - In: Toomey, D.F. (ed.), European Fossil Reef Models. SEPM 30, 233-240, Tulsa, USA.
- Dunham, R. J. 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. - In: Ham, W.E. (ed.), Classification of carbonate rocks, a Symposium. AAPG, Memoir 1, 108-122, Tulsa, USA.
- Ferjančič, L. 1972: Končno poročilo o izdelavi geološke karte lista Tolmin v letu 1971. - Tipkano poročilo. Geološki zavod Slovenije, 16 str., Ljubljana.
- Folk, R. L. 1962: Spectral subdivision of limestoe types. - In: Ham, W.E. (ed.), Classification of carbonate rocks, a Symposium. AAPG, Memoir 1, 62-84, Tulsa, USA.
- Germovšek, C. 1956: Razvoj mezozoika v Sloveniji. - Prvi jugoslovanski geološki kongres, 35-41, Ljubljana.
- Goričan, Š. & Buser, S. 1990: Srednjetrojsni radiolariji Slovenije (Jugoslavija). - Geologija 31/32, 133-198, Ljubljana.
- Hinterlechner-Ravnik, A. & Pleničar, M. 1967: Smrekovski andezit in njegov tuf. - Geologija 10, 219-237, Ljubljana.
- Kolar-Jurkovšek, T. 1990: Mikrofavna srednjega in zgornjega triasa Slovenije in njen biostratigrafski pomen. - Geologija 33, 21-102, Ljubljana.
- Kossmat, F. 1910: Erläuterung zur geologische Spezialkarte Bischoflak und Idria. - Verh. Geol. R. A., 101 p., Wien.

- McPhie, J., Doyle, M. & Allen, R. 1993: Volcanic Textures. - CODES Key Centre, 197 p., Hobart, Tasmania.
- Mlakar, I. 1967: Primerjava spodnje in zgornje zgradbe idrijskega rudišča. - *Geologija* 10, 87-115, Ljubljana.
- Mlakar, I. 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. - *Geologija* 12, 5-57, Ljubljana.
- Placer, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. - *Geologija* 24, 27-60, Ljubljana.
- Placer, L. & Čar, J. 1975a: Rekonstrukcija srednjetriadnih razmer na idrijskem prostoru. - *Geologija* 18, 197-209, Ljubljana.
- Placer, L. & Čar, J. 1975b: Triadna tektonika okolice Cerknega, I. faza. Triadna tektonika med Idrijo in Rovtami. - *Mezozoik v Sloveniji*. Tipkano poročilo. Knjižnica Oddelka za geologijo NTF, 98 str., Ljubljana.
- Rakovec, I. 1946: Triadni vulkanizem na Slovenskem. - *Geografski vestnik* 18, 139-170, Ljubljana.
- Rogers, A. & Kerr, P. 1942: Optical mineralogy. - Mc Graw-Hill Book Company Inc., 390 pp., New York, London.
- Stur, D. 1858: Das Isonzo - Thal von Flitsch abwärts bis Görz, die Umgebungen von Wipach, Adelsberg, Planina und die Wochein. - *Jahrb. geol. R.A.*, 9, 324-366, Wien.
- Šumi, F. 1960: Poročilo o geofizikalnih raziskavah v Idriji in okolici 1959. - Tipkano poročilo. Geološki zavod Slovenije, 23 str., Ljubljana.
- Tovšak, R. & Orehek, S. 1960: Poročilo o izpiranju in mikroskopski priskavi vzorcev z ozemlja Cerkno - Žiri - Rovte. - Tipkano poročilo. Geološki zavod Slovenije, 40 str., Ljubljana.

Summary of the paper in Slovenian language

Mineralogical and petrological characteristics of the Lower Jurassic carbonate rocks with coal in the area of the Idrijsko rudiško polje near Ljubljana
 Raziskava mineralne in petrološke značilnosti spodnje triadne karbonatne kamnine s premogom v okolici Idrijskega rudiškega polja pri Ljubljani

Abstract

The article deals with the Lower Jurassic carboniferous sequence of carbonate rocks with lenses of coal in the area of the Idrijsko rudiško polje near Ljubljana. The coal is of Middle Jurassic age. The material of the coal is represented by the Lower Jurassic granitic bituminous coals and the hanging wall by the Upper Jurassic spotted sandstone. The coal was formed in a shallow marine environment north of present-day conditions. A comparison of characteristics of the Idrijsko polje in the 3000-year-old Roman bronze plate from Kolovška Mala zone and the bronze plate has been performed in this paper as well.

Keywords

Lower Jurassic carboniferous sequence of carbonate rocks with coal in the Idrijsko rudiško polje near Ljubljana
 Spodnje triadna karbonatna kamnina s premogom v okolici Idrijskega rudiškega polja pri Ljubljani

Introduction

The Lower Jurassic carbonate rocks with coal in the Idrijsko rudiško polje area with disrupted stratigraphic position (Orehek, 1962). The indicated coal occurrence lies 18 km east of Kolovška (Fig. 1) in the Kolovška Mala zone. The coal-bearing sequence

Lower Jurassic dolomite-limestone succession with coal in the Kočevski Rog and correlation with neighbouring areas (southeastern Slovenia)

Spodnjejursko dolomitno-apnenčevo zaporedje s premogom v Kočevskem Rogu in primerjava s sosednjimi območji

Stevo Dozet

Geološki zavod Slovenije
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: premog, karbonatne prikamenine, lias, Dinarska karbonatna platforma, Slovenija

Key-words: coal, adjacent carbonate rocks, Liassic, Dinaric carbonate platform, Slovenia

Abstract

The article deals with the Lower Jurassic shallow-water succession of carbonate rocks with lenses of coal in the area of the Dinaric carbonate platform east of Kočevje. The coal is of Middle Liassic age. The footwall of the coal is represented by the Lower Liassic grained bituminous dolomite and the hanging wall by the Upper Liassic spotted limestone. The coal was formed in a shallow lagoon and/or deeper marsh at paralic-limnic conditions. A correlation of developments of the Liassic beds in the Kočevski Rog, Suha krajina, Mala gora, Kočevska Mala gora and Bela krajina area has been performed in this paper as well.

Kratka vsebina

Članek opisuje spodnjejursko plitvovodno zaporedje karbonatnih kamenin z vložki premoga na območju Dinarske karbonatne platforme vzhodno od Kočevja. Premog je sredneliasne starosti. Talnino premoga predstavlja spodnjeliasni zrnati in bituminozni dolomit, krovno pa zgornjeliasni marogasti apnenec. Premog je nastajal v plitvi laguni in/ali globljem močvirju ob paralično-limničnih pogojih. V članku je opravljena primerjava razvojev liasnih plasti Kočevskega Roga, Suhe krajine, Male gore, Kočevske Male gore in Bele krajine.

Introduction

The Lower Jurassic carbonate rocks with coal in the Kočevski Rog area were discovered at stratimetric profiling (Dozet, 1982). The considered coal occurrence lies 15 km east of Kočevje (Fig. 1) in the Kočevski Rog area. The coal-bearing succession

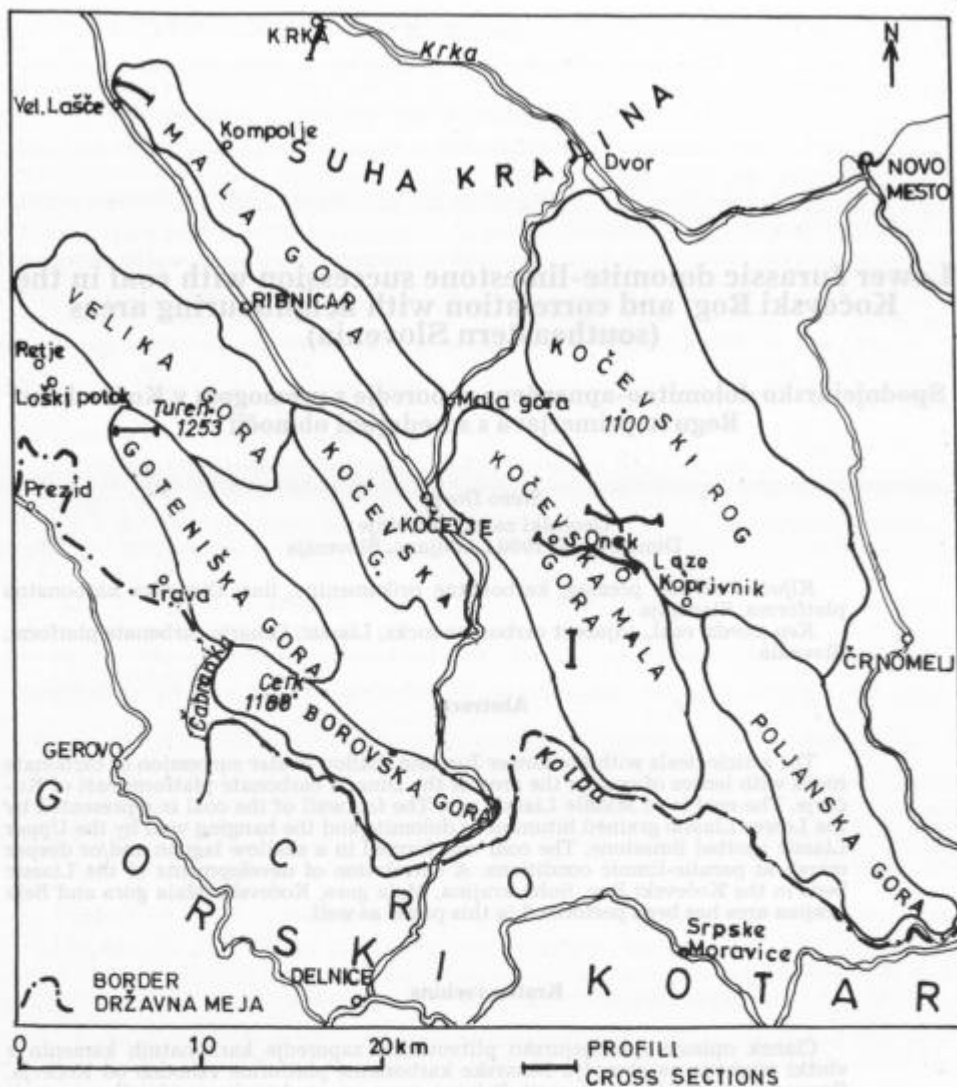


Fig. 1. Location sketch map

Sl. 1. Položajna shematska karta

lays open along the forest-road near the hunting hut north of the small village Laze. The dolomite-limestone succession of the Liassic contains at some levels of the middle part of the succession 8 thin seams and lenses of coal. The coal is of high quality.

The carbonate rocks are classified by Folk's (1959) petrographic classification of limestones and Dunham's (1962) classification of carbonate rocks according to depositional texture. The macrofossils are determined by Irena Debeljak. Chemical analysis of the coal samples are performed in the laboratory of REK Trbovlje. The

colour of the rocks is defined according to Munsell's ROCK COLOR CHART, based upon the three dimensional comprehension of colours.

Previous Investigations

In the history of the Slovene coal exploration, The Kočevski Rog, Kočevje and Dolenjsko area on the whole with their Jurassic coal occurrences regarding the quantity of coal have never been of importance. In these areas the coal outcrops were in all cases small, consequently, their economic significance was small as well. Traces of abandoned research and miner's digging show that the Jurassic coal was discovered and locally exploited already before the second World war. After the War *B u s e r* (1965b, 1974) mentioned the coal in bituminous dark grey grained dolomite on the boundary between the Middle and Upper Liassic. During his field work he found two outcrops of this coal. The first outcrop lies southeast of the village Nova Vas surmounted the village Metulje in the Bloke plateau area. The coal outcrop can be seen above the surface of the ground in length of 3 metres with the thickness of the coal up to 0.5 metres. The local people dug this coal and sold it to neighbouring blacksmiths. The second outcrop of the Jurassic coal is situated west of the village Retje in the Loški Potok area. The coal occurs in five up to 5 centimetres thick seams, which are tectonically strongly interrupted. We can follow them in length of 5 metres.

It is true, the considered coal occurrences are of no economic importance, but they are of great scientific importance, especially for paleogeographic study of the Dinaric carbonate platform area and the reconstruction of environmental and geodynamic events during the time interval of the Lower Jurassic.

Rather numerous but economically unimportant coal occurrences in the lower part of the Jurassic carbonate sequence were discovered during the mapping for the Basic geologic map of SFRJ S 1:100 000 on the Map Sheet Delnice (*D o z e t*, 1983; *S a v i ć & D o z e t*, 1985a, b). The coal occurs in the Liassic stratified and platy brownish grey coarse-grained strongly bituminous dolomite and between plates and beds of dark grey to black micritic limestone. In the Kočevje and Gorski kotar area the Lower Jurassic coal occurs in the form of up to 0.75 metres thick and 8 metres long lenses. In most cases we can see rather thinner and shorter lenses. At some places there are just some centimetres thick seams of coal.

B u k o v a c et al. (1984) mentioned smaller findings of coal at Brezovica in the Bela krajina area WSW of Črnomelj. Nowadays, just a smaller trench as well as dumping-ground have been preserved. The lense of coal occurs within the Liassic dolomite with marly dolomite and dolomitic marl in the hanging wall. Both rocks contain impregnated bitumen, originated by bitumenization of coal.

Geology of the Coal Deposits

Stratigraphic position

The stratigraphic carbonate sequence with thin seams and lenses of coal in the Kočevski Rog area belongs to the Middle Liassic. Considering fauna and coal we can divide the Kočevski Rog succession into three parts (Fig. 2): 1)- the lower part, foot-wall respectively, 2)- the middle or coal-bearing part and 3)- the upper part represen-

ting the hanging wall. The lower part belongs to the Lower Liassic, the coal sedimentary sequence is of the Middle Liassic age, whereas the hanging wall with regard to the stratigraphic position and according to lithology is of the Upper Liassic age.

	STAGE STOPNJA	FORMATION FORMACIJA	THICKNESS DEBELJINA (m)	COMPOSITION SESTAVA
JURASSIC J U R A S S I C	UPPER LIASSIC ZGORNJI LIAS	Spotted limestone Marogasti apnenec	150	Spotted or stromatolitic limestone, stratified dolomite Marogasti in stromatolitni apnenec, plastnati dolomit
	MIDDLE LIASSIC SREDNJI LIAS	Coal-bearing beds Premogonosne plasti	45	Dolomite and limestone with seams and lenses of coal
		Stratified dolomite	255	Dolomit in apnenec s sloji in lečami premoga Plastnati bituminozni dolomit
		Stratified dolomite Plastnat dolomit		Lithiotis dolomite Litiotidni dolomit
LOWER LIASSIC SPODNJI LIAS	Platy dolomite with megalodontids Ploščasti dolomit z megalodontidami	260	Prevalently platy and coarse-grained bituminous dolomite with rare lumachellas of megalodontids Pretežno ploščast in debelozrnat bituminozen dolomit z redkimi megalodontidnimi lumakelami	
TRIASSIC TRIAS	RHAETIAN RETIJ	Main dolomite Glavni dolomit	130	Alternation of stromatolitic and grained bituminous dolomite Menjavanje stromatolitnega in zrnatega bituminoznega dolomita

Fig. 2. Stratigraphic position of the coal-bearing beds

Sl. 2. Stratigrafska lega premogonosnih plasti

The footwall of the coal-bearing beds, which we ranged to the Lower Liassic, is composed of dark brownish grey and brownish grey platy (2-10 cm) and bedded bituminous dolomite, which at some places contains small organic remains. Occasionally, we can observe in the dolomite a thin lamination. According to structure the dolomite belongs to fine-grained, medium-grained and coarse-grained dolosparite. The age of the lowermost dolomite is defined with reference to its stratigraphic position and lithology. The considered dolomite succession lies conformly under the *Lithiotis* dolomite.

The coal occurs in the Middle Liassic brownish grey grained strongly bituminous

dolomite. The Middle Liassic dolomite is clearly stratified (15-35 cm). Rarely, it is platy (5-10 cm). Contacts between beds are sharp, surfaces of beds are even or wavy. The structure is fine-, medium- and coarse-grained. Besides prevalently coarse-grained dolosparite there is a horizon of *Lithiotis* dolomite which separates the Lower and Middle Liassic beds. *Lithiotis* skeletons are mainly parallel to bedding and they lie so closely together that they form lumachellas. The Lower Liassic dolomite originated by late diagenetic dolomitization of limestones. Its late diagenetic origin is proved, first of all, by its coarse-grained structure. In the Middle Liassic stratigraphic sequence besides dolosparites individual thin layers of fine-grained intraformational dolomitic breccia also occur. The thickness of the coal-bearing beds amounts to 45 metres. The coal of the Kočevski Rog outcrop is followed in five levels of the Middle Liassic interval. It occurs in the form of thin seams and lenses. B u s e r (1965b, 1974) ranged the Liassic coals in the Dolenjska area to hard coals, but according to our data they chiefly belong to brown coals. Due to small thickness and extension the coal is not suitable for exploitation.

Conformably upon the coal-bearing beds lies the succession of the Upper Liassic limestones, which are considered to be an equivalent of the spotted limestone formation. The transition of the dolomite to limestone is graded. The limestone is platy or bedded (5-30 cm) and greyish black. It mostly belongs to micrite, rarely to stromatolite or laminated limestone. Very rarely the limestone is grained. At some places it decomposes into 2-5 cm thick plates. Frequently the limestone is more or less dolomitized. In the lowermost part the limestone is interbedded by two beds (20 cm, 30 cm) of clay. The lower interbed is composed of brownish grey clay, shaly marl and rare, 5-7 cm thick pebbles of grey micritic and stromatolitic limestone.

Tectonic Movements

On the boundary between the Triassic and Jurassic period in the Dinaric carbonate platform area there have never been any orogenic tectonic movements (D o z e t, 1989) because there can be found no folding, thrusting or nappe-tectonic traces, traces of volcanisms or metasomatic changes on sedimentary rocks of that time. There are nowhere to be seen tectonic discordant contacts; on the contrary, in all cases concordance of the Upper Triassic and Jurassic beds is in question. In the area investigated there are also not to be found any coarse-grained basal transgressive formations so that we are right in affirming that the continuity of sedimentation had only be disturbed by the periodical interruptions as a reflection of weak or stronger epirogenic movements of the carbonate platform.

At the end of the Norian period the epirogenic movements, which were present more or lesser all the Norian interval of sedimentation, when in the tidal area predominately stromatolitic dolomites were formed, gradually increased so much that some local intertidal areas of the Dinaric carbonate platform raised and became for a shorter time a mainland. On the local dry land a karstification, weathering and erosion took place, which made possible the origin of Karst forms, dolomitic breccia and conglomerate as well as bauxitic clays. These phenomena testify for an increased epirogenic activity and local discontinuity in that span of time.

To the new intensified epirogenic movements it came on the boundary between the Lower and Middle Liassic. Namely, in the Middle Liassic stratigraphic sequence numerous but not so expressive events can be observed indicating intensified positive

epirogenic movements. It is not difficult to find out that the Middle Liassic sedimentation in comparison to the monotonous Lower Liassic dolomite stack containing *Lithiotis* limestones and dolomites, micrites and various biomicrites as well as biosparitic limestones, is much more variegated. We should still mention coarse-grained biointrasparitic limestones with orbitopsellas as well as interbeds of oosparitic, oointrasparitic and biointrasparitic limestones with here and there hematitized ooids. The grey-coloured sedimentation point at unquiet Middle Liassic period in the Kočevje area. This picture can be completed by phenomena as lateral and vertical facies alternation, wedging out of the beds and the fact that lithiotids occur in dolomites and limestones, that the *Lithiotis* horizons have very unstable thickness wedging out at some places, further on, the occurrence of the limestone-dolomite breccias with calcitic cement and not at last the coal occurrences that speak for local shallow lagoons, marshes and dry land forming conditions for vegetation, and contributing to the origin of the coal-bearing sediments. The whole Liassic period was very probably a relatively cold and humid period, especially its middle part, when the coal was formed.

Kočevski Rog Cross Section

The shallow-marine Liassic carbonate succession with thin seams and lenses of coal (Figs. 3, and 4) are well-developed east of Kočevja in the Kočevski Rog area. They lay open along approximately 500 metres long forest road interval north of Lazze. This cross-section is important for knowledge of geologic developments and especially for study of palaeogeographic conditions in the Kočevski Rog area, Dinaric carbonate platform respectively, in the Lower Jurassic span of time. The considered cross-section begins at pretty strong dinaric fault, which separates the south-lying Lower Malm and north-lying Liassic sedimentary succession with coal seams.

Cladocoropsis limestone

The limestones lying to the south of the dinaric fault are greyish black to black, in some intervals light gray to moderate light gray. From the structural point of view micritic, biomicritic and biosparitic limestones with algae, foraminifers, *Cladocoropsis* and molluscs occur. Here and there interbeds of biointrasparitic limestones with corals and molluscs as well as a biolithite with corals, bryozoans and *Cladocoropsis* occur. The thickness of the described beds carries together 150-200 metres. With regard to lithofacies and according to fossil contents we suppose, the described carbonate rocks belong to the Middle Malm.

Lower dolomite member

North of the dinaric fault lies about 75 metres thick stack of grey to dark grey platy and stratified (5-10 cm, 10-35 cm) moderate and coarse-grained strongly bituminous dolomite, which occasionally contains undeterminable organic remains. The dolomite is at some places laminated. In the laminae light grey, very fine-grained and dark grey coarse-grained dolosparite alternate. According to stratigraphic position and lithology the lower dolomite member is of the Middle Liassic age.

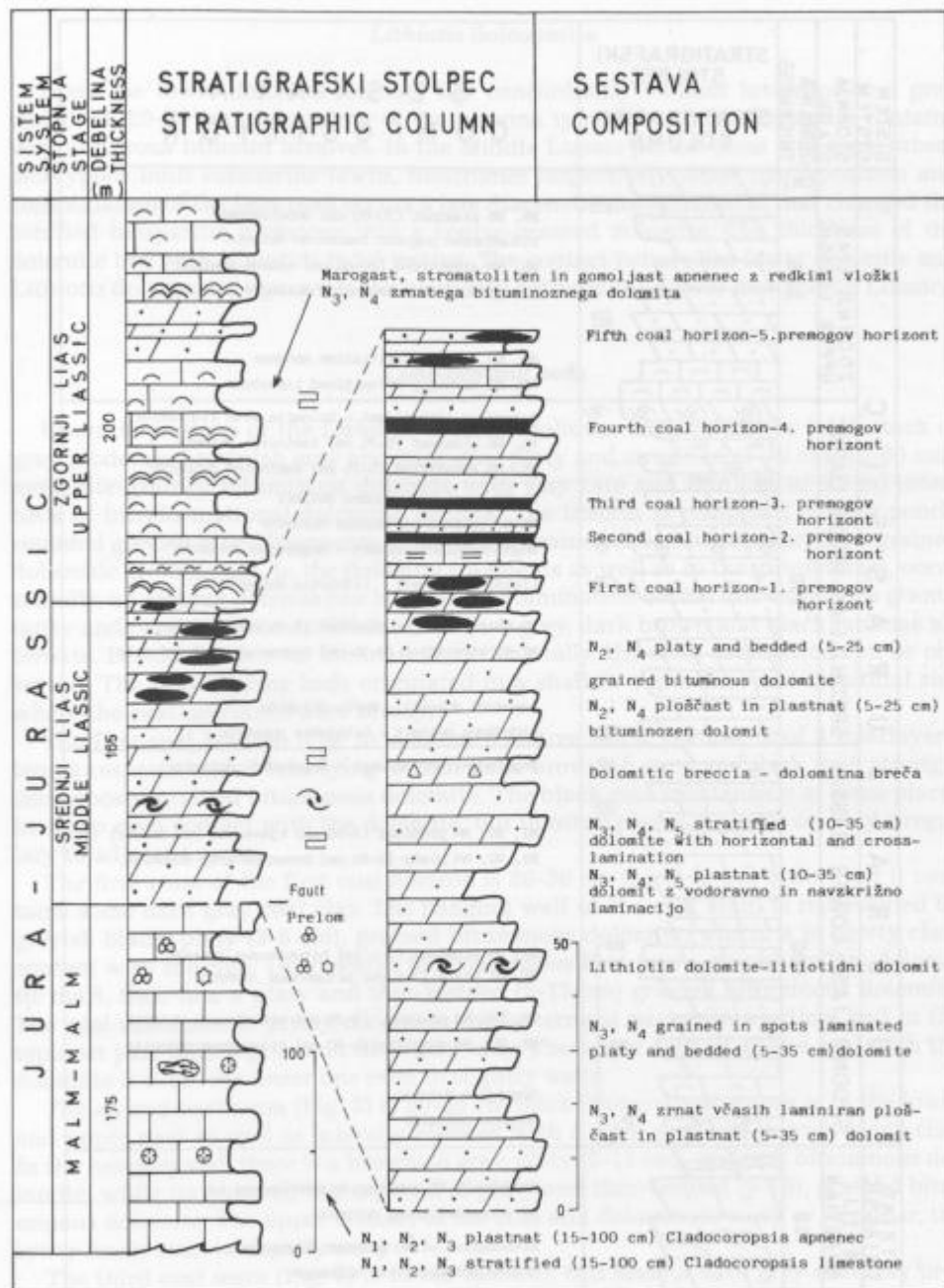


Fig. 3. Stratigraphic column of the Liassic beds with coal in the cross-section 1 in the Kočevski Rog

Sl. 3. Stratigrafski stolpec liasnih plasti s premogom v profilu 1 na območju Kočevskega Roga

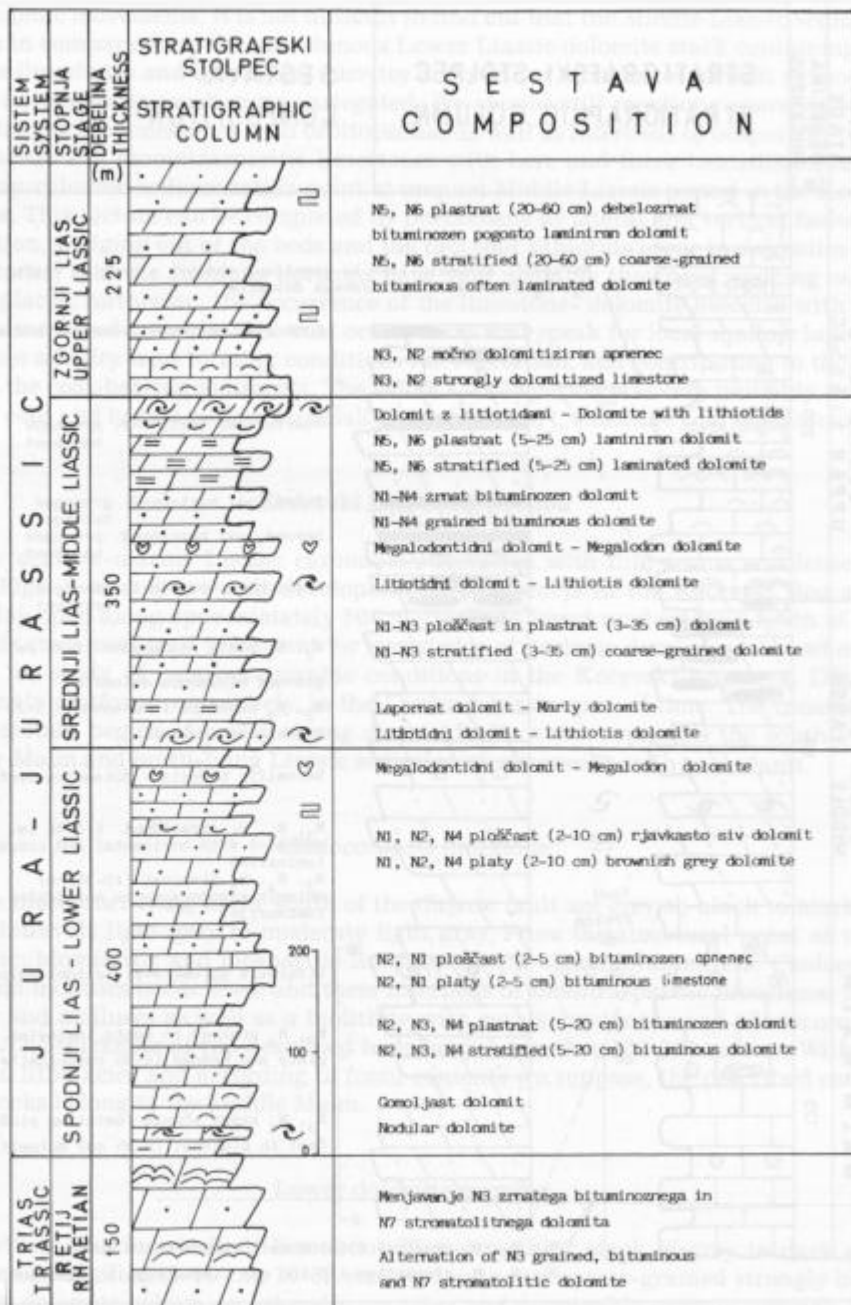


Fig. 4. Stratigraphic column of the Liassic beds in the cross-section Laze-Onek in the Kočevski Rog area

Sl. 4. Stratigrafski stolpec liasnih plasti v profilu Laze-Onek na območju Kočevskega Roga

Lithiotis dolosparite

Upon the lower dolomite member lies concordantly without interruption a grey stratified (20-60 cm) dolosparite of the coquina type. The sparitic dolomite contains very numerous lithiotid bivalves. In the Middle Liassic period these and some others pelecypods built submarine lawns, biostromes respectively. After the deposition and consolidation of the lime mud occurs a late diagenetic dolomitization that changed the lithified biosparitic limestone into a coarse-grained dolomite. The thickness of the dolomite bed with lithiotids is 2.5 metres. The contact between the lower dolomite and *Lithiotis* dolosparite represents the boundary between the Lower and Middle Liassic.

Coal-bearing beds

Upon the horizon of the *Lithiotis* dolomite follows, first, 75 metres thick stack of grey, moderate brownish grey and dark grey platy and stratified (5-10 cm, 10-60 cm), moderate-grained bituminous dolomite with very rare and thin (up to 0.5 m) interbeds of intraformational dolomitic breccia. The breccia is composed of very poorly rounded greyish black fragments of moderate grained dolomite in a very fine-grained dolomitic groundmass. In the dolomite fragments as well as in the groundmass, occasionally, an organic detritus can be seen. The lamination occurs due to various granular and organic contents. White, brownish grey, dark brown and black laminae alternate. Besides horizontal lamination, occasionally, the cross-lamination can be observed. The coal-bearing beds originated in a shallow supratidal and intertidal sea, where the coal substance were brought.

The first coal horizon (Fig. 5) is about 8 metres thick. It consists of 3 interlayers, lenses respectively, of coal lying within dark brownish grey and dark grey strongly decomposed grained bituminous dolomite. The black coal substance is at some places in sharp even contact with the dolomite, but in other places it passes on very irregularly to adjacent rocks.

The first seam of the first coal horizon is 20-30 cm thick. In the lower part it contains some dark grey coal clay. The hanging wall of the coal seam is represented by greyish black, platy (3-5 cm), grained bituminous dolomite, which is in pretty clear contact with the coal. Downwards the coal passes first into a greyish yellow dolomitic marl, then into a platy and thin-bedded (5-15 cm) grained bituminous dolomite. The coal substance is pretty clayey; in the lowermost part with a yellow and in the topmost part with a grey and dark grey clay. The upper contact of the coal with the dolomite is even, the lower one even to slightly wavy.

The second coal seam (Fig. 5) is 20-25 cm thick. The coal substance is in the lower and upper part as well as laterally blended with a dark grey and greyish black clay. In the hanging wall there is a brownish grey, platy (5-15 cm), grained, bituminous dolomite, while its footwall is composed of platy and thin-bedded (5-15), grained bituminous dolomite. The upper contact of the coal and dolomite is wavy or irregular, the lower one is even to slightly wavy.

The third coal seam (Fig. 5) is 15 cm thick. In this seam a dark grey coal clay predominates. In the hanging wall of the coal seam there is a brownish grey platy (2-10 cm) fine and moderate-grained dolomite. In the footwall there is a brownish platy (5-15 cm) grained bituminous dolomite. Both contacts are wavy and irregular. The uppermost dolomite bed, which terminates the first coal horizon, is pinkish and 1.5 m

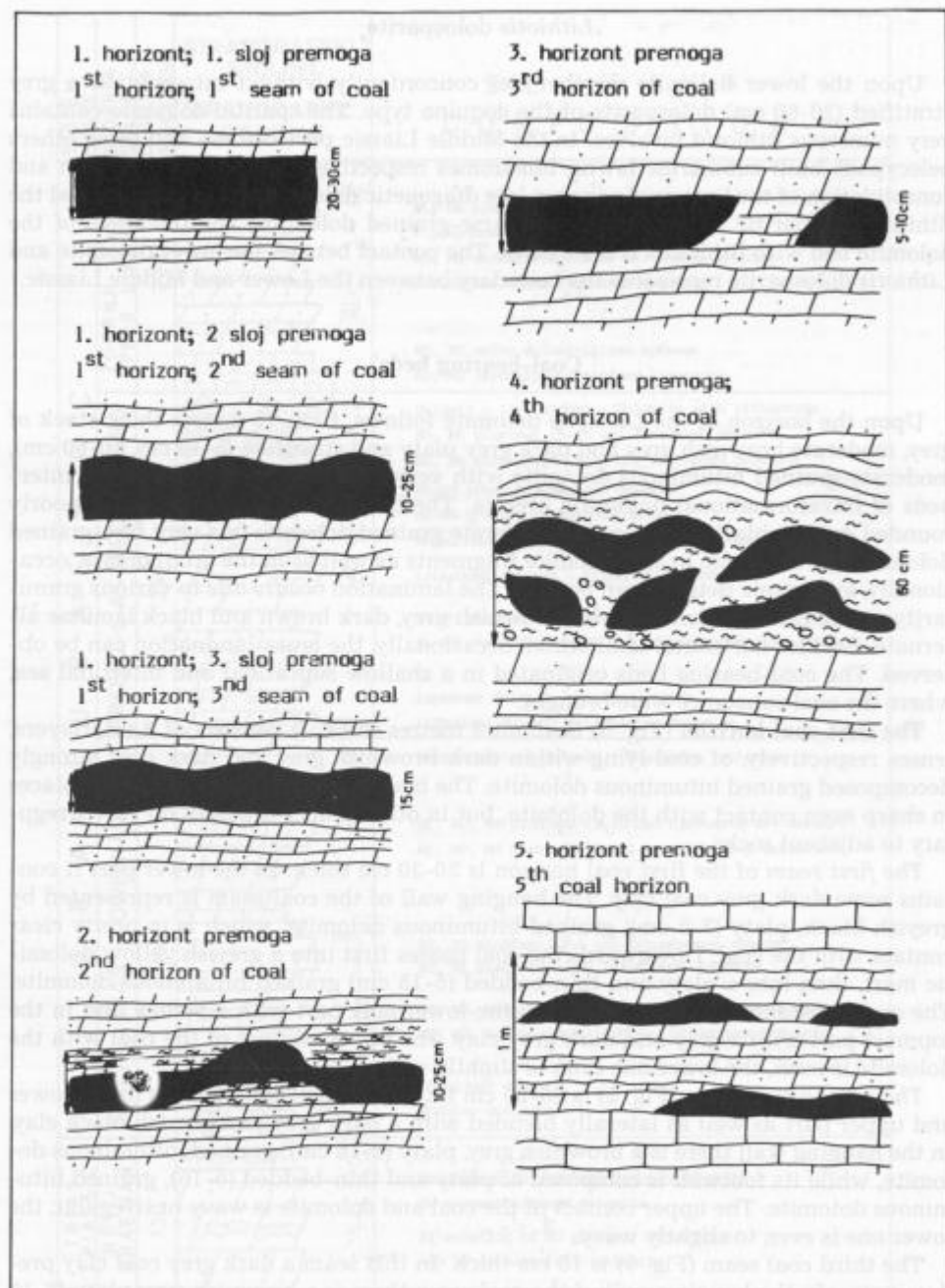


Fig. 5. Coal-bearing horizons and coal seams in the Kočevski Rog area
Sl. 5. Premogovi horizonti in sloji premoga na območju Kočevskega Roga

thick. It is overlain by 60 cm thick bed of the greyish black bituminous grained limestone, which is in its lowermost and uppermost part pinkish red.

The second coal horizon (Fig. 5) is 10-20 cm thick. It is characterized by lenslike occurrences of a yellowish grey poorly cemented dolomite in the black coal substance alternating with foliated (1-3 cm) black claystone. The hanging wall is composed of a platy and thin-bedded (5-15 cm) yellowish grey, dark grey and greyish black grained bituminous dolomite; in the footwall there is a yellowish grey platy (3-10 cm) grained bituminous dolomite.

The third coal horizon (Fig. 5), composed of black coal substance, is 5-15 centimetres thick. The coal seam is in one part interrupted with a grained bituminous dolomite. In the footwall of the coal there is a stratified (25-35 cm) olive grey fine-grained dolomite, whereas the hanging wall is composed of stratified (30-45 cm) grayish black moderate grain dolomite.

The fourth coal horizon (Fig. 5) consists of black coal substance, which is very irregularly arranged in bluish and greenish grey foliated coal clay. There is about 25 % of coal. Consequently, the clay is strongly predominant sediment in this horizon. The fourth horizon is 60 centimetres thick. In the coal clay up to 1.5 cm large, rather rounded pebbles of dark brown grained bituminous dolomite can be seen. Conformly and with a sharp irregular bed surface lies upon the coal and clay a brownish grey stromatolitic dolomite.

To the coal-bearing beds is also added 7.5 metres thick **transitional belt** between the Middle Liassic dolomite and Upper Liassic spotted limestone. The belt of transition begins with 0.5 metres thick grey platy (1-5 cm) stromatolitic limestone. The basal part of the stromatolitic limestone is here and there pinky to pinkish red and in spots strongly dolomitized. Upwards follows 1 metre thick bed of grey, in the basal part pinky, extraordinary strongly dolomitized laminated stromatolitic limestone. It is overlain by 25-50 cm thick bed of greyish black to black grained bituminous nodular dolomite with 1.5 cm large erosion holes. Upwards follow first 0.5 metre thick packet of greyish black fine-grained platy and stratified (2-30 cm) limestone, then 0.5 metres thick interval of greyish black stratified (10-30 cm) micritic limestone. The dolomite (3 m), which overlies the described limestone, is olive grey to greyish black, platy and thin-bedded (5-20 cm) moderate-grained and strongly bituminous („saturated“ dolomite) with up to 10 cm thick lenses of coal. This is the fifth and at the same time last horizon of coal in the considered stratigraphic sequence. The sediments in the transitional zone are conventionally, according to the principle that the transitional interval belongs to the formation, which is more variegated, ranged to the Middle Liassic succession.

The fifth and at the same time the last **coal horizon** (Fig. 5) consists of dark brownish grey to greyish black stratified (2-15) grained strongly bituminous dolomite with 10-25 cm thick lenses of coal. The horizon is 1 m thick. The coal lenses occur on the boundary between the limestone and dolomite as well as within the dolomite. The footwall of the fifth horizon is represented by 0.75 to 1 metres thick interbed of the greyish black stratified (10-25 cm) grained limestone. It is underlain by olive grey to greyish black stratified and platy (5-20 cm) grained bituminous dolomite. The hanging wall of the fifth horizon is represented by a thick-bedded dark grey and grey stromatolitic limestone. The both contacts, the lower and upper one, are sharp and even.

Spotted limestone

This is the formation of grey, dark grey and greyish black micritic fine-grained platy (5-10 cm) and stratified (10-35 cm, rarely 45-60 cm) limestone with more or less frequent yellowish clayey and marly spots. Some spots originated by late diagenetic dolomitization of primary limestone due to different mineralogical and chemical composition. In the topmost part of 120 metres thick stack of spotted limestone there is some 5-12 metres thick intervals of thick-bedded coarse-grained brown to moderate dark brown grained bituminous dolomite. In the limestone numerous horizontal parallel stylolites can be observed. Along the stylolites, which can be followed vertically every 5-10 cm, a late diagenetic dolomitization advanced loosening the rock to the measure that previously thick-bedded rock changed to a platy rock. In the formation of predominantly spotted limestone laminated and stromatolitic limestones are also frequent. The lamination occurs, first of all, due to different organic contents (white, light brown, dark brown, black laminae) and because of various grade and type of dolomitization (light and dark brown laminae). Quite important characteristic of the formation of the spotted limestones is also that it is extremely poor with fossils. In these limestones only undeterminable organic remains are preserved.

Sedimentary Environment

From the Tethys area in literature the Rhaeto-Liassic coal period with numerous coal occurrences is frequently mentioned. But in the Dinaric carbonate platform area in the Dolenjsko region in Rhaetian there were no conditions for forming the coal. It is true that epirogenetic movements and shallowing of the sea in this connection are, intensified to this measure that some tidal areas became dry land for a while, where a karstification and erosion took place. But in the Dinaric carbonate platform area there were not all favourable conditions for origin of the coal. Not before the end of Rhaetian, at the beginning of the Jurassic respectively, warm and humid climate occurred. The land and marsh flora expanded. Under favourable climate conditions and fast development of various flora on one side, and by existence of numerous shallow marine basins, lagoons respectively, it came to repeated accumulation of plant material in the lime mud and to origin of several seams of coal.

Consequently, the Liassic coal-bearing formation has a variegated composition. The oscillations of the sea level in the lagoon were a consequence of episodic changes in the hydrosphere and especially of intensified movements and processes in the lithosphere (subsidence). Marshy forest facies, as basic facies of origin of the coal beds, was bound for lithoral zone. Sedimentation in the lagoon depended on relation of three gradients: 1) plant material accumulation, 2) deposition of carbonate mud and 3) subsidence. In intervals, when the plant material accumulation was high, and the climate conditions enough favourable, it came to formation of coal seams. At the moment, when the gradient of the plant deposition was minor than the subsidence gradient, the deposition of the coal was interrupted. The coal seam was overlain by carbonate mud. After that, diagenetic and metamorphic processes in deposited sediments followed.

Correlation of the Liassic Beds in the Southeastern Slovenia

The coal-bearing Liassic beds of the Kočevski Rog are correlated with the Liassic beds of the Mala gora (Fig. 9), Kočevska Mala gora (Fig. 6 and 7), Suha krajina (Fig. 8) and Bela krajina t.i. of those areas of the Dinaric carbonate platform in the southeastern Slovenia, that lie in the close neighbourhood of the Kočevski Rog. The analogy of the Liassic stratigraphic columns in the enumerated areas is evident already at first sight. In the lower part of the Liassic interval a grained, prevalently platy and strongly bituminous dolomite is developed. In the middle part of the carbonate succession, upon the first lithotid horizon, one or more horizons of coal, coal shale and clay can be seen. In the hanging wall of the coal-bearing beds there is a platy and stratified spotted limestone.

The stratigraphic column of the Liassic beds in the cross-section G. Retje-Bukovec at Poljane (Fig. 9) in the Mala gora area is very similar to the above-enumerated. This stands especially for the lower and upper part of the Liassic column, composed of grained bituminous dolomite, the spotted limestone respectively. The significant difference occurs in the middle part of the Mala gora Liassic succession, where in the lowermost, in the middle and especially in the topmost part the oolitic limestone appears. As limestone as dolomite are rich with micro- and macrofossils. The main difference is, the Liassic beds, which build the Mala gora Mts., do not contain the coal.

Probably the most special is the stratigraphic column of the Liassic beds in the Suha krajina area (Fig. 8), which is in the lowermost part represented by the so called Krka limestones (D o z e t, 1993). These are prevalently black, thick-bedded, biomicritic, oomicritic, intrasparitic and biointrasparitic limestone with interlayers of intraformational breccias and conglomerates, fenestral limestones, stromatolitic limestones and occasionally dolomites. The enumerated sediments show distinctive characteristics of shallow-water sedimentation originating in a subtidal, intertidal and supratidal environment. These sediments contain the Lower Liassic fauna and flora. However, the most frequent between the fossils are algae and foraminifers. In the Lower Liassic limestones are determined among others the algae *Palaeodasycladus mediterraneus* Pia, *Palaeodasycladus elongatus* Praturon and *Linoporella lucasi* Gros & Lemoine. The Middle Liassic sedimentation in the cross-section Podbukovje (Krka) - M. Korinj (Fig. 8) is much more variegated than the Lower Liassic one. The sedimentary succession of the Middle Liassic interval consists of dark and medium dark grey, grained, bituminous dolomites, intraformational dolomitic breccias, biopelmicritic, oosparitic, oointrasparitic as well as lithotid and megalodontid limestones. In the lowermost part of the considered sedimentary succession there are pure and calcareous dolomites with interbeds of intraformational dolomitic breccias. Dolomites are coarse-grained, consequently, late diagenetic by origin. Occasionally, they contain more or less numerous fine organic remains. The megalodontid limestones are pretty rare. The lithotid limestones occur in the upper part of the Middle Liassic carbonate succession. From the structural point of view, the lithotid limestones belong to biomicrites, where in the dark grey to greyish black limy mud numerous lithotids are accumulated. In spots, the lithotids are accompanied by megalodontids and foraminifers. In the lithotid facies biostromal and reef type of sedimentation occurs. On the other hand, the grained limestones and dolomites were formed in the subtidal, intertidal and supratidal environment. The Upper Liassic interval (Fig. 9) is represented by the formation of the spotted limestones, which is in the Suha krajina area characterized by a small thickness of only some ten metres. However, it consists of

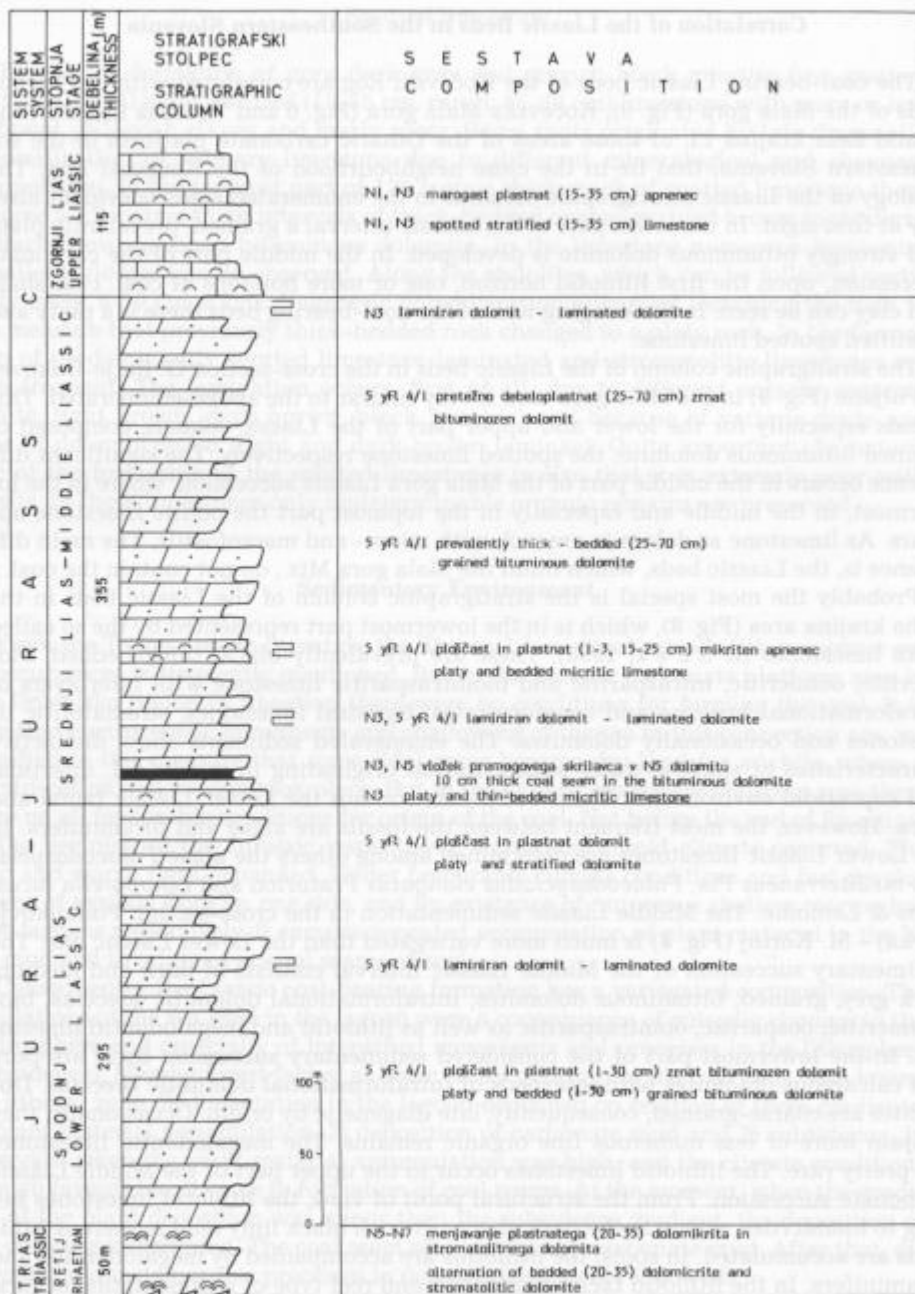


Fig. 6. Stratigraphic column of the Liassic beds in the cross-section Pekel-Lapinje in the Kočevska Mala gora area

Sl. 6. Stratigrafski stolpec liasnih plasti v profilu Pekel-Lapinje na območju Kočevske Male gore

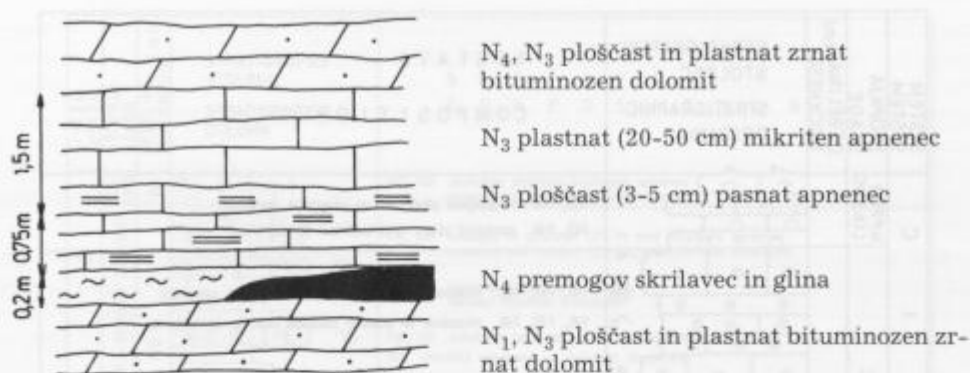


Fig. 7. The detail of the Middle Liassic succession of carbonate rocks with coal in the cross-section Pekel - Lapinje in the southern part of Kočevska Mala Gora

Sl. 7. Detajl srednjeliassnega zaporedja karbonatnih kamenin s premogom v profilu Pekel -Lapinje v južnem delu Kočevske Male gore

platy (3-10 cm) and stratified (15-45 cm) dark grey, greyish black and black, prevalently micritic, spotted, frequently nodular limestone as well. The limestones are at some places somewhat dolomitized containing rare, some metres thick interbeds of brownish grey grained dolomite. From the structural point of view they mostly belong to a micrite or pelmicrite. Occasionally, they contain intraclasts as well as limonitized ooids and oncoids. The spotted limestones are very poor with fossils indicating that they were formed in an environment, which was unfavourable for living organisms. The described sedimentary succession is according to the stratigraphic position of the Upper Liassic age. Namely, it lies between the lithotid limestones, which are in the Dinaric carbonate platform area of the Middle Liassic age, and oolitic limestones containing the Dogger fauna.

Conclusions

The stratigraphic sequence of the Middle Liassic carbonate rocks, which were formed in the Kočevski Rog region in the Dinaric carbonate platform area, includes in several levels thin seams and lenses of coal. The basic characteristic of the seams and coal lenses is a small and unstable thickness, which changes from 60 cm to complete wedging out.

The material for formation of the coal originates from marsh and land vegetation. Regarding the number of exposed coal outcrops we conclude that for the development of the marsh vegetation the best conditions were given in the Middle Liassic. If we compare the Jurassic and Tertiary conditions or vegetation, it is not difficult to find out that the latter were much more favourable. At formation of the Lower Jurassic coal it went for an accumulation of plant material. The transport of this material have been carried out by means of water streams. The finer and more resistant constituents were transported (blown) and laid down into basins by atmospheric currents. The Middle Liassic occurrences are small. Locally, they were exploited, but nowadays, they

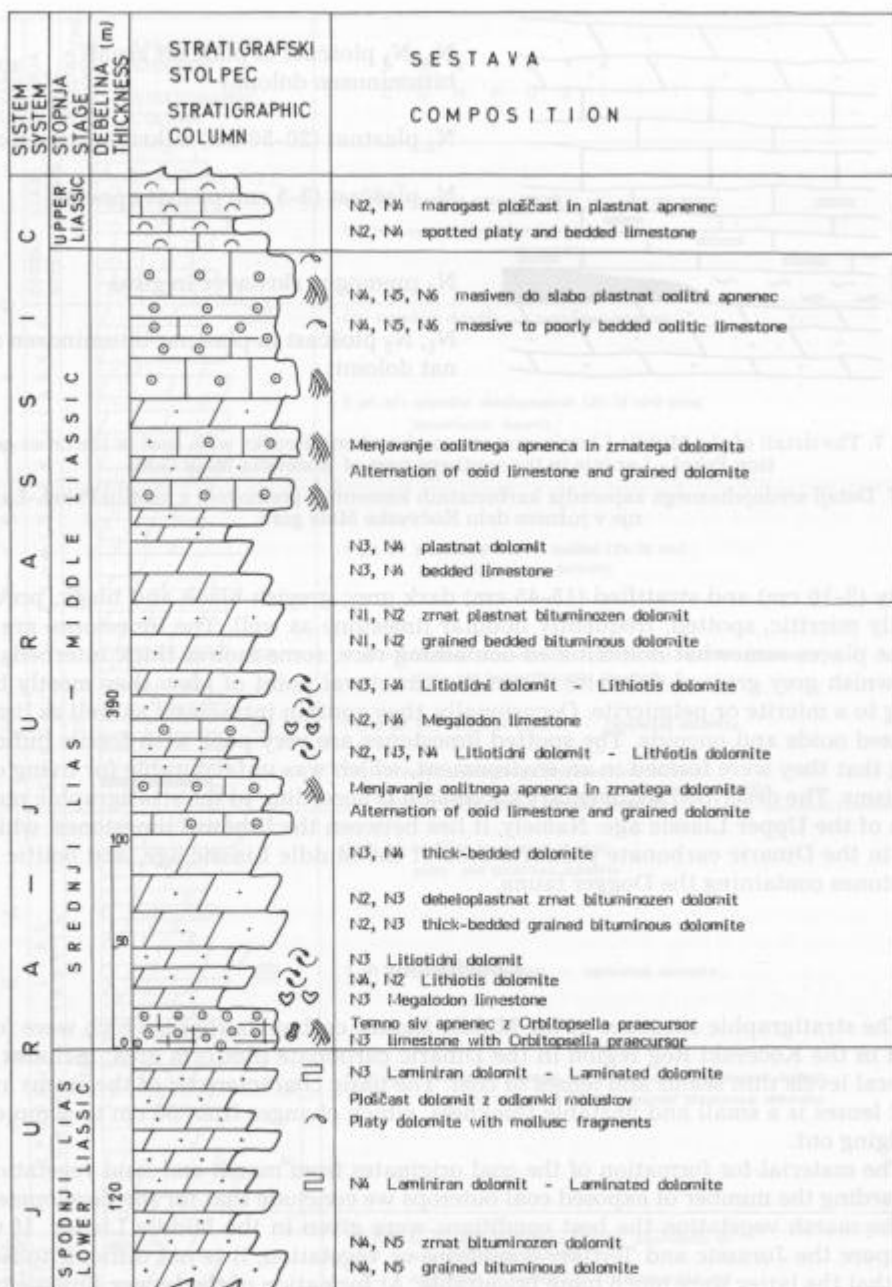


Fig. 8. Stratigraphic column of the Liassic beds in the cross-section Podbukovje (Krka) - M. Korinj in the Suha krajina area

Sl. 8. Stratigrafski stolpec liasnih plasti v profilu Podbukovje (Krka)-M. Korinj na območju Suhe krajine

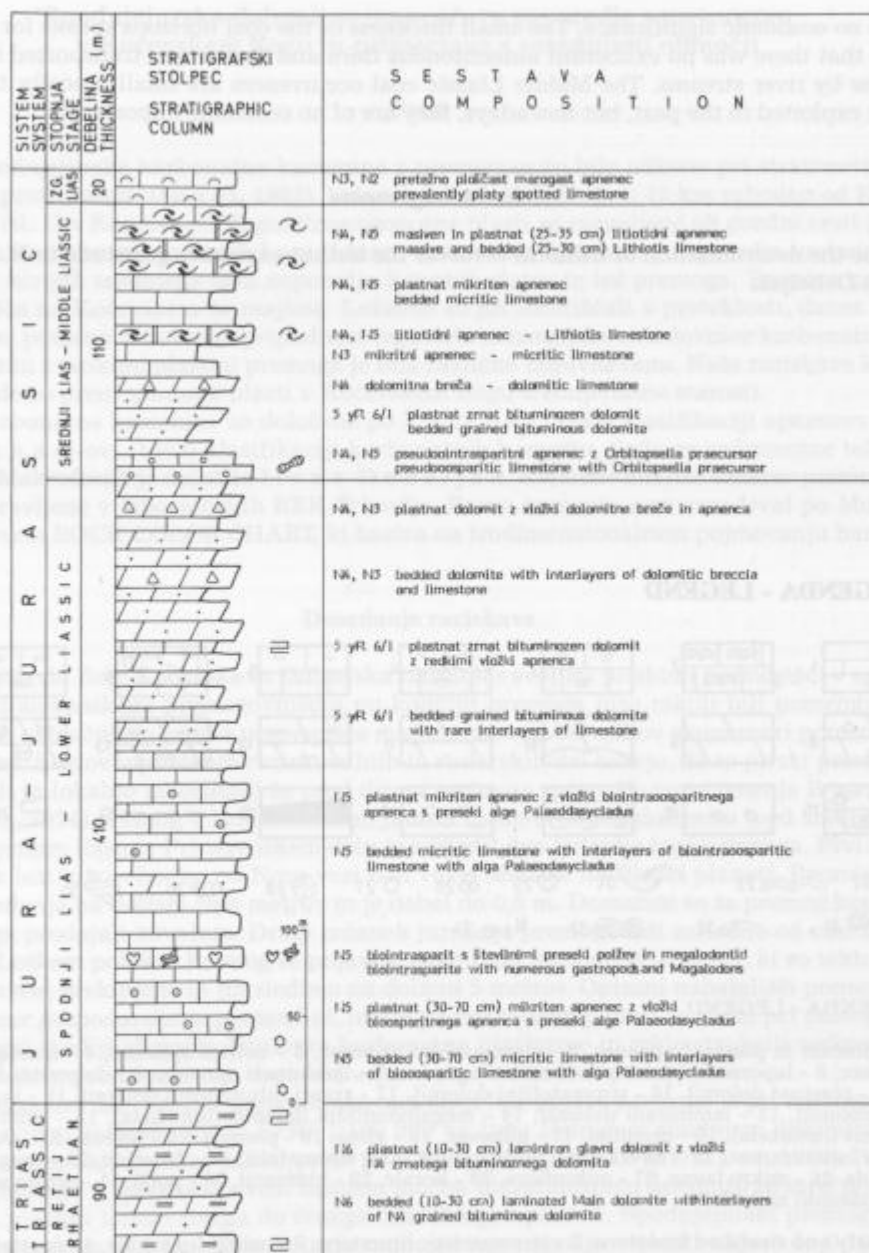


Fig. 9. Stratigraphic column of the Liassic beds in the cross-section G. Retje-Bukovec at Poljane in the Mala Gora area

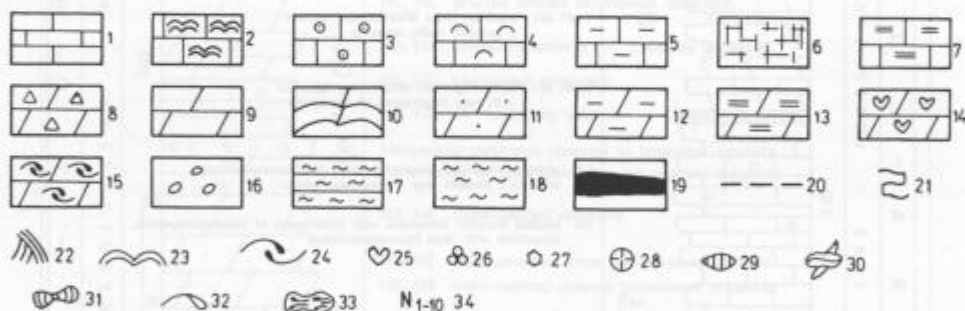
Sl. 9. Stratigrafski stolpec liasnih plasti v profilu G. Retje-Bukovec pri Poljanah na območju Male gore

have no economic significance. The small thickness of the coal horizons speaks for the fact, that there was no exuberant autochthonous flora and that it was transported into basins by river streams. The Middle Liassic coal occurrences are small. Locally, they were exploited in the past, but nowadays, they are of no economic importance.

Acknowledgements

For the determination of lithiotid bivalves the author expresses gratitude to M. Sc. Irena Debeljak.

LEGENDA - LEGEND



LEGENDA - LEGEND

1 - Ploščast in plastnat apnenec, 2 - stromatolitni apnenec, 3 - oolitni apnenec, 4 - marogasti apnenec, 5 - lapornati apnenec, 6 - masivni apnenec, 7 - laminirani apnenec, 8 - dolomitna breča, 9 - plastnat dolomit, 10 - stromatolitni dolomit, 11 - zrnati bituminozni dolomit, 12 - lapornati dolomit, 13 - laminirani dolomit, 14 - megalodontidni dolomit (lumakela), 15 - lithiotidni dolomit (lumakela), 16 - prodniki, 17 - glinovec, 18 - glina, 19 - premog, 20 - prelom, 21 - vodoravna laminiranost, 22 - navzkrižna laminiranost, 23 - stromatolit, 24 - lithiotide, 25 - megalodontide, 26 - mikro favna, 27 - mikroflora, 28 - korale, 29 - hidrozoji, 30 - polži, 31 - orbitopsele, 32 - odlomki moluskov

1 - Platy and stratified limestone, 2 - stromatolitic limestone, 3 - oolitic limestone, 4 - spotted limestone, 5 - marly limestone, 6 - massive limestone, 7 - laminated limestone, 8 - dolomitic breccia, 9 - stratified dolomite, 10 - stromatolitic dolomite, 11 - grained bituminous dolomite, 12 - marly dolomite, 13 - laminated dolomite, 14 - megalodontid dolomite (lumachelle), 15 - lithiotid dolomite (lumachelle), 16 - gravel, 17 - claystone, 18 - clay, 19 - coal, 20 - fault, 21 - horizontal lamination, 22 - cross-lamination, 23 - stromatolite, 24 - lithiotids, 25 - megalodontids, 26 - microfauna, 27 - microflora, 28 - corals, 29 - hydrozoans, 30 - gastropods, 31 - orbitopsellas, 32 - mollusc fragments

Spodnjejursko dolomitno-apnenčevo zaporedje s premogom v Kočevskem Rogu in primerjava s sosednjimi območji

Uvod

Spodnjejurske karbonatne kamenine s premogom so bile odkrite pri stratimetrijskem profiliranju (D o z e t, 1982). Izdanek teh plasti leži okoli 15 km vzhodno od Kočevja (sl. 1) v Kočevskem Rogu. Premogonosne plasti so razgaljene ob gozdni cesti pri lovski koči severno od vasi Laze. Liasno dolomitno-apnenčevo zaporedje vsebuje v nekaj nivojih srednjega dela zaporedja 8 tankih slojev in leč premoga. Tovrstna premogišča na Kočevskem so majhna. Lokalno so jih izkoriščali v preteklosti, danes pa so brez pomena. Starostna pripadnost tega dela mezozojske skladovnice karbonatnih kamenin s tankimi plastmi premoga je bila različno obravnavana. Naše raziskave kažejo, da so premogonosne plasti v Kočevskem Rogu srednjeliasne starosti.

Karbonatne kamenine so določene po F o l k o v i (1959) klasifikaciji apnencev in D u n h a m-ovi (1962) klasifikaciji karbonatnih kamenin glede na sedimentne teksture. Makrofosile je določila I r e n a D e b e l j a k. Kemične analize vzorcev premoga so opravljene v laboratorijih REK Trbovlje. Barvo kamenin sem označeval po Munsell-ovem ROCK COLOR CHART, ki bazira na trodimenzionalnem pojmovanju barv.

Dosedanje raziskave

Kočevski Rog, Kočevska in Dolenjska nasploh s svojimi jurskimi premogišči v zgodovini slovenskega premogovništva po količini premoga niso nikoli bili pomembni. Na teh območjih so jurska premogišča majhna, zato je bil njihov ekonomski pomen le lokalni. Sledovi opuščenih raziskovalnih in rudarskih del kažejo, da so jurski premog odkrili in lokalno izkoriščali že pred drugo svetovno vojno. Po vojni omenja B u s e r (1965b, 1974) premog v bituminoznem temno sivem zrnatem dolomitu med srednjim in zgornjim liasom. Pri terenskem delu je zasledil dva izdanka tega premoga. Prvi izdanek leži jugovzhodno od Nove vasi nad vasjo Metulje na Bloški planoti. Premogov sloj izdanja na dolžini treh metrov in je debel do 0,5 m. Domačini so ta premog kopali in ga prodajali kovačem. Drugi izdanek jurskega premoga leži zahodno od vasi Retje v Loškem potoku. Premog se pojavlja v petih do 5 cm debelih slojih, ki so tektonsko precej prekinjene in jih sledimo na dolžini 5 metrov. Opisani nahajališči premoga sta sicer gospodarsko nepomembni, imata pa znanstveni pomen še zlasti pri paleogeografski studiji območja Dinarske karbonatne platforme in rekonstrukciji sedimentacijskih in geodinamičnih dogajanj v časovnem intervalu spodnje jure.

Dokaj številne, vendar gospodarsko nepomembne pojave premoga je pri kartiranju za Osnovno geološko karto SFRJ 1:100 000 na listu Delnice v spodnjem delu jurske karbonatne skladovnice odkril avtor (D o z e t, 1983; S a v i č & D o z e t, 1989). Premog nastopa v rjavkasto sivem liasnem močno bituminoznem dolomitu in med polami in plastmi temno sivenga do črnega mikritnega apnenca. Spodnjejurski premog se na Kočevskem in v Gorskem kotarju najpogosteje pojavlja v obliki največ do 0,75 m debelih in do 8 m dolgih leč. V večini primerov gre za precej tanjše in krajše leče, ponekod pa sledimo le nekaj cm debele sloje premoga.

B u k o v a c et al. (1984 a, b) omenjajo manjše ležišče premoga pri Brezovici v Beli krajini. Premogišče je bilo nekoč izkoriščano. Danes sta ohranjena le manjši rov in jalovišče. Premogova leča je ležala v liasnem dolomitu z laporastim dolomitom in do-

lomitnim laporjem v krovnini. Obe kamenini krovnine vsebujeta impregnirani bitumen, ki je po bitumenoloških analizah nastal z bitumenizacijo premoga. Lignohumit je razpršen v mineralni osnovi dolomita. Potemtakem imamo tu opravka s subbituminoznim premogom in subbituminoznim dolomitom.

Stratigrafske razmere spodnjajurskega intervala mezozojske skladovnice Dinarske karbonatne platforme na območju Kočevskega Roga, Kočevske, Dolenjske, Notranjske in Gorskoga kotarja so opisane v delih B u s e r j a (1965 a, b; 1974), D o z e t a (1980, 1982, 1983, 1989, 1992 a, b, 1996), S a v i č a in D o z e t a (1985 b) ter B u k o v c a in sodelavcev (1984). Spodnjajurske plasti z litiotidami in megalodonti sta nadrobno obdelala B u s e r in D e b e l j a k o v a (1994/95) ter D e b e l j a k o v a in B u s e r (1998). Biostratigrafija in biostratigrafska razčlenitev jurskih plasti sta podana v delih D o z e t a in Š r i b a r j e v e (1981) ter D o z e t a (1990). Tektonska zgradba obravnavanega ozemlja je prikazana v delih B u s e r j a (1965 b, 1974), D o z e t a (1983) ter S a v i č a in D o z e t a (1985 a, b). Tektonska premikanja na Kočevskem v mezozoiku so opisana v delu D o z e t a (1985 b).

Geologija premogišča

Stratigrafska lega

Karbonatna skladovnica s tankimi sloji in lečami premoga v Kočevskem Rogu (sl. 3, sl. 4) pripada spodnji juri. Spodnjajursko sedimentno zaporedje Kočevskega Roga lahko glede na favno in premog razdelimo v tri dele (sl. 2): spodnji ali talninski del, srednji ali premogonosni in zgornji ali krovninski del. Talninski del pripada spodnjemu liasu, premogonosno sedimentno zaporedje je srednjeliasne starosti, krovninski del pa je glede na stratigrafsko lego in po litologiji zgornjeliasni.

Talnina premogonosnih plasti, ki smo jo prišteli k spodnjemu liasu, je sestavljena iz temno rjavkasto sivega in rjavkasto sivenga ploščatega (2-10 cm) in plastnatega bituminoznega dolomita. Ponekod vsebuje drobne organske ostanke. V dolomitu mestoma opazujemo tanko pasnatost. Po strukturi pripada dolomit drobno, srednje in debelozrnatemu dolosparitu. Starost spodnjeliasnega dolomita je določena na podlagi njegove stratigrafske lege in po litologiji. Opisano dolomitno zaporedje leži koncordantno pod litiotidnim dolomitom.

Premog nastopa v srednjeliasnem rjavkasto sivem zrnatem in močno bituminoznem dolomitu. Srednjeliasni dolomit je jasno plastnat (25-35 cm). Redko je ploščast (5-10 cm). Kontakti med plastmi so ostri, površine ploskev pa ravne ali valovite. Struktura je drobno- srednje- in debelozrnatna. Poleg prevladujočega debelozrnatnega dolosparita se pojavlja tudi horizont litiotidnega dolomita, ki loči spodnji in srednji lias. Skeleti litiotid so v glavnem vzporedni s plastnatostjo in so tako tesno skupaj, da tvorijo lumakele. Spodnjajurski dolomit je nastal pri poznodiagenetski dolomitizaciji apnencev. Za njegov poznodiagenetski nastanek govori predvsem njegova kristalna struktura. V srednjeliasni skladovnici se poleg dolosparitov pojavljajo tudi posamične tanke plasti drobnozrnate intraformacijske dolomitne breče. Debelina premogonosnih plasti znaša okoli 45 m.

V nahajališču Kočevski Rog sledimo premog v petih nivojih srednjeliasnega intervala. Pojavlja se v obliki tankih slojev, vložkov in leč. B u s e r (1965 b, 1974) je uvrstil liasne premoge na Dolenjskem med črne premoge, po naših podatkih pa v glav-

nem pripadajo rjavim premogom. Zaradi majhne debeline in razprostranjenosti liasni premog ni primeren za izkoriščanje.

Konkordantno na premogonosnih plasteh leži zaporedje zgornjeliasnih apnencev, ki jih imamo za ekvivalent formacije **marogastih apnencev**. Prehod dolomita, v apnenec je postopen. Apnenec je ploščast, plastnat (5-30 cm) in sivkasto črn. Najpogosteje pripada mikritu, redkeje stromatolitu in pasovcu. Le redko ima zrnato strukturo. Mestoma razpada v 2-5 cm debele plošče. Pogosto je bolj ali manj dolomitiziran. V najspodnjem delu vsebuje dva vložka (20 cm in 30 cm) gline. Spodnji vložek sestavljata rjavkasto siva glina in skrilač lapor z redkimi 5-7 cm debelimi prodniki sivega mikritnega in stromatolitnega apnenca. Apnenec je pri poznodiaogenetski dolomitizaciji ponekod spremenjen v debelokristalasti dolomit.

Tektonska premikanja

Proti koncu norijske dobe so se epirogenetska premikanja, ki so bila več ali manj prisotna skoraj ves čas norijske sedimentacije, ko so se v območju plime in oseke usedali pretežno stromatolitni dolomiti, postopoma tako povečala, da so nekatera intertidalna področja Dinarske karbonatne platforme postala za krajši čas kopno. Na lokalnem kopnem so se vršili zakrasevanje, preperevanje in erozija, ki so omogočili nastanek zakraselih oblik, dolomitne breče in konglomerata ter boksitne gline.

Na območju Dinarske karbonatne platforme na meji med triasno in jursko periodo ni bilo orogenetskih premikanj (D o z e t, 1989). Manjši epirogenetski sunki starokimerijskega dviganja so na tej časovni prelomnici pogojevali sedimentacijo postopnega značaja; triasne in jurske plasti pa so povsod konkordantne.

Do novih močnejših epirogenetskih premikanj je prišlo na meji med spodnjim in srednjim liasom. V srednjeliasni skladovnici Kočevske opazujemo namreč številne vendar ne tako izrazite dogodke, ki kažejo na močnejša pozitivna epirogenetska premikanja. Ni težko ugotoviti, da je srednjeliasna sedimentacija v primerjavi z monotonno spodnjeliasno dolomitno skladovnico zelo pestra, sestoji pa iz litiotidnih apnencev in dolomitov, mikritnih in biomikritnih apnencev, dolosparitov, megalodontnih apnencev in dolomitov ter biosparitnih apnencev. Posebej naj omenimo še debelozrnate biointrasparitne apnenec z orbitopselami in vložke oosparitnih apnencev s tu in tam hematitiziranimi ooidi. Pestra sedimentacija kaže na dokaj nemirno srednjeliasno obdobje na Kočevskem. To sliko dopolnjujejo še pojavi kot so: bočno in vertikalno menjavanje facij, izklinjevanje plasti in dejstvo, da se litiotide pojavljajo zdaj v apnencih zdaj v dolomitih, da imajo litiotidni horizonti zelo nestalno debelino in se včasih celo izklinjajo, nadalje pojav apnenčevo-dolomitnih breč s kalcitnim vezivom in ne nazadnje pojavi premoga, ki govorijo za lokalne plitve lagune, močvirja, okopnitve in ustvarjanje pogojev za vegetacijo, ki je sodelovala pri nastanku sedimentov s premogom. Lias je bil verjetno v celoti sorazmerno hladno in vlažno obdobje, zlasti pa njegov srednji del, ko je nastajal premog.

Profil Kočevski Rog

Liasne karbonatne plasti v plitvovodnem razvoju s tankimi vložki in lečami premoga so lepo razvite vzhodno od Kočevja na območju Kočevskega Roga. Odkrite so ob približno 500 m dolgi gozdni makadamski poti (sl. 3 in 4). Profil je pomemben za

poznavanje geoloških razvojev in zlasti študij paleogeografskih razmer na ozemlju Kočevskega Roga oziroma območja Dinarske karbonatne platforme v spodnji juri.

Profil pričenja ob precej močni, približno dinarsko usmerjeni prelomnici, ki loči južno ležeče spodnjemalmske in severno ležeče liasno zaporedje sedimentov s plastmi premoga.

Apnenec s cladocropsisi

Južno od preloma ležeči apnenec je sivkasto črn do črn, v določenih intervalih svetlo siv do srednje svetlo siv. V strukturnem pregledu prevladujejo mikritni, biomikritni in biosparitni apnenec z algami, foraminiferami, cladocropsisi in moluski. Tu in tam naletimo na vložke biointraosparitnega apnenca s koralami, cladocropsisi, brizozi in moluski. Debelina opisanih plasti znaša 150 do 200 metrov. Glede na lito-facies in na fosilno vsebino sklepamo, da pripadajo opisane kamenine srednjemu malmu.

Spodnji dolomitni člen

Severno od dinarskega preloma leži okoli 75 metrov debela skladovnica srednje temno sivega do temno sivega ploščatega in plastnatega (5-10 cm, 10-35 cm) srednje in debelozrnatega močno bituminoznega dolomita, ki tu in tam vsebuje nedoločljiv organski detritus. Dolomit je včasih laminiran, oziroma pasnat. V pasovih se menjavata svetlo sivi zelo drobnozrnati in temno sivi debelozrnati dolosparit. Krojitev kamenine je debelo paralelepipedska, redkeje nepravilna. Spodnji dolomitni člen je glede na litologijo, stratigrafsko lego in debelino srednjeliasne starosti.

Litiotidni dolosparit

Nad spodnjim dolomitnim členom leži konkordantno brez prekinitve sivi plastnati (20-60 m) dolosparitni dolomit lumakelnega tipa. Sparitni dolomit vsebuje izredno številne litiotidne školjke. Školjke so na območju Dinarske karbonatne platforme v srednjeliasni dobi sestavljale podmorske trate ali biostrome. Po odložitvi apnenca je nastopila poznodiagenetska dolomitizacija, ki je že litificirani biosparitni apnenec spremenila v debelozrnati dolomit. Debelino horizonta dolomita z litiotidami je 2,5 m. Kontakt med spodnjim dolomitom in litiotidnim dolosparitom predstavlja mejo med spodnjim in srednjim liasom.

Premogonosne plasti

Nad horizontom litiotidnega dolomita sledi najprej 75 m debela skladovnica sivega, srednje rjavo sivega in temno sivega, ploščatega in plastnatega (5 - 10 cm, 10 - 60 cm) srednjezrnatega bituminoznega dolomita z zelo redkimi in tankimi (do 0,5 m) vložki intraformacijske dolomitne breče. Dolomitna breča je sestavljena iz zelo slabo zaobljenih sivkasto črnih drobcov srednjezrnatega dolomita v sivi zelo drobnozrnati dolomitni osnovi. V dolomitnih drobcih in tudi v osnovi opazujemo tu in tam organ-

ske ostanke. Dolomit je včasih laminiran. Laminiranost nastopa zaradi različne zrnatosti in vsebnosti organske komponente. Menjavajo se bele, rjavkasto sive, temno rjave in črne lamine. Poleg vodoravne opazujemo mestoma tudi navzkrižno laminiranost. Premogonosni skladi so nastajali v plitvem nadplimskem in medplimskem okolju, kamor je bila prinašana tudi premogova substanca.

Prvi horizont premoga: Prvi horizont premoga (Sl. 5) je debel 8 metrov. Sestoji iz treh slojev oziroma leč premoga, ki leže v temno rjavo sivem in temno sivem močno razkrojenem oziroma razpadlem zrnatem bituminoznem dolomitu. Črna premogova substanca je ponekod v ostrem ravnem kontaktu z dolomitom, drugod pa zelo nepravilno prehaja v prikamenino.

Prvi sloj premoga (Sl. 5) prvega horizonta je debel 20-30 cm. V spodnjem delu vsebuje tudi nekaj temno sive premogove gline. Krovnino premoga tvori sivkasto črn ploščast (3-5 cm) zrnat bituminozen dolomit, ki je v ravnem in jasnem kontaktu s premogom. Navzdol prehaja premog najprej v sivkasto rumen dolomitni lapor nato v ploščast in tanko plastnat (5-15 cm) zrnat bituminozni dolomit. Premogova substanca je močno zaglinjena; v bazalnem delu z rumeno, v vrhnjem delu pa s sivo in temno sivo glino. Zgornji kontakt premoga z dolomitom je raven spodnji pa raven do rahlo valovit.

Drugi sloj premoga (Sl. 5) je debel 10-25 cm. Premogova substanca je v spodnjem in zgornjem delu in tudi lateralno pomešana s temno sivo in sivkasto črno glino. V krovnini premoga je rjavkasto siv ploščast (5-15 cm) zrnat bituminozen dolomit, njegovo talnino pa sestavlja črn ploščast in tankoplastnat (5-15 cm) zrnat bituminozen dolomit. Zgornji kontakt premoga in dolomita je valovit do nepravilen spodnji pa raven do rahlo valovit.

Tretji sloj premoga (Sl. 5) je debel 15 cm. V tretjem sloju prevladuje temno siva premogova glina. V krovnini premoga je rjavo siv ploščast (2-10 cm) drobno in srednje zrnat dolomit v talnini pa je rjavkast ploščast (5-15 cm) zrnat bituminozen dolomit. Oba kontakta sta valovita do nepravilna. Vrhnja plast dolomita, ki zaključuje prvi horizont, je debela 1,5 m in je rožnato obarvana. Na njej leži 60 cm debela plast sivkasto črnega zrnatega bituminoznega apnenca, ki je v najspodnjem in vrhnjem delu rožnato rdeč.

Drugi horizont premoga (Sl. 5) je debel 10-25 cm. Zanj je značilno lečasto pojavljanje rumenkasto sivega prhkega dolomita v črni premogovi substanci, ki se menjava z lističastim (1-3 mm) črnim glinovcem. Krovnino premoga predstavlja ploščast in tanko plastnat (5-15 cm) rumenkasto siv, temno siv in sivkasto črn zrnat bituminozen dolomit v talnini pa je rumenkasto siv ploščast (3-10 cm) zrnat bituminozen dolomit.

Tretji horizont premoga (Sl. 5), ki ga sestavlja sivkasto črna premogova substanca, je debel 5 do 15 centimetrov. Plast premoga je na enem mestu prekinjena z zrnatim bituminoznim dolomitom. V talnini premoga je plastnat (25-35 cm) olivno sivo drobnozrnat dolomit, v krovnini pa plastnat (30-45 cm) sivkasto črn srednjernat dolomit.

Četrti horizont (sl. 5) je sestavljen iz črne premogove substance, ki je zelo nepravilno razporejena v modrikasto in zelenkasto sivi skrilavi premogovi glini. Debel je 60 centimetrov. Premoga je okoli 25 %. V premogovi glini so redki do 1,5 cm debeli dokaj zaobljeni prodniki zrnatega bituminoznega dolomita in glinovca. Konkordantno in z ostro nepravilno ploskvijo na premogu leži rjavo siv stromatolitni dolomit.

Med premogonosne plasti štejemo tudi 7,5 m debel **pas postopnega prehoda** med srednjeliasnim dolomitom in zgornjeliasnim marogastim apnencem. Pas postopnega prehoda pričenja z 0,5 m debelim sivim ploščastim (1-5 cm) stromatolitnim apnencem. Bazalni del stromatolitnega apnenca, je mestoma rožnat do rožnatordeč in ponekod močno dolomitiziran. Navzgor sledi v debelini 1 m debeloplastnat, siv, v bazalnem delu rožnat, izredno močno dolomitiziran pasnat in stromatoliten apnenec. Na njem leži 25-50 cm debela plast sivkasto črnega do črnega zrnatega bituminoznega gomoljastega dolomita z do 1,5 cm velikimi korozijskimi votlinami. Navzgor sledi najprej 0,5 m debel paket sivkasto črnega drobnozrnatega ploščastega in plastnatega (2-30 cm) apnenca, nato pa 0,5 m debel interval sivkasto črnega plastnatega 10-30 cm mikritnega apnenca. Dolomit (3 m), ki leži nad opisanim apnencem, je olivno siv do sivkasto črn, ploščast in tanko plastnat (5-20 cm) srednjezrnat in močno bituminozen. Premogonosne plasti se zaključujejo z 1 m debelim paketom temno rjavega in sivkasto črnega ploščastega in plastnatega (2-25 cm) zrnatega močno bituminoznega „satastega“ dolomita z do 10 cm debelimi lečami premoga. Gre za peti in zadnji horizont premoga (Sl. 5) v obravnavanem sedimentnem zaporedju.

Kamenine v pasu postopnega prehoda uvrščamo dogovorno k srednjeliasnemu zaporedju po načelu, da spada pas postopnega prehoda k tisti formaciji, ki je bolj pestra.

Marogasti apnenec

Gre za formacijo sivega temno sivega in sivkasto črnega mikritnega in drobnozrnatega ploščastega (5-10 cm) in plastnatega (10-35 cm, redko 45-60 cm) mikritnega apnenca z bolj ali manj pogostnimi rumenkastimi glinastimi in laporastimi lisami. Nekatere lise so nastale pri poznodiagenetski dolomitizaciji prvotnega apnenca zaradi različne mineraloške in kemične sestave. V vrhnjem delu 120 m debele skladovnice marogastega apnenca je nekaj 5 do 12 metrov debelih vložkov debeloplastnatega debeložrnatega (40-60 cm) rjavo do srednje temno rjavega zrnatega bituminoznega dolomita. V apnencu opazujemo številne vodoravne stilolitne šive. Po šivih, ki jih sledimo vertikalno v plasteh na vsakih 5 do 10 cm, je napredovala poznodiagenetska dolomitizacija, kar je zrahljalo kamenino do te mere, da je prvotno plastnata kamenina razpadla na plošče. V formaciji pretežno mikritnega marogastega apnenca sta v obravnavanem profilu precej pogostna tudi pasnati in stromatolitni apnenec. Pasnato v kamenini nastopa predvsem zaradi različne vsebnosti organskih snovi (beli, svetlo do temno rjavi, črni pasovi) in zaradi razlik v zrnivosti posameznih pasov ter zaradi različne stopnje in vrste diageneze (svetlo in temno rjavi pasovi). Značilnost formacije marogastih apnencev je tudi, da je izredno revna s fosili. V teh apnencih zasledimo ponekod nedoločljive organske ostanke.

Tabela 1. Kemična sestava premoga v profilu Pekel-Lapinje (Kočevska Mala gora, južno od Oneka) in na območju Belih vod (Goteniška gora, sl. 1)

Table 1. Chemical composition of the coal in the cross-section Pekel-Lapinje (Kočevska Mala gora, S of Onek) and at Bele vode (Goteniška gora, fig. 1)

Koordinate Coordinates	x = 5057,999 y = 5471,710	x = 5045,260 y = 5498,370		
Nahajališče Locality	Bele vode	Južno od Pekla South of Pekel		
Vzorec Sample	737/4, 8, 11	6334/2	6334/5	6334/7
Vlaga celotna % Total moisture	17,75	8,82	15,28	7,15
Pepel - Ash %	30,09	80,30	66,82	84,25
Gorljive snovi % Combustible matters	52,17	10,88	17,90	8,60
Žveplo celotno % S total	1,37	0,19	0,50	0,27
Žveplo v pepelu % S in ash	1,08	0,06	0,19	0,16
Žveplo gorljivo % S combustible	0,29	0,13	0,31	0,11
Zgornja kal. vrednost Upp. calorific value kcal/kg	3402 = 13,24 MJ/kg			
Spodnja kal. vrednost Lower cal. value kcal/kg	3116 = 13,04 MJ/kg			

Opomba: Kalorične vrednosti so določene kalorimetrično, razen pri tistih vzorcih, ki v kalorimetrovski bombi ne zgoravajo.

The calorific values are defined calorimetric, except those samples, which do not burn out in the calorimetric bomb.

Kemična sestava premoga

V geološkem profilu Pekel-Lapinje v južnozahodnem delu Kočevske Male gore je zaporedje kamnin (sl. 6), ki po stratigrafski legi in litološki sestavi pripadajo srednjemu liasu.

Na tej lokaciji je v dolomitu okrog 2,25 m debel vložek zgoraj plastnatega spodaj

ploščatega apnenca. Na kontaktu med apnencem in dolomitom je okoli 20 cm debel vložek temno sivega premogovega skrilavca in gline s sledečo kemično sestavo, ki je prikazana na tabeli 1.

Sedimentacijsko okolje

V literaturi se z območja Tetide pogosto omenja reto-liasno premogovo obdobje s številnimi pojavi in ležišči premoga. Vendar na območju Dinarske karbonatne platforme v retiju ni bilo pogojev za nastajanje premoga. Epirogenetska premikanja in s tem v zvezi plitvenje morja sta se sicer povečala do te mere, da so nekatera medplimska področja postala za krajši čas kopno, na katerem sta se vršila le zakrasevanje in erozija. Šele koncem retija oziroma na začetku jure je prišlo do pojavov vlažne klime in z njo tudi do pospešnega razvoja kopenske in močvirne flore ter nastajanja premoga. V ugodnih klimatskih pogojih in naglemu razvoju rastlin na eni strani in obstoju številnih plitvodnih bazenov oziroma lagun na drugi strani, je prišlo do večkratne akumulacije rastlinskega materiala v karbonatno blato in do nastajanja premogišč. Kolebanja nivoja vode v laguni so bila posledica epizodičnih sprememb v hidrosferi in zlasti pojačanih premikanj in procesov v litosferi (subsidenca). Močvirna gozdna facija, kot matična facija za nastanek premogovih slojev, je bila vezana za priobalno zono. Sedimentacija v laguni je bila odvisna od razmerja treh gradientov: (1) nanosa rastlinskega materiala, (2) nastajanja karbonatov in (3) subsidence. V intervalih, ko je bil gradient donosa rastlinskega materiala visok in klimatski pogoji ugodni, je prihajalo do nastajanja slojev premoga. V trenutku ko je gradient donosa rastlinskega materiala bil manjši od gradienta subsidence je nastajanje premogovih slojev bilo prekinjeno. Na premogove sloje se je odložilo karbonatno blato. Nato so sledili diagenetski in metamorfni procesi v odloženih sedimentih.

Korelacija liasnih plasti južnovzhodne Slovenije

Premogonosne liasne plasti Kočevskega Roga primerjamo z liasnimi plastmi Male gore (sl. 9), Kočevske Male gore (sl. 6 in 7), Suhe krajine (sl. 8) in Bele krajine, to je tistih predelov Dinarske karbonatne platforme v južnovzhodni Sloveniji, ki ležijo v neposredni bližini Kočevskega Roga, oziroma ga obdajajo. Že na prvi pogled opazimo veliko sorodnost liasnih profilov naštetih lokalnosti. V spodnjem delu liasnega intervala je razvit zrnat, pretežno ploščast in močno bituminozen dolomit. V srednjem delu karbonatne skladovnice je nad prvim litiotidnim horizontom en ali več horizontov premoga, premogovega skrilavca in gline. V krovlini premogonosnih plasti je ploščast in plastnat zgornjeliassni marogasti apnenec.

Stratigrafski stolpec liasnih plasti v profilu G. Retje - Bukovec pri Poljanah na Mali gori (sl. 9) je dokaj enak zgoraj naštetim. To velja zlasti za njegov spodnji in zgornji del, ki ga sestavljata zrnat bituminozni dolomit oziroma marogasti apnenec. Opazna razlika nastopa v srednjem delu liasnega zaporedja Male gore, kjer se v najspodnjem, srednjem in zlasti vrhnjem delu pojavlja oolitni apnenec. Tako apnenec kot dolomit sta bogata z makro in mikrofosili. Glavna razlika je v tem, da liasne plasti, ki gradijo Malo goro, ne vsebujejo premoga.

Še najbolj drugačen je stratigrafski stolpec liasnih plasti Suhe krajine (sl. 8), ki ga v spodnjem delu predstavljajo Krkini apneneci (D o z e t, 1993). Tu pretežno gre za de-

beloplastnate, črne, biomikritne, oomikritne, intrasparitne in biointrasparitne apnenec z vložki intraformacijskih breč in konglomeratov, fenestralnih apnenecv, stromatolitnih apnenecv ter tu in tam dolomitov. Našteti sedimenti kažejo izrazite značilnosti plitvomorske sedimentacije in so nastajali v podplimskem, medplimskem in nadplimskem pasu. Vsebujejo spodnjeliasno favno in floro, najbolj pogostne v njih pa so alge in foraminifere. V spodnjeliasnih apnencih so med drugim določene alge *Palaeodasycladus mediterraneus* Pia, *Palaeodasycladus elongatus* Praturlon in *Linoporella lucasi* Gros & Lemoine. Srednjeliasna sedimentacija v profilu Podbukovje (Krka) - M. Korinj (sl. 8) je precej bolj pestra kot spodnjeliasna. Sedimentno zaporedje srednjeliasnega intervala sestoji iz temno in srednje temno sivih, zrnatih, bituminoznih dolomitov, intraformacijskih dolomitnih breč, biopelmikritnih, oosparitnih, oointrasparitnih ter litiotidnih in megalodontidnih apnenecv. V najspodnjem delu obravnavanega zaporedja sedimentov so čisti in apnenčevi dolomiti z vložki intraformacijskih dolomitnih breč. Dolomiti so debelokristalasti, torej poznodiagenetski. Včasih vsebujejo precej drobnih organskih ostankov. Megalodontidni apnenci so redki. Litiotidni apnenci se pojavljajo v zgornjem delu srednjeliasne skladovnice. V strukturnem pogledu pripadajo biomikritom, kjer so v temno sivem do sivkastočrnem apnenem mulju nakopičene številne litiotide, ki jih tu in tam spremljajo megalodontide in foraminifere. V litiotidni faciji se pojavljata biostromalni in grebenski tip sedimentacije, zrnati apnenci in dolomiti pa so se odlagali v podplimskem, medplimskem in nadplimskem okolju. Zgornjeliasni interval (sl. 8) predstavlja formacija marogastih apnenecv za katero je v Suhi krajini značilno, da je debela le nekaj deset metrov. Sestoji iz ploščastih (3-10 cm) in plastnatih (15-45 cm) temno sivih, sivkasto črnih in črnih pretežno mikritnih, lisastih, pogosto tudi gomoljastih apnenecv. Apnenci so tu in tam nekoliko dolomitizirani in vsebujejo redke, nekaj metrov debele vložke rjavkasto sivega zrnatega dolomita. V strukturnem pogledu pripadajo najpogosteje mikritu in pelmikritu. Ponekod vsebujejo intraklaste ter limonitizirane ootide in onkoide. S fosili so zelo revni, kar kaže na to, da so se tvorili v okolju, ki je bilo neugodno za žive organizme. Opisano zaporedje sedimentov je po stratigrafski legi sodeč zgornjeliasne starosti. Leži namreč med litiotidnimi apnenci, ki so srednjeliasne starosti, in oolitnimi apnenci z doggersko favno.

Zaključek

Zaporedje srednjeliasnih karbonatnih kamenin v Kočevskem Rogu, ki pripada Dinarski karbonatni platformi, vključuje v več nivojih tudi tanke sloje in leče premoga. Osnovna značilnost slojev in leč premoga je majhna in nestalna debelina, ki se giblje od 60 cm do popolne izklnitve. Material za premog poteka od kopenske in močvirske vegetacije. Glede na število odkritih pojavov premoga sklepamo, da so za razvoj močvirske vegetacije bili dani najboljši pogoji v srednjem liasu. Pri spodnjeliasnih premogih je šlo predvsem za alohtono kopičenje oziroma akumulacijo rastlinskega materiala. Transport materiala se je vršil s pomočjo vodnih tokov, drobnejši in odpornejši material (polen, spore) pa z vetrom. Majhne debeline slojev premoga govore, da ni bilo bujnega avtohtonega rastlinstva temveč da je le-ta prihajal v bazen z rečnimi tokovi. Srednjeliasna premogišča so majhna. Lokalno so jih izkoriščali v preteklosti, danes pa nimajo nobenega pomena za gospodarstvo.

Zahvala

Za določitev litiotidnih školjk se avtor najlepše zahvaljuje magistri Ireni Debeljakovi.

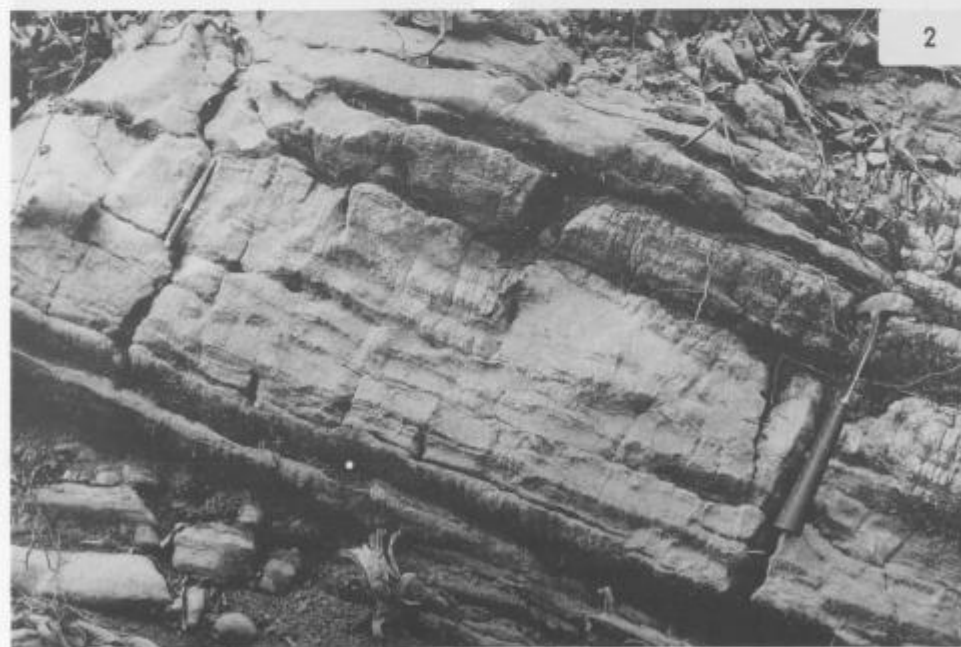
References

- Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjarić, M. & Čakalo, M. 1984: Tumač za list Črnomelj. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Savezni geološki zavod, 63 str., Beograd.
- Buser, S. 1965 a: Stratigrafski razvoj jurskih skladov na južnem Primorskem, Notranjskem in zahodni Dolenjski. Disertacija. - Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana, 101 str., Ljubljana.
- Buser, S. 1965 b: Tolmač k Osnovni geološki karti SFRJ list Ribnica 1:100 000. - Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana, 255 str., Ljubljana.
- Buser, S. 1974: Tolmač lista Ribnica. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. - Zvezni geološki zavod, 60 str., Beograd.
- Buser, S. & Debeljak, I. 1994/95: Lower Jurassic beds with bivalves in south Slovenia. - *Geologija*, 37,38, 23-62, Ljubljana.
- Debeljak, I. & Buser, S. 1998: Lithotid bivalves in Slovenia and their mode of life. - *Geologija*, 40, 11-64 (1997), Ljubljana.
- Dozet, S. 1980: Jurske plasti na Kočevskem in južnovzhodnem Notranjskem. - *Rud. met. zbornik*, 27/4, 443-458, Ljubljana.
- Dozet, S. 1982: Stratimetrijske raziskave Zunanjih Dinaridov, Gorski kotar-Kočevska. - Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana, 37 str., Ljubljana.
- Dozet, S. 1983: Tolmač za list Delnice. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. - Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana, 109 str., Ljubljana.
- Dozet, S. 1989: Tektonska premikanja na Kočevskem v mlajšem paleozoiku in mezozoiku (južna Slovenija). *Rud. met. zbornik*, 36/4, 663-673, Ljubljana.
- Dozet, S. 1990: Biostratigrafska razčlenitev jurskih in spodnjekrednih plasti Kočevske in Gorskega kotarja. - *Rud. met. zbornik*, 37/1, 3-18, Ljubljana.
- Dozet, S. 1992a: Litostratigrafija, sedimentacijsko okolje in geokemija jurskih plasti na listu Delnice. - *Rud. met. zbornik*, 39/1-2, 193-203, Ljubljana.
- Dozet, S. 1992b: Litostratigrafske enote in značilne mikrofacije kočevske jure. *Rud. met. zbornik*, 39/3-4, 287-305, Ljubljana.
- Dozet, S. 1993: Lofers cyclothems from the Lower Liassic Krka limestones. - *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, 99/1, 81-100, Milano.
- Dozet, S. 1996: Foraminiferal and algal biostratigraphy of the Jurassic beds in southeastern Slovenia. - *Rud. met. zbornik*, 43/1-2, 3-10, Ljubljana.
- Dozet, S. & Šribar, L. 1981: Biostratigrafija jurskih plasti južno od Prezida v Gorskem kotarju. - *Geologija*, 24/1, 109-126, Ljubljana.
- Dunham, R.J. 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. - In W.E. Ham (ed.), *Classification of carbonate rocks*. - AAPG Memoir, 1, 108-121, Tulsa.
- Folk, R. 1949: Practical petrographic classification of limestones. - *Bull. Americ. Assoc. Petrol. Geol.*, 43/1, 2-38, Tulsa.
- Savič, D. & Dozet, S. 1985 a: Osnovna geološka karta SFRJ, list Delnice. - Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Savič, D. & Dozet, S. 1985 b: Tolmač za list Delnice L 33-90, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. - Zvezni geološki zavod, 66 str., Beograd.

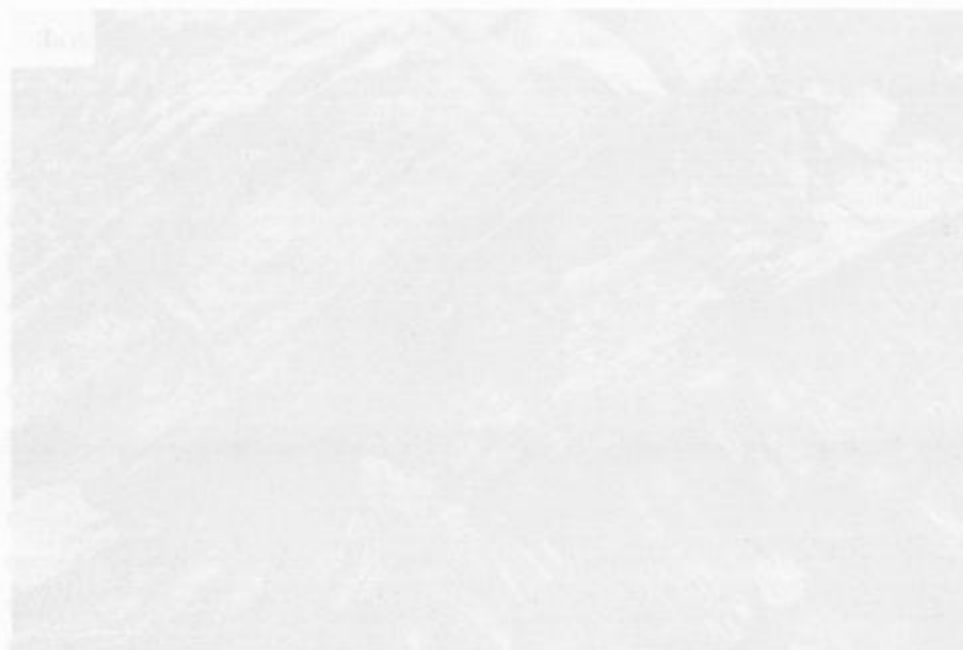
Plate 1 - Tabla 1

1, 2 Selektivna poznodiagenetska dolomitizacija premogonosnega ploščastega in plastnatega mikritnega apnenca z intrasparitnimi ter stromalinitnimi pasovi in redkimi stiloliti.

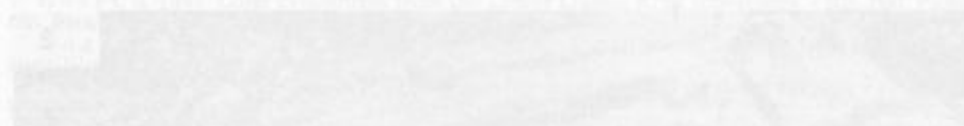
Selective late diagenetic dolomitization of the coal-bearing platy and stratified micritic limestone with intrasparitic and stromatolitic laminae and rare stylolites.



Školjke



Slika 2. Školjke, dolomit, srednji liasijski horizont



Slika 3. Premog, dolomit, srednji liasijski horizont

Plate 2 - Table 2

- 1 Lithiotidne školjke ? *Lithioperna* sp. in *Cochlearites* sp. v srednjeliasnem zrnatem bituminoznom dolomitu
Lithiotid bivalves ? *Lithioperna* sp. and *Cochlearites* sp. in the Middle Liassic grained bituminous dolomite
- 2 Prvi horizont s tremi sloji premoga v srednjeliasnem ploščastem in plastnatem zrnatem bituminoznom dolomitu
The first horizon with three coal seams in the Middle Liassic platy and stratified grained bituminous dolomite
- 3, 4 Drugi horizont premoga v poznodiagenetskem ploščastem in plastnatem zrnatem bituminoznom dolomitu
The second horizon of coal in the late diagenetic platy and stratified grained bituminous dolomite
- 5 Tretji horizont premoga v debeloplastnatem zrnatem bituminoznom dolomitu
The third horizon of coal in the thick-bedded grained bituminous dolomite
- 6 Premog med spodaj ležečim plastnatim zrnatom bituminoznim dolomitom in zgoraj ležečim pasnatim mikritnim apnencem
The coal between underlying stratified grained bituminous dolomite and overlying laminated micritic limestone



Vunduški peščenjak namesto ptujskogorski peščenjak - zahodne Haloze

The Vundušek sandstone instead of the Ptujška Gora sandstone in western Haloze

Bogoljub Aničič

Geološki zavod Slovenije
Dimičeva 14, 1001 Ljubljana, Slovenija

Anton Ramovš

Katedra za geologijo in paleontologijo
Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: ptujskogorski peščenjak, vunduški peščenjak, miocen, zahodne Haloze, Slovenija.

Key words: Ptujška Gora sandstone, Vundušek sandstone, Miocene, western Haloze, Slovenia

Kratka vsebina

Ptujskogorski peščenjak je dobil ime po Ptujski Gori, kjer leži tudi cerkev Matere Božje, v katero so bili vgrajeni izdelki iz omenjenega peščenjaka. Ker na širšem območju Ptujške Gore prevladuje badenijski lapor, meniva, da to ime ni primerno za geološko terminologijo. Kamnolomi peščenjaka se nahajajo približno 4 km južno od Ptujške Gore v dolini potoka Vundušek in zaradi tega predlagava, da se ptujskogorski peščenjak preimenuje v **vunduški peščenjak**.

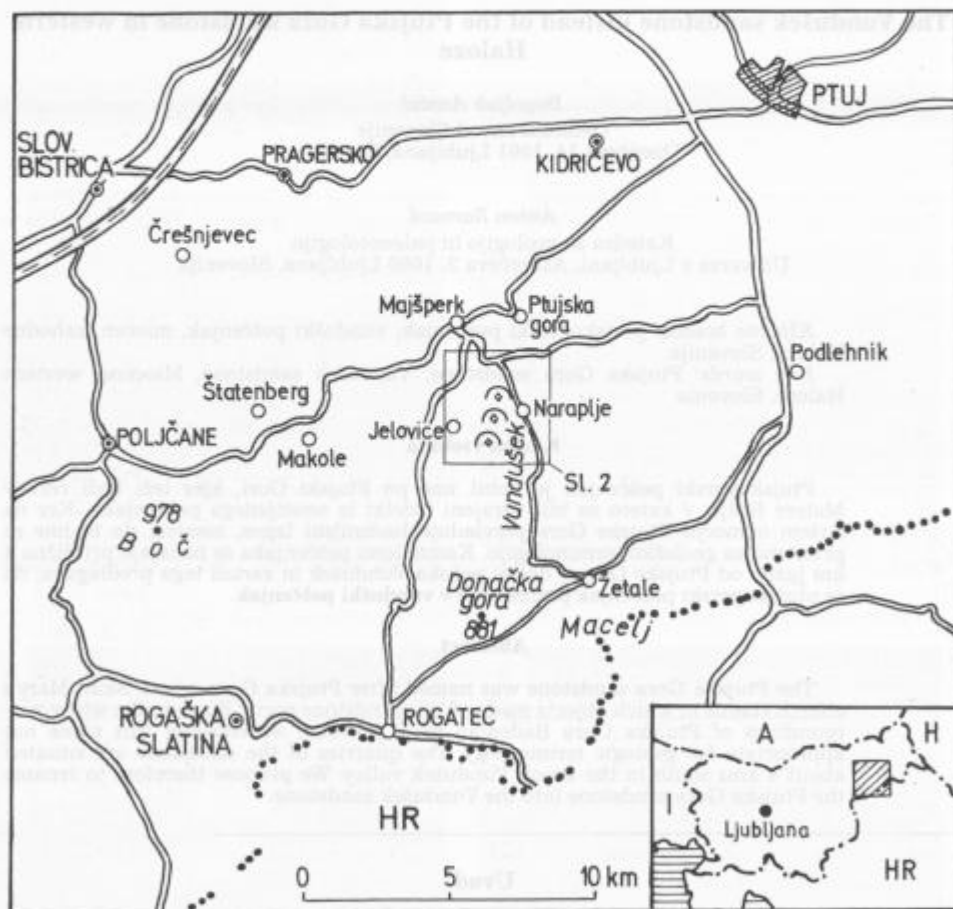
Abstract

The Ptujška Gora sandstone was named after Ptujška Gora where Saint Mary's church stands in which objects made of this sandstone occur. Since in the wider surroundings of Ptujška Gora Badenian marl prevails, we consider this name not appropriate for geologic terminology. The quarries of the sandstone are situated about 4 kms south in the brook Vundušek valley. We propose therefore to rename the Ptujška Gora sandstone into the Vundušek sandstone.

Uvod

Med gradbenimi in okrasnimi slovenskimi kamni se je že kar udomačilo ime ptujskogorski peščenjak. V osmi številki Geološkega zbornika, posvečenega arhitektonsko gradbenemu kamnu v Sloveniji in njegovi uporabi, je zanj naslednja razlaga: „Ptujskogorski peščenjak, ki je dobil ime po Ptujski Gori, dobimo blizu Majšperka,

nedaleč od ceste Neraplje-Žetale pri Bolfenku in Čretniku v Zadnički grabi. Je srednjemiocenske helvetijske starosti. Peščenjak je v tanjših plasteh med peščenimi laporji ali kot debelejša skladovnica v zgornjem delu laporja. Kamnina je siv, zelenkasto siv do olivno siv drobnozrnat kremenov peščenjak. Sestavljajo ga kremen, sljuda in drobci dolomita, magmatskih in metamorfni kamnin. Iz ptujskogorskega peščenjaka so narejeni stebri in portali ter stopnišče cerkve na Ptujski Gori, nadalje spodnji del Florjanovega znamenja v Ptuj in Florjansko znamenje na Grajskem trgu v Mariboru. Ta peščenjak so uporabili v Mariboru pri gradnji starega železniškega mostu, kamnitega cestnega mostu čez Dravo, pri stolnici in pri zidovih ter portalih gradov Vurberg, Ravno polje, Goričko in Štatenberg“ (B u s e r et al., 1987, 38).



Sl.1. Položaj nahajališča vunduškega peščenjaka

Fig.1. Location of Vundušek sandstone

V knjižici Naravni kamen: Kamnarsko geološki leksikon piše o ptujskogorskem peščenjaku: „Po Ptujski Gori pri Ptujju imenovani sivi, zelenkasto do olivno sivi drobnozrnati miocenski peščenjak. Veliko ga je v okolici Majšperka. Iz njega so npr. stebri, portali in stopnišče pri cerkvi na Ptujski Gori, uporabili so ga za gradnjo starega železniškega in cestnega mostu v Mariboru, za več gradov in drugo.“ (V e s e l et al., 1992, 70).

Po imenu ptujskogorski peščenjak sodeč naj bi bila Ptujška Gora s hribovitim ozemljem med Polskavo na severu in Dravinjo na jugu iz srednjemiocenskega helvetijskega peščenjaka. V resnici pa je vse to ozemlje predvsem iz badenijskega laporja z redkimi peščenimi vložki, delno tudi iz ottangijskega in karpatijskega peščenega laporja ter sarmatijskega laporja in peska. Na grebenu, kjer stoji tudi ptujskogorska cerkev, prevladujejo badenijske laporne plasti, ki se vlečejo od Pečk na zahodu do Zg. Pristave na vzhodu (Ž n i d a r č i č & A n i č i č, 1995, 76). Vsi izdelki, imenovani v omenjenih publikacijah, niso iz ptujskogorskega kamna. Zato tudi med geologi napačno udomačeno ime ptujskogorski peščenjak ni pravilno.

Peščenjak je bil poleg gradnje cerkve na Ptujski Gori uporabljen še pri graditvi številnih sakralnih in drugih objektov na širšem območju Haloz, Ptujja in vse tja do Maribora. Pridobivali so ga v več kamnolomih, v glavnem na levem pobočju Vunduškega potoka. Potok se severno od naselja Naraplje izliva v Jesenico, ta pa pri Stanečki vasi v Dravinjo. Kamnolomi tega kamna so zahodno od vasi Naraplje, približno štiri kilometre južno od Ptujške Gore in južno od aluvijalne ravnice Dravinje (sl. 1).

Geološki okvir vunduškega peščenjaka

Ozemlje, kjer izdanja vunduški peščenjak, pripada zahodnim Halozam, ki imajo drugačno kamninsko sestavo kot ozemlje med Polskavo in Dravinjo, kjer leži tudi Ptujška Gora. Uvrščamo ga v Južne Karavanke, ki se preko Boča nadaljujejo v Haloško antiklinalo, tu in tam z manjšimi gubami in prelomi. Haloze sestavljajo terciarne kamnine večinoma ottangijske in karpatijske (helvetijske) starosti. V spodnjem delu prevladujejo laporji, peščeni laporji in glinovci. Više se ponekod menjavata peščenjak in lapor. V zgornjem delu ottangija in v karpatiju so v severnem delu Haloz ponekod konglomerati in peščenjaki, peščenjak prevladuje. Konglomerat sestavljajo kremenovi, apnenčevi in dolomitni prodniki ter prodniki magmatskih in metamorfnih kamnin, povezuje pa jih glineno ali peščeno vezivo. Peščenjak se pogosto menjava s tankimi konglomeratnimi vložki. V peščenjaku prevladujejo kremenova zrna, drobci različnih karbonatnih, vulkanskih in metamorfnih kamnin, zlepljeni s kremenovim in karbonatnim vezivom. Med peščenjakovimi plastmi so tudi tanke pole laporja, glinene laporja ali glinovca (A n i č i č & J u r i š a, 1985).

Vunduški peščenjak kot gradbeni kamen

Peščenjak v dolini Vunduškega potoka in na njegovem levem pobočju so lomili v več kamnolomih, povsod pa ima približno enake značilnosti. Je sivo zelen, različki z več glinenih mineralov pa so rjavorumenkasti. Peščenjakove plasti so debele od nekaj centimetrov do dveh metrov, ponekod celo dva in pol metra. Med skladi so tu in tam do deset centimetrov debele pole laporja, glinene laporja ali glinovca. Produktivna

skladovnica je debela od 35 do 50 m in predstavlja velikanske rezerve naravnega okrasnega kamna. V njenem vrhnjem delu se običajno konča s tanko plastnatim peščenjakom.

V peščenjaku in drobnozrnatem konglomeratu je pogostna postopna zrnavost. Spodnje dele konglomerata sestavljajo drobni kremenovi, apnenčevi in dolomitni prodniki, ter bolj poredko prodniki magmatskih in metamornih kamnin, debeli do pet milimetrov. Navzgor postajata konglomerat in peščenjak bolj drobnozrnata.

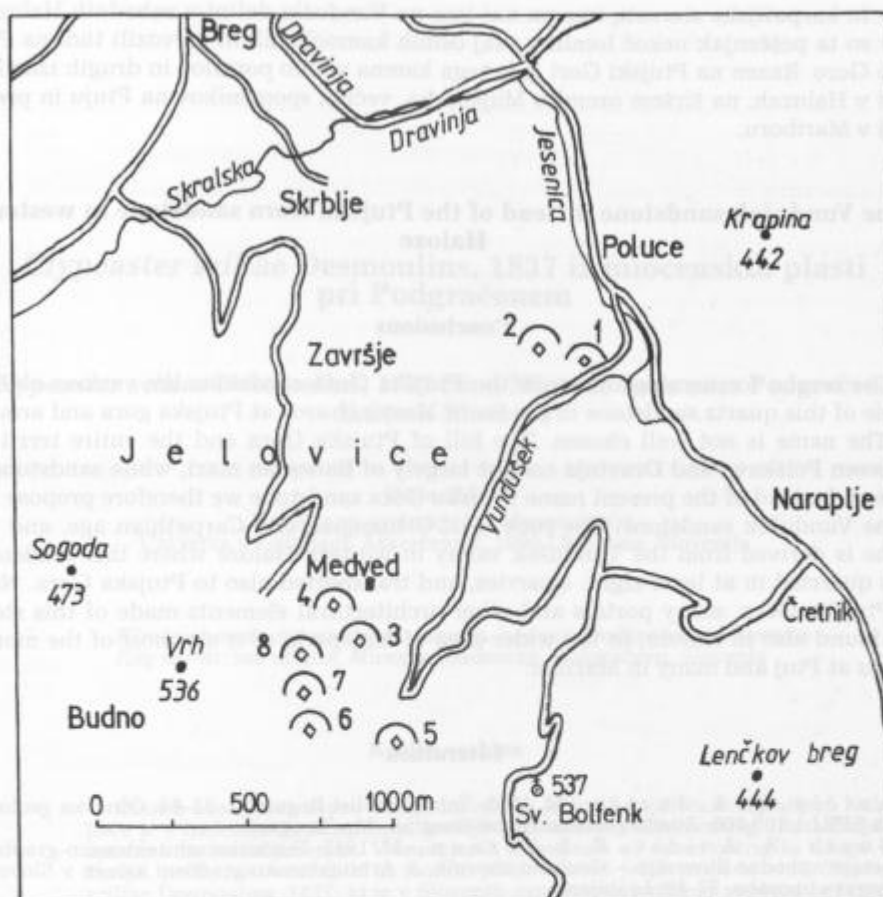
V kamnolomih so skladi v normalnem položaju, niso zgubani, v njih tudi ni večjih zdrobljenih con. So le manjši prelomi in ob njih razpokane plasti.

Vsi pregledani vzorci peščenjaka imajo približno enako sestavo. Prevladujejo detritična zrna. Najbolj pogosten je kremen (40 do 60 %), za njim dolomit (8 do 20 %) in muskovit (2 do 7 %) manj pa je drobcev apnenca, roženca, biotita, glincev, neprosojnih mineralov, ter metamornih in vulkanskih kamnin (manj kot 5 %). Glede na sestavo ga lahko poimenujemo kremenov ali dolomitno kremenov peščenjak (K o v i č, 1988). Kemične analize so dale naslednje odstotne vrednosti: SiO_2 niha od 50,80-64,05 % (najbolj pogosto je ta vrednost od 61 do 63 %); Al_2O_3 od 6,08-10,09; Fe_2O_3 od 3,70-5,56; CaO od 6,53 do 10,79; MgO od 3,09 do 3,75; SO_3 od 1,58 do 3,06; TiO_2 od 0,47 do 0,72; Na_2O 0,68 do 0,94; K_2O od 0,82 do 1,47 in žarizguba od 9,59 do 13,70 (J e r š e, 1989). Silikatna analiza je bila narejena v laboratoriju RRPS v Trbovljah.

Kamnolomi v dolinu Vundušek

V dolini Vundušek in na njenem levem pobočju je osem večjih ali manjših kamnolomov (sl. 2.), ki pa so opuščeni. Vsi leže na ozemlju, ki pripada vasi Jelovice. Le v občinskem kamnolomu občasno še lomijo kamen za tehnično gradbene namene, kadar so npr. potrebna nasipavanja cest in zasipavanja pri poplavih in pri podobnih sanacijah. Naslednjih osem kamnolomov je še dobro ohranjenih.

1. Brglezov kamnolom je blizu Brglezove domačije, v spodnjem delu doline Vundušek in nedaleč od sotočja potokov Vundušek in Jesenice. Kraj ima domače ime Poluce.
2. Gojkovičev kamnolom je od 150 do 200 m v hribu severnozahodno od Brglezovega kamnoloma, pod domačijo Parkelj.
3. Verjetno največji kamnolom na tem območju je občinski kamnolom. Nahaja se približno 1,5 do 1,7 km od odcepa ceste za dolino Vundušek od glavne občinske ceste Majšperk-Žetale. Do njega pelje slaba makadamska cesta 150 do 200 m iz doline Vundušek proti domačiji Medvedovih. Ta kamnolom občasno še obratuje.
4. Medvedov kamnolom je dobrih 150 m od občinskega kamnoloma in v neposredni bližini Mevedove domačije.
5. Korazov kamnolom leži okoli 100 m od ostrega ovinka v dolini Vundušek, preden se cesta začne vzpenjati proti Sv. Bolfenku.
6. Furmanov kamnolom je v grapi, ki poteka iz doline Vundušek proti Vrhu 536 m in domačiji Budno, 200 do 300 m od glavne ceste pred ostrim ovinkom, kjer se cesta začne vzpenjati proti Sv. Bolfenku.
7. Pruh pri krmišču za gozdne živali. Kamnolom leži kakih 100 m severno od Furmanovega kamnoloma.
8. Purgov pruh je v isti dolinici kot prejšnji in sicer ob potoku kakih 150 m navzgor.



Sl. 2. Položaj opuščenih kamnolomov vunduškega peščenjaka
 1 - Brglezov kamnolom, 2 - Gojkovičev kamnolom, 3 - Občinski kamnolom,
 4 - Medvedov kamnolom, 5 - Korazov kamnolom, 6 - Furmanov kamnolom,
 7 - Pruh pri krmišču, 8 - Purgov pruh

Fig. 2. Location of abandoned quarries of Vundušek sandstone
 1 - Brglez quarry, 2 - Gojkovič quarry, 3 - Community quarry,
 4 - Medved quarry, 5 - Koraz quarry, 6 - Furman quarry,
 7 - Pruh pri krmišču, 8 - Purgov pruh

Sklep

Izdelki iz kremenovega peščenjaka v cerkvi Matere Božje na Ptujski Gori in ob njej so bili vzrok, da so kamen poimenovali kar ptujskogorski peščenjak. Ime pa ni posebej primerno. Ptujška Gora in vse ozemlje med Polskavo in Dravinjo je namreč večji del iz badenijskega laporja in tam ni kremenovega peščenjaka. Namesto dosedanjega imena ptujskogorski peščenjak predlagava zato ime **vunduški peščenjak**. Je otnagi-

jske in karpatijske starosti, ime pa naj ima po Vunduški dolini v zahodnih Halozah, kjer so ta peščenjak nekoč lomili v vsaj osmih kamnolomih in ga vozili tudi na Ptujsko Goro. Razen na Ptujski Gori je iz tega kamna veliko portalov in drugih izdelkov tudi v Halozah, na širšem ozemlju Majšperk, večina spomenikov na Ptuj in precej tudi v Mariboru.

The Vundušek sandstone instead of the Ptujška Gora sandstone in western Haloze

Conclusions

The reason for naming the stone the Ptujška Gora sandstone are various objects made of this quartz sandstone in the Saint Mary's church at Ptujška gora and around it. The name is not well chosen. The hill of Ptujška Gora and the entire territory between Polskava and Dravinja consist largely of Badenian marl, while sandstone is absent. Instead of the present name Ptujška Gora sandstone we therefore propose the name Vundušek sandstone. The rock is of Oligocene and Carpathian age, and the name is derived from the Vundušek valley in western Haloze where this sandstone was quarried in at least eight quarries, and transported also to Ptujška Gora. Next to Ptujška Gora, many portals and other architectural elements made of this stone are found also in Haloze, in the wider area of Majšperk, of it are most of the monuments at Ptuj and many in Maribor.

Literatura

- Aničić, B. & Juriša, M. 1985: Tolmač za list Rogatec L 33-68. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Zvezni geološki zavod Beograd, 76p, Beograd.
- Buser, S., Aničić, B. & Terzan, M. 1987: Terciarne arhitektonsko-gradbene kamenine vzhodne Slovenije. - Geološki zbornik, 8, Arhitektonsko gradbeni kamen v Sloveniji in njegova uporaba, 37-40, Ljubljana.
- Jerše, Z. 1989: Poročilo o geoloških raziskavah litavskega apnenca severno od Maribora (nahajališa Vundušek, Pečice in Hrastovec). - Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana.
- Kovič, P. 1988: Poročilo o petrografski preiskavi vzorcev sedimentnih klastičnih kamnin iz jeder vrtn V-2 in V-3 - Vundušek. - Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana.
- Vesel, J., Strmole, D., Senegačnik, A., Pavšič, J. & Pavlovec, R. 1992: Naravni kamen: Kamnarsko-geološki leksikon. - Geološki zavod - Institut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Združenje slovenske kamnarske industrije, Odsek za geologijo, FNT Ljubljana, 100p, Ljubljana.
- Znidarčič, M. & Aničić, B. 1995: Geološke razmere med Halozami in Slovenskimi Goricami. - Geološki zbornik, 10, 76, Ljubljana.

Clypeaster scillae Desmoulins, 1837 iz miocenskih plasti pri Podgračnem

Clypeaster scillae Desmoulins, 1837 from Miocene beds near Podgračeno, Eastern Slovenia

Vasja Mikuš

Katedra za geologijo in paleontologijo,
Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: morski ježek, miocen, badenij, Podgračeno, Slovenija
Key words: sea urchin, Miocene, Badenian, Podgračeno, Slovenia

Kratka vsebina

Članek obravnava nepravilnega morskega ježka iz najdišča Podgračeno. Nahajališče je v badenijskih skladih, ki sestojijo iz lumakele velikih ostrig, litotamnijskega apnenca in biokalkarenita. V omenjenih kamninah so razen ostrig še druge vrste školjk, polži, raki vitičnjaki in morski ježki. Morski ježek pripada vrsti *Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837, ki je v Sloveniji razmeroma redka in najdena le še na nekaj krajih. Po literarnih podatkih je omenjena vrsta pogostna v spodnje in srednjemiocenskih plasteh Tetide ter v badenijskih plasteh Paratetide.

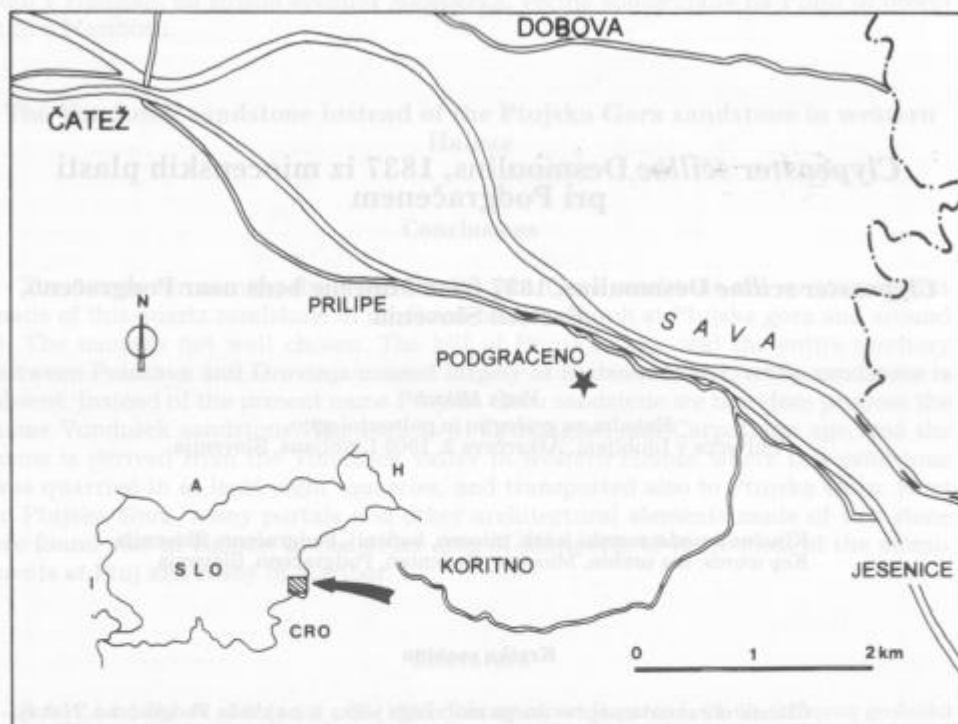
Abstract

In the paper, an irregular sea urchin from Podgračeno is considered. The locality occurs in Badenian beds that consist of lumachelles of large ostreae, lithothamnian limestone and biocalcareneite. Next to ostreae appear also other bivalve species, gastropods, barnacles and sea urchins. The fossil belongs to species *Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837, that is relatively rare in Slovenia, found only in a few localities. According to literature, the species is frequent in Lower and Middle Miocene beds of Tethys, and in Badenian beds of Paratethys.

Uvod

Pred nekaj leti smo si s študenti geologije na terenskih vajah ogledali tudi miocenske plasti pri Podgračnem (slika 1). Pri pregledovanju terena in iskanju fosilnih ostankov je študent Janez Maurer našel korono iregularnega morskega ježka, ki je za

najdišče pri Podgračnem prava redkost. V Sloveniji so primerki rodu *Clypeaster* najdeni še v okolici Šentilja, Laškega, Senovega, Podsrede, Kostanjevice, Čateža, Velike Doline in morda še kje.



Sl. 1. Položajna skica najdišča klipeastra.

Fig. 1. Location map of the *Clypeaster* find.

Dosedanje raziskave klipeastrov pri Podgračnem

Pisnih podatkov o raziskavah klipeastrov iz omenjenega najdišča ni. Pri večkratnem pregledovanju najdišča smo do sedaj našli le tri primerke. Primerek Janeza Maurerja pripada vrsti *Clypeaster scillae*, ki ima peterokotno, debelo in razmeroma nizko korono. Drugi primerek, ki ga je julija 1998 našel Gabrijel Fišer, dijak Gimnazije v Novi Gorici, pa je precej večji in ima visoko korono ter pripada drugi vrsti klipeastra. Podoben primerek je tudi v paleontološki zbirki Katedre za geologijo in paleontologijo v Ljubljani.

Š i k i ć et al., (1978) so na geološki karti pri Podgračnem označili tortonske organogene in bioklastične apnenice, peščenjake in laporje. V tolmaču (1979, 36) pa isti avtorji pišejo, da so plasti zgornjega tortona morske in transgresivne, pretežno obalne in plitvodne tvorbe.

Paleontološki del

(Sistematika po J. W. Durham, 1966)

- Classis Echinoidea Leske, 1778
- Subclassis Euechinoidea Bronn, 1860
- Superordo Echinacea Claus, 1876
- Ordo Clypeasteroidea A. Agassiz, 1872
- Subordo Clypeasterina A. Agassiz, 1872
- Familia Clypeasteridae L. Agassiz, 1835
- Genus *Clypeaster* Lamarck, 1801

Clypeaster scillae Desmoulins, 1837

Tab. 1, sl. 1a, 1b; Tab. 2, sl. 1

- 1906 *Clypeaster Scillae* Desmoulins - Lambert, 62, Pl. 6, Fig. 1, 2
- 1938 *Clypeaster scillae* Desmoulins 1837 - Poljak, 175, Tab. 2, sl. 3
- 1949 *Clypeaster scillae scillae* Desmoulins, 1837 - Kalabis, 33, Tab. 1, obr. 1-2
- 1958 *Clypeaster Scillae* Desmoulins - Imbessi Medile, 20, Tav. 3, figg. 3, 3a, 3b; Tav. 14, figg. 2, 2a; Tav. 15, figg. 1
- 1960 *Clypeaster scillae alienus* Vad. - Mitrović - Petrović, 125, Tab. 4, sl. 2; Tab. 5, sl. 1 i 1a
- 1984 *Clypeaster scillae* Desmoulins - Mitrović - Petrović, Pl. 12, Fig. 1, 1a, 1b
- 1993 *Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837 - Maczyńska, 110, Pl. 4, Figs 1a-1d; Pl. 5, Fig. 1
- 1995 *Clypeaster scillae alienus* - Pavlovec & Mikuš, 7, Sl. 6 in 7

Nahajališče: Podgračeno med Čateškimi Toplicami in Jesenicami na Dolenjskem.

Materiale: En razmeroma dobro ohranjen primerek iz grape južno od lokalne ceste, ki pelje v Ribnico na Dolenjskem in dalje proti Mali in Veliki Dolini.

Opis: Močna in nizka hišica je peterokotna, z zaobljenimi vogali in zadebeljenim robnim obodom. Aboralna stran je srednje izbočena z izrazitimi peterokrakimi ambulakri. Spredej so trije neparni, zadaj parna ambulakra. Ambulakri so skoraj enakih dolžin, sprednja parna sta nekoliko krajša. Na ambulakrih so na zgornjem usločenem delu pore okrogle, v spodnjem izbočenem pa ovalne do režaste. Med zgornjim in spodnjim delom ambulakra so številne ozke ambulakralne ploščice. Interambulakralni deli so pri vrhu korone ozki, proti robu pa se močno razširijo in nekoliko poglobijo. Vrh ali apeks je monobazalen, leži centralno, pri vrsti *Clypeaster scillae* je madreporit subpeterokoten in ima velik pomen pri razločevanju vrst in podvrst rodu *Clypeaster* (Mitrović - Petrović, 1995). Pri našem primerku madrepora ploščica ni ohranjena, ostala je samo njena zvezdasta odprtina. Oralna stran korone je na robovih ravna, v srednjem delu peristoma precej poglobljena, ustna odprtina je pokrita s sedimentom. Periprokt ali analna odprtina, ki je sicer na zadnjem robu, se ne vidi zaradi poškodovanosti korone. Na oralni strani so peterokrake in tanke ambulakralne brazde. Cela korona je prekrita z drobnimi granulami, na nekaterih mestih na gosto, drugod bolj poredko.

Dimenzije (Dimensions):

dolžina (length) = 100 mm

širina (wide) = 80 mm

višina (height) = 38 mm

premer odprtine madreporne ploščice

(madreporite plate diametre) = 3 mm

oralna poglobitev (infundibulum) = 30 × 23 mm

Stratigrafska in geografska razširjenost: Vrsto *Clypeaster scillae* omenja P o l j a k (1938) iz tortonijskih plasti okolice Podsuseda in Stubičkih Toplic na Hrvaškem, K a l a b i s (1949) pa iz spodnjemiocenskih skladov Francije, Portugalske, Španije, Maroka in Korzike, ter srednjemiocenskih Italije, Alžirije, Egipta, Sirije, Jugoslavije, Češke in Slovaške, Poljske, Madžarske in Romunije. I m b e s i - S m e d i l e (1958) jo navaja tudi iz spodnje in srednjemiocenskih plasti Avstrije in Sardinije. Iz helvetijskih skladov Portugalske in Dunajske kotline jo omenja V e i g a F e r r e i r a (1961). M i t r o v i ć - P e t r o v i ć (1969) piše, da so jo našli tudi v litotamniskem apnencu pri Bosanski Kostajnici. Iz srednjemiocenskih plasti Srbije jo prav tako omenja M i t r o v i ć - P e t r o v i ć (1970, 343). Najdena je še v helvetijskih plasteh Grčije, od koder jo navaja M a r c o p o u l o u - D i a c a n t o n i (1974). Iz burdigalijskih, serravallijskih, tortonijskih in messinijskih skladov Tetide ter iz badenijskih Paratetide jo omenja M a r c o p o u l o u - D i a c a n t o n i (1984).

Klipeastre so pri nas našli v tortonijskih plasteh pri Kostanjevici, Čatežu in Veliki Dolini na Dolenjskem (R a m o v š, 1974; P a v š i č, 1995) ter miocenskih na Štajerskem (P a v š i č, 1995).

Splošni podatki o paleogeografiji, stratigrafiji in paleoekologiji klipeastrov

D u r h a m (1966) piše, da ima red Clypeasteroida svoje prednike v zgornji kredi, ki sestojajo iz štirih podredov Laganina, Rotulina, Scutellina in Clypeasterina. Prvi predstavniki podreda Clypeasterina se pojavijo v zgornjem eocenu z enim rodом, iz oligocenskih plasti poznamo v svetu dva rodova, iz miocenskih pet, pliocenskih tri, pleistocenskih štiri, danes pa živijo še štirje rodovi. A l i (1983a, 218) navaja, da se je rod *Clypeaster* najprej pojavil v mediteranski regiji v eocenu, v indopacifiški pa šele v oligocenu. Iz spodnjemiocenskih plasti mediteranske regije poznamo 56 vrst in le 13 vrst iz indopacifiške regije. Iz srednjemiocenskih skladov je v mediteranski regiji ugotovljenih 139 različnih vrst, v indopacifiški pa samo 4 vrste. A l i (1983a, 220-221) nadalje piše, da je bila mediteranska ehinidna favna v paleogenu zelo podobna indopacifiški. V spodnjem miocenu je prišlo do velikih sprememb in raznolikosti med obema regijama, zaradi premikov Afriške litosferske plošče proti Evrazijski. V miocenu, še posebej pa v srednjem miocenu mediteranske regije, je dosegel rod *Clypeaster* v razvoju svoj maksimum. V pliocenu vse tropske oblike v Mediteranu močno nazadujejo, vključno z rodом *Clypeaster*, iz pleistocenskih plasti je v svetu znanih le 15 vrst, vendar nobene iz mediteranske regije. Recentne vrste rodu *Clypeaster* živijo ob obalah tropskih in subtropskih morij (A l i, 1983b).

M i t r o v i ć - P e t r o v i ć (1981) piše, da predstavniki rodu *Clypeaster* živijo pretežno ob obalah s peščenim dnom, in da fosilne klipeastre navadno najdemo v peskih in peščenjakih. Iz okolice Ulcinja so v miocenskih plasteh najdeni klipeastri, ki so izredno veliki, imajo debele korone z močno izbočeno aboralno stranjo, kar po M i t r o v i ć - P e t r o v i ć (1982, 172) pomeni, da so takšne morfološke značilnosti posledice

dica razmeroma toplega morja in razburkane vode. Nadalje piše, da so klipeastri iz Mediterana izginili koncem miocena zaradi nenadnega padca temperature vode. Slednji podatek ne drži, ker jih A l i (1983b, 455) omenja še iz pliocenskih plasti Italije, Grčije in severne Afrike.

Sklep

Za najdišče pri Podgračnem je predvsem značilen horizont z velikimi ostrigami in ciripednimi raki vrste *Balanus concavus* Bronn. Najdemo še druge vrste školjk ter redke polže in nepravilne morske ježke. Klipeastri so bili najdeni izolirani na površju, izvirajo pa iz badenijskih plasti, najpogosteje litotamnijskega apnenca in biokalkarenita. Po fosilnih ostankih in kamninah lahko sklepamo na takratno plitvo in toplo morje s peščenim dnom ter na bližnjo obalo.

Vrsta iregularnega morskega ježka *Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837 je razen v Podgračnem ugotovljena tudi v litotamnijskem apnencu badenijske starosti na Kresnici pri Šentilju, ter prav tako v litotamnijskem apnencu in v zelenkastosivem debeložrnatem peščenjaku in konglomeratu v Šentilju, blizu slovensko-avstrijske meje.

Clypeaster scillae Desmoulins, 1837 from Miocene beds near Podgračeno, Eastern Slovenia

The locality at Podgračeno is characterized especially by the horizon with large ostreas and cirriped species *Balanus concavus* Bronn. Also other bivalve species and rare gastropods, and irregular sea urchins can be found. The *Clypeaster* specimens were found isolated on the surface, and they came from Badenian beds that consist mostly of lithothamnian limestone and calcarenite. The fossil remains and lithology suggest shallow and warm sea with sandy bottom and nearby shore.

The species of irregular sea urchin *Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837, was determined also in lithothamnian limestone of Badenian age at Kresnice near Šentilj, and likewise in lithothamnian limestone and greenish grey coarse sandstone and conglomerate at Šentilj, near the Slovenian-Austrian border.

Zahvala

Prof. dr. Jerneju Pavšiču se zahvaljujem za pregled članka, koristne nasvete in pripombe, študentu Janezu Maurerju za posredovan fosilni ostanek nepravilnega morskega ježka, Marijanu Grmu pa za risbo in foto dokumentacijo.

Literatura

- A l i, M. S. 1983 a: Tertiary echinoids and the time of collision between Africa and Eurasia. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 4, 213-227, Stuttgart.
 A l i, M. S. 1983 b: The paleogeographic distribution of *Clypeaster* (Echinoidea) during the Cenozoic Era. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 8, 449-464, Stuttgart.
 D u r h a m, J. W. 1966: Clypeasteroids. - In: Moore, R. C. (Ed.) Treatise on Invertebrate Paleontology, Part U, Echinodermata 3/2. The Geological Society of America, Inc. and The University of Kansas Press, U367-695, Lawrence.

- Imbesi Smedile, M. 1958: Clipeastri Aquitanici, Elveziani e Tortoniani della Calabria. - *Palaeontographia Italica*, 53, (N.S. 23), 1-47, Tav. 1-22, Pisa.
- Kalabis, V. 1949: Monografie Clypeasteru z Československého miocénu. - *Rozpr. Stát. Geol. ústavu*, 11 (1948), 1-115, Tab. 1-8, Praha.
- Lambert, J. 1906: Étude sur les Échinides de la Molasse de Vence. - *Ann. Soc. Lettr., Sci. Arts A.-M.*, 20, 1-64, Pl. 1-10, Nice.
- Maczyńska, S. 1993: Echinoids from the Pińczów Limestones (Middle Miocene; Holy Cross Mountains, Central Poland). - *Acta Geol. Polonica*, 43/1-2, 103-114, Warszawa.
- Marcopoulou - Diacantoni, A. 1974: Biostratigraphie et Paléocologie des Echinides des Pays Helléniques du Miocene Moyen. - *Ann. Géol. Pays Hellén.*, 25 (1973), 13-20, Athenes.
- Marcopolou - Diacantoni, A. 1984: Le genre Clypeaster dans domaine Hellenique durant le Néogene au point de vue biostratigraphique-paleoecologique-taphonomique. - *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 32, 245-256, Athenes.
- Mitrović - Petrović, J. 1969: Srednjemiocenski ehinidi severne Bosne (Bosanska Posavina). - *Acta Geologica*, 6, 113-146, tab. 1-30, Zagreb.
- Mitrović - Petrović, J. 1970: Les caractéristiques biostratigraphiques et paléocologiques des Echinides du Miocène moyen en Yougoslavie. - *Giornale di Geologia* (2), 35/1, 335-346, Bologna.
- Mitrović - Petrović, J. 1981: Ehinidi kao facijalni fosili. - *Geol. anali Balk. pol.*, 45, 173-185, Beograd.
- Mitrović - Petrović, J. 1982: Pregled tercijarne ehinidske faune Crne Gore. - *Zbornik radova stratigrafija, paleontologija, petrologija, mineralogija, sedimentologija i tektonika*, Knj. 1, 169-174, X. jubil. kongr. geol. Jugoslavije, Budva.
- Mitrović - Petrović, J. 1984: Importance biostratigraphique et paleoecologique du genre Clypeaster (Echinoidea) pour les sediments Neogenes de la Yougoslavie. - *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 32, 211-235, Athenes.
- Mitrović - Petrović, J. 1995: Taksonomski značaj apikalnog sistema kod roda Clypeaster (Echinoidea). Taxonomic significance of apical system in the Clypeaster Echinoids. - *Geol. anali Balk. pol.*, 59/1, 131-147, Beograd.
- Pavlovac, R. & Mikuš, V. 1995: Fosili v miocenskem litotamnijskem apnencu v okolici Šentilja. Fossils in Miocene Lithothamnian Limestone in the Surroundings of Šentilj (Northern Slovenia). - *Znan. Rev.*, 7/1, 3-8, Maribor.
- Pavšič, J. 1995: Fosili. Zanimive okamnine iz Slovenije. - *Tehniška založba Slovenije*, 139 str., Ljubljana.
- Poljak, J. 1938: Prilog poznavanju miocenskih Echinoidea Hrvatske i Slavonije. - *Vesnik geol. inst. Jugosl.*, 7, 167-203, Tab. 2-10, Beograd.
- Ramovš, A. 1974: Paleontologija. - *Univerza v Ljubljani, FNT*, 304 str., 155 tab., Ljubljana.
- Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ Zagreb 1:100 000. - *Savezni geološki zavod Beograd*, Beograd.
- Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A. 1979: Tumač za list Zagreb. - *Osnovna geološka karta 1:100 000*, Savezni geološki zavod Beograd, 81 str., Beograd.
- Veiga Ferreira, da O. 1961: Equinideos do Miocénico de Portugal Continental e Ilhas Adjacentes. - *Com. Serv. Geol. Portugal*, 45, 529-564, Est. 17, Lisboa.

Tabla 1 - Plate 1

- 1a *Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837; Podgračeno, zgornja ali aboralna stran, naravna velikost
Clypeaster scillae Desmoulins, 1837; Podgračeno, upper aboral side, natural size
- 1b Isti primerek s strani, naravna velikost
The same sample, lateral view, natural size



1a



1b



1

Tabla 2 - Plate 2

- 1 *Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837; Podgračeno, spodnja ali oralna stran, naravna velikost
Clypeaster scillae Desmoulins, 1837; Podgračeno, lower oral side, natural size

Fotografije (Photo): Marijan Grm



Kitovo vretence iz miocenskih plasti v Turju blizu Dola pri Hrastniku

Whale vertebra from Miocene beds in Turje near Dol pri Hrastniku, Slovenia

Vasja Mikuš

Katedra za geologijo in paleontologijo,
Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: kiti, miocen, Turje, Slovenija
Key words: whales, Miocene, Turje, Slovenia

Kratka vsebina

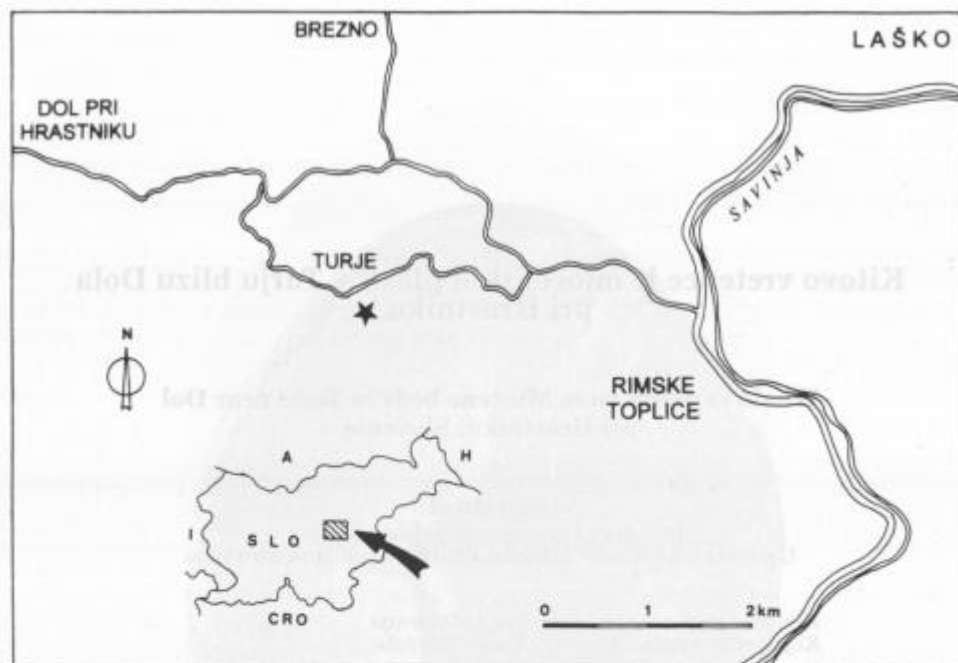
Obravnavano je kitovo vretence iz badenijskih plasti pri zaselku Turje. Ugotovljeno je, da gre za ledveno ali repno vretence odrasčajočega osebkca, najverjetneje pa pripada kitu iz družine Balaenopteridae.

Abstract

Examined was the whale vertebra from Badenian beds near the settlement of Turje. The vertebra is lumbar or caudal, and it belonged to an adolescent subject, most probably a whale of family Balaenopteridae.

Uvod

Pri globokem oranju njive na svoji parceli, je maja 1996 našel kost Ljudevit Mejač iz Dola pri Hrastniku. V začetku leta 1997 me je o najdbi kosti obvestil Janez Dirjec dipl. arheolog z Inštituta za arheologijo ZRC SAZU v Ljubljani. Marca istega leta smo si pri najditelju ogledali najdbo in samo najdišče. Ugotovili smo, da gre za kitovo vretence, najdeno pa je bilo na parceli št. 842 k.o. Turje, v globeli vzhodno od cerkve Sv. Štefana v Turju (slika 1).



Sl. 1. Položajna skica najdišča miocenskega kitovega vretenca
 Fig. 1. Location map of Miocene whale vertebra

Na Osnovni geološki karti SFRJ lista Celje (B u s e r, 1978) leži zaselek Turje na laškem laporju, južno od tod pa izdanja litotamnijski apnenec, oba tortonijske starosti. Po podatkih B u s e r j a (1979, 35) so v debelejšem horizontu sivega masivnega laškega laporja lahko ponekod tudi vložki biohermalnega litotamnijskega apnenca in kalkarenita.

Najdbe fosilnih kitov v Sloveniji

Do sedaj so v Sloveniji našli ostanke kitov le v miocenskih skladih. Največ najdb je iz badenijskih plasti. V badenijskem lapornatem peščenjaku med Staro vasjo in Dobruško vasjo vzhodno od Šmarjete, je bilo najdeno precej veliko kitovo vretence (P a v l o v e c & P e r š e, 1982). V badenijskem laškem laporju so v okolici Laškega pri Mariji Gradcu našli kitovo repno vretence, pri Gabrnem pa ledveno (M a j c e n, et al., 1997). Najdba najmlajšega primerka je iz sarmatijskega peščenega laporja pri Benediktu v Slovenskih goricah (P a v š i č & M i k u š, 1996). Tam so našli skoraj cel skelet zelo majhnega mladega vosatega kita.

Paleontološki del

? Balaenoptera sp.

Tab. 1, sl. 1a-1c; Tab. 2, sl. 1a-1b

N a h a j a l i š č e: Turje na nadmorski višini okoli 590 m, med Dolom pri Hrastniku in Rimskimi Toplicami.

M a t e r i a l: En stisnjen in precej poškodovan primerek. Po ostankih kamnine, ki je ostala še na določenih mestih vretenca, lahko sklepam, da je bilo vretenca najdeno v badenijskem rumenkastem biokalkarenitu (inv. št. 750).

O p i s: Srednjeveliko vretenca je precej deformirano in poškodovano. Vretenčno telo (corpus vertebrae) je z lateralne strani stisnjeno in je brez trnka (processus spinosus) ter prečnih (processus transversus) podaljškov. Ohranjeni so samo bazalni deli podaljškov oz. odrastkov. Na dorzalni strani vretenca je živčni kanal (canalis neuralis) zaradi poškodb le nakazan. Prav tako sta stisnjena in zavrtena kranijalni in kavdalni okrajek. Kranijalni okrajek (caput vertebrae) je rahlo izbočen, kavdalni (fossa vertebrae) pa nekoliko vbočen. Blizu roba obeh okrajkov so koncentrične linije.

D i m e n z i j e v r e t e n c a (D i m e n s i o n s o f v e r t e b r a):

dolžina vretenca (vertebra length)	120 mm
višina vretenca (vertebra height)	105 mm
širina vretenca (vertebra width)	63 mm
premer sprednjega okrajka (diameter of vertebra head)	82 × 108 mm
premer zadnjega okrajka (diameter of vertebra)	84 × 100 mm
debelina sprednjega okrajka (thickness of vertebra head)	15 mm
debelina zadnjega okrajka (thickness of vertebra pit)	15 mm

Slovensko in latinsko poimenovanje morfologije vretenca je povzeto po Rebesku in sodelavcih (1986).

Zaključki

Obliko in dimenzije vretenca iz Turja sem primerjal s primerki kitovih vretenc v člankih Pillerija (1989) in Carretta (1970). Po dimenzijah našega primerka in s primerjanji dimenzij v tabeli Carretta (1970, 30) lahko sklepam na sledeče: po dolžini vretenca naš primerek ustreza 8. repnemu vretencu, po višini 9. repnemu vretencu, po premerih okrajkov pa 11. repnemu vretencu. Ker je dolžina vretenca v primerjavi z višino in premeri okrajkov najmanj prizadeta oziroma spremenjena, bi se najlažje odločil za 8. repno vretenca. Vendar je 8. repno vretenca drugače oblikovano. Vretenca iz Turja ima ob straneh široke in dolge bazalne dele za prečna podaljška (processus transversus) in konkaven osrednji ventralni del vretenčnega telesa, kar je bolj značilno za vretenca lumbalnega in začetka kavdalnega dela kitove hrbtenice. Vretenca iz Turja pripada najverjetneje odrasčajočemu kitu, na kar sklepam po velikosti vretenca in še nepopolni zraslosti sprednjega (kranialnega) in zadnjega (kavdalnega) okrajka.

Po enem razmeroma slabo ohranjenem, najverjetneje ledvenem (lumbalnem) vretencu, seveda ne morem določiti niti rodu, niti vrste. Morda pripada osebkju iz rodu *? Balaenoptera*. Danes določajo kite predvsem po značilnostih glave in manj po postkranialnem okostju. V glavi pa predstavlja največjo taksonomsko značilnost koščeni bobnični mehur (bulla tympanica).

Whale vertebra from Miocene beds in Turje near Dol pri Hrastniku, Slovenia

The shape and size of the vertebra from Turje was compared to whale vertebrae in articles by Pilleri (1989) and Carretto (1970). According to the measures of the specimen, and to the comparisons with dimensions in Carretto's table (1970, 30), the following can be established. With respect to length, the vertebra corresponds to the 8th caudal vertebra, with respect to height to the 9th caudal vertebra, and to diameters of vertebra head and pit to the 11th caudal vertebra. Since the length of the vertebra with respect to its height and diameters of vertebra head and pit is the least affected by alterations, the choice would be the 8th caudal vertebra. However, the 8th caudal vertebra has a different shape. The vertebra from Turje has on sides broad and long basal parts for the two processi transversi, and concave central ventral part of the body of the vertebra; this is more typical for the vertebrae of the lumbal and beginning of the caudal part of the whale backbone. The vertebra from Turje belongs most probably to an adolescent whale individual on the ground of the size of the vertebra, and imperfect degree of overgrowth of the vertebra head and the vertebra pit.

A single, relatively poorly preserved vertebra, most probably of the lumbal region, does not suffice for determination of the genus nor the species. Perhaps it belongs to an individual of genus ? *Balaenoptera*. Nowadays, the whales are determined mainly according to characteristics of head, and less of the postcranial skeleton. In the head, the most important taxonomic characteristics is the bony bulla tympanica.

Zahvala

Zahvaljujem se najditelju gospodu Ljudevitu Mejaču, ki je kitovo vretenca poklonil paleontološki zbirki Katedre za geologijo in paleontologijo v Ljubljani. Iskrena hvala prof. dr. Vidi Poharjevi za številne nasvete pri sestavljanju članka in prof. dr. Jerneju Pavšiču za pregled besedila. Hvala tudi Janezu Dirjecu, ki me je obvestil o najdbi kitovega vretenca in Marijanu Grmu za slikovno gradivo.

Literatura

- B u s e r, S. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ Celje 1:100 000. - Zvezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- B u s e r, S. 1979: Tolmač lista Celje. Osnovna geološka karta 1:100 000. - Zvezni geološki zavod Beograd, 72 str., Beograd.
- C a r e t t o, P. G. 1970: La balenottera delle sabbie plioceniche di Valmontasca (Vigliano d'Asti). - Boll. Soc. Paleont. Italiana, 9 (1), 3-75, tav. 1-20, Modena.
- M a j c e n, T., M i k u ž, V. & P o h a r, V. 1997: Okamnine v paleontološki zbirki laškega muzeja. - Geol. zbornik, 13, 104-118, Ljubljana.
- P a v l o v e c, R. & P e r š e, J. 1982: Fosilni kit pri nas. - Proteus, 45, (1982/83), 61-64, Ljubljana.
- P a v š i č, J. & M i k u ž, V. 1996: Vosati kit (*Balaenoptera acutorostrata cuvierii*) iz miocenskih plasti pri Benediktu v Slovenskih goricah, Slovenija. The Baleen Whale (*Balaenoptera acutorostrata cuvierii*) from Miocene Beds near Benedikt in Slovenske gorice, Slovenia. - Razprave 4. razreda SAZU, 37/4, 85-97, Ljubljana.
- P i l l e r i, G. 1989: *Balaenoptera siberi*, ein neuer spätmiozäner Bartenwal aus der Pisco-Formation Perus. - In: Pilleri, G. (Ed.), Beiträge zur Paläontologie der Cetaceen Perus. - Hirnanatomisches Institut Ostermündungen, 65-85, Taf. 1-10, Bern.
- R e b e s k o, B., R i g l e r, L., Z o b u n d ž i j a, M. & J a n k o v i č, Ž. 1986: Slikovni priročnik anatomije domačih zivali. - Državna založba Slovenije, Ljubljana.



1a



1b



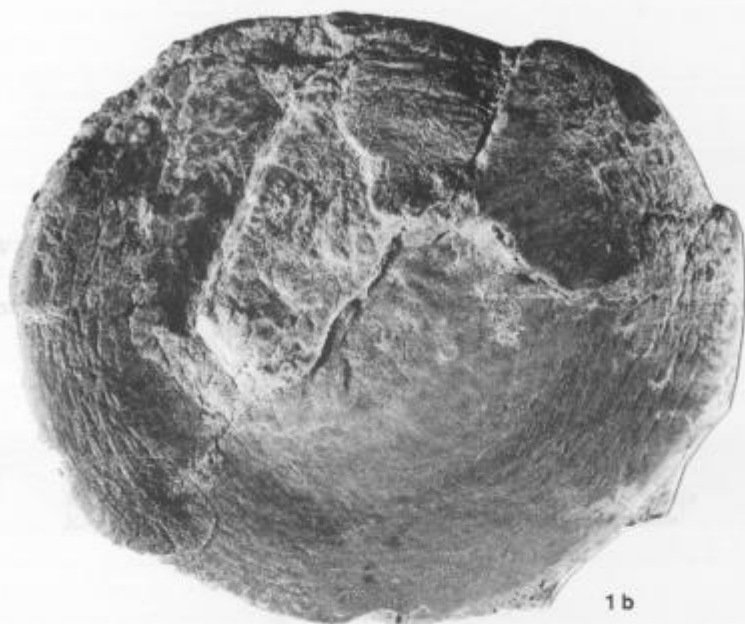
1c



Tabla 2 - Plate 2

- 1a ? *Balaenoptera* sp., kranijalni del (vretenčna glava) kitovega vretenca. Turje, $\times 1$
 Caput vertebrae or cranial side of whale vertebra. Turje, $\times 1$
- 1b ? *Balaenoptera* sp., kavdalni ali repni del (vretenčna jama) kitovega vretenca. Turje, $\times 0,9$
 Fossa vertebrae or caudal side of whale vertebra. Turje, $\times 1$

Fotografije (Photo): Marijan Grm



Nova najdba mastodontovega zoba iz bližnje okolice Ptuja

The new finding of Mastodont's tooth from vicinity of Ptuj, NE Slovenia

Vasja Mikuž

Katedra za geologijo in paleontologijo,
Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: zob, mastodont, plio-pleistocen, Ptuj, Slovenija
Key words: tooth, Mastodont, Plio-Pleistocene, Ptuj, Slovenia

Kratka vsebina

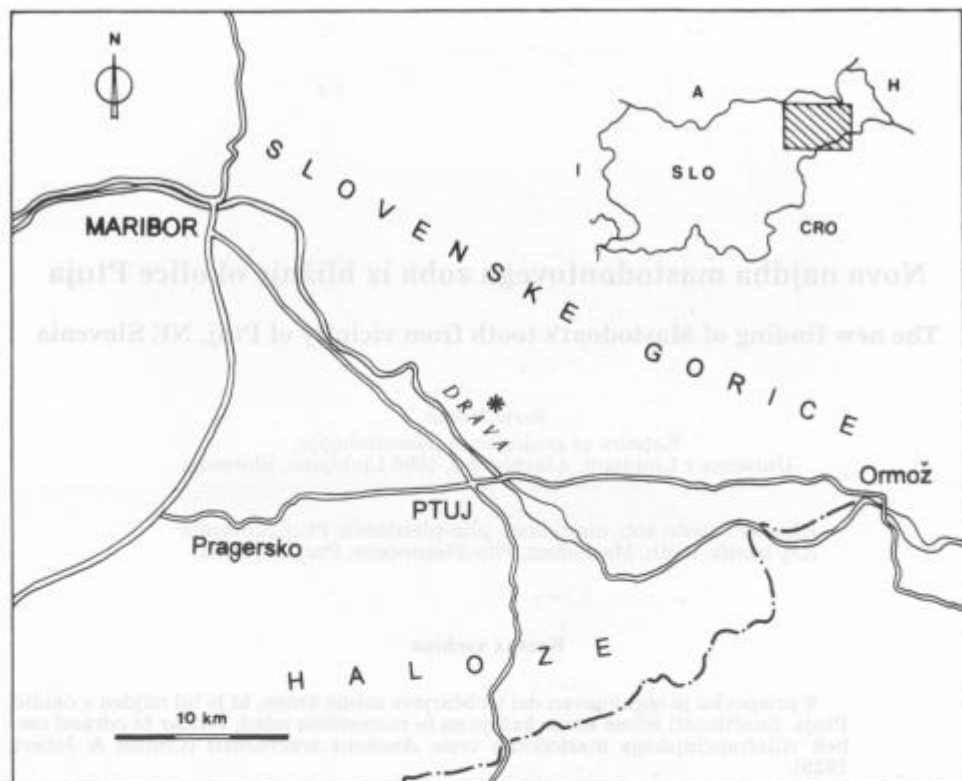
V prispevku je obravnavan del trobčarjeve zobne krone, ki je bil najden v okolici Ptuja. Značilnosti zobne krone kažejo na še razmeroma mlad, vendar že odrasel osebek villafranchijskega mastodonta vrste *Anancus arvernensis* (Croizet & Jobert, 1828).

Abstract

In the contribution, a part of the dental crown of a proboscidean found near Ptuj is examined. The characteristics indicate a relatively young, but already adult individual of Villafranchian mastodon of species *Anancus arvernensis* (Croizet & Jobert, 1828).

Uvod

V letu 1997 sem dobil v raziskavo fosilni ostanek mastodonta, ki mi ga je prinesel mag. Draško Josipovič od kustosinje Pokrajinskega muzeja v Celju, gospe Irene Lazarjeve. Njej pa ga je dala sodelavka, ki je ostanek zoba dobila od svoje sostanovalke v bloku. Zob je bil najden pred približno 22. leti pri gradnji privatnega objekta, nekje v okolici Ptuja (slika 1).



Sl. 1. Položajna skica nahajališča mastodontovega zoba
 Fig. 1. Location map of the Mastodont's tooth remain

Paleontološki del

Sistematika po R. Vaufrey, 1958

Classis Mammalia Linné, 1758

Ordo Proboscida Illiger, 1811

Superfamilia Mastodontoidea Osborn, 1921

Familia Tetralophodontidae Vaufrey, 1958

Subfamilia Anancinae Hay, 1922

Genus *Anancus* Aymard, 1855

Anancus arvernensis (Croizet & Jobert, 1828)

Tab. 1, sl. 1a-1c

1877 *M. arvernensis*. Croizet et Jobert - V a c e k, 33, Taf. 7, Fig. 3, 3a

1891 *Mastodon Arvernensis* Croizet und Jobert - W e i t h o f e r, 110, Taf. 4, Fig. 4;
 Taf. 5, Fig. 4; Taf. 13, Fig. 1, 1a

- 1910 *Mastodon arvernensis* Croiz. et Job. - B a c h, 112
- 1912 *Mastodon arvernensis* Cro. et Job. - G o r j a n o v i ć - K r a m b e r g e r, 14, Tab. 2, Sl. 2, 2a;
- 1922 *Mastodon (Dibunodon) arvernensis* Croizet et Jobert - S c h l e s i n g e r, 61, Taf. 11, Fig. 2; Taf. 12, Fig. 3, 4
- 1951 *Mastodon arvernensis* Croiz. et Job. - R a k o v e c, 173, Sl. 1, 2
- 1951 *Mastodon arvernensis* Croizet et Jobert - P e t r o n i j e v i ć, 67, Tab. 2, 3
- 1952 *Mastodon (Bunolophodon) cf. arvernensis* Croiz. et Job. - P e t r o n i j e v i ć, 86, Tab. 4, Sl. 1, 2, 3
- 1964 *Mastodon arvernensis* Croizet & Jobert, 1828 - F e j f a r, 65, Pl. 3, Figs. 1-3
- 1968 *Bunolophodon (Anancus) arvernensis* (Croiz. et Job.) - R a k o v e c, 304, Tab. 1, Sl. 1-6; Tab. 3, Sl. 1-2
- 1970 *Bunolophodon (Anancus) arvernensis* Croizet et Jobert - P e t r o n i j e v i ć, 106, Tab. 7, Sl. 1; Tab. 8, Sl. 1
- 1973 *Anancus arvernensis* Croizet & Jobert, 1828 - T o b i e n, 131, Fig. 15; 132, Fig. 17; 133, Fig. 18
- 1976 *Anancus arvernensis* - T o b i e n, 188, Abb. 32; 201, Abb. 43
- 1976 *Anancus arvernensis* (Croizet et Jobert) - P a v l o v i ć, M i l i ć & E r e m i j a, 156, Tab. 1, 2, 3
- 1986 *Anancus arvernensis* - T o b i e n, 206, Abb. 29; 216, Abb. 35
- 1988 *Anancus arvernensis* (Croizet & Jobert, 1828) - T o b i e n, C h e n & L i, 114; 139, Fig. 32
- 1997 *Anancus arvernensis* - P a v š i ć & M i k u ž, 32
- 1997 *Anancus arvernensis* (Croizet & Jobert), 1828 - L e n a r d i ć & P o h a r, 111, Pl. 1, Fig. 1a, 1b, 2a, 2b; Pl. 2, Fig. 1a, 1b

N a h a j a l i š č e: Najdišče ni točno določeno, zob je najden pri izkopu za gradnjo nekega privatnega objekta v bližnji okolici Ptuja.

M a t e r i a l: Najdba predstavlja sprednji labialni (oralni) del levega spodnjega tretjega molarja (M_3 sin.), oziroma del zobne krone brez koreninskega in zadnjega aboralnega dela molarja (inv. št. 1025).

O p i s: Ohranjen je samo sprednji del zobne krone, nekako prva tretjina levega spodnjega zadnjega molarja. Koreninski del je odlomljen. Na oralni strani je cel talon s štirimi različnimi vzboklinami, na praetritni strani prvega prečnega grebena sledi glavna vzboklina (protokonid) z eno manjšo vzboklinico, na posttritni je glavna vzboklina (metakonid) in še dve manjši vzboklini. Med prvim in drugim prečnim grebenom je globoka dolina, na sredini katere je velika zaporna vzboklina. Na drugem prečnem grebenu so na praetritni strani glavna vzboklina (hipokonid) in tri manjše, na posttritni pa glavna vzboklina (endokonid) in ena manjša vzboklinica. Nasploh je praetritna stran krone širša in položnejša, posttritna pa ožja in zelo strma. Glavni vzboklini prvega prečnega grebena sta nekoliko višji od glavnih vzboklin drugega prečnega grebena. Na drugem prečnem grebenu je lepo vidna alternacija praetritnega in posttritnega dela, kar je po R a k o v c u (1968, 310) in drugih avtorjih najznačilnejši znak vrste *Anancus arvernensis*. Konice vzboklin so rahlo nečete, kar pomeni, da je bil zob že v uporabi in da je od mladega vendar odraslega mastodonta.

Terminologija morfoloških značilnosti zobne krone je povzeta po R a k o v c u (1951, 1968) in T o b i e n u (1973, 1986).

Dimenzije (Dimensions):

dolžina praetritnega dela krone (length of the crown in outer side) = 80 mm

dolžina posttritnega dela krone (length of the crown in inner side) = 72 mm

širina prvega prečnega grebena (width of the first ridge) = 81 mm

širina drugega prečnega grebena (width of the second ridge) = 84 mm

največja višina prvega prečnega grebena

(the greatest height of the first ridge) = 49 mm

največja višina drugega prečnega grebena

(the greatest height of the second ridge) = 45 mm

P r i m e r j a v a: Širina prvih dveh prečnih grebenov ima razpon med 81 in 84 mm, kar se nekako ujema s širinami v tabeli R a k o v c a (1951, 186), kjer so razponi med 75,5 do 98 mm za M_3 iz nekaterih drugih evropskih najdišč. Največja širina spodnjega tretjega molarja iz Sv. Andraža v Slovenskih goricah pa znaša 93 mm (R a k o v c , 1951). V a u f r e y (1958) navaja največje širine prečnih grebenov za M_3 vrste *A. arvernensis*, ki znašajo med 64 in 95 mm. W e i t h o f e r (1891) ima razpone za širine enakega molarja z vrednostmi med 77 in 81 mm. Iz Hajnáčke na Slovaškem opisuje F e j f a r (1964) tretji spodnji desni molar, katerega širine prečnih grebenov so med 60 in 81 mm.

S t r a t i g r a f s k a i n g e o g r a f s k a r a z š i r j e n o s t m a s t o d o n t o v: Po L e n a r d i č & P o h a r (1997) je v Sloveniji registriranih 14 najdišč z ostanki mastodontov, ti pa so bili najdeni v miocenskih, pliocenskih in pleistocenskih sedimentnih kamninah. Ugotovljenih je pet mastodontnih rodov *Gomphotherium*, *Tetraolophodon*, *Anancus*, *Zygalophodon* in *Mammot*. Največ najdišč in primerkov ima vrsta *Anancus arvernensis*, ki so vsa v severnovzhodni Sloveniji.

Opisana plio-pleistocenska vrsta *Anancus arvernensis* je bila v Evropi razmeroma razširjena. Njeni ostanki so najdeni v villafranchijskih plasteh Francije in Nemčije (V a u f r e y , 1958, 244), plio-pleistocenskih Nemčije (T o b i e n , 1986), Italije (W e i t h o f e r , 1891), spodnjevillafranchijskih skladih Italije (P i n n a , 1989), Avstrije (V a c e k , 1877; B a c h , 1910), pliocenskih Hrvaške (G o r j a n o v i č - K r a m b e r g e r , 1912), srednje in zgornjepliocenskih sedimentih Srbije (P e t r o n i j e v i č , 1951, 1952, 1970; P a v l o v i č e t a l . , 1976 in P a v l o v i č , 1992), srednjepliocenskih Madžarske (S c h l e s i n g e r , 1922) in spodnjevillafranchijskih Slovaške (F e j f a r , 1964). Zadnji avtor jih navaja tudi iz zgornjepliocenskih paludinskih plasti Romunije ter plio-pleistocenskih Rusije in Ukrajine. D u b r o v o (1997, 162) piše, da se je vrsta *A. arvernensis* pojavila v spodnjem pliocenu ter preživela v Evraziji vse do začetka starejšega pleistocena.

Sklepi

Dimenzije ohranjenih prečnih grebenov zobne krone, oblikovanost grebenov in zobnih konic, predvsem pa alternacija praetritnih in posttritnih vzboklin drugega prečnega grebena kažejo, da je najdeni del zobne krone iz okolice Ptujja, nedvomno pripadal vrsti *Anancus arvernensis*. Glede na obrablenost konic zoba, pripada mlademu odraščajočemu osebkju. Plasti, v katerih je bil ostanek trobčarjevega zoba najden, so najverjetneje villafranchijske starosti.

The new finding of Mastodont's tooth from vicinity of Ptuj, NE Slovenia

The dimensions of preserved transversal ridges of the tooth crown, the morphology of ridges and tooth tips, and especially the alternation of praetritic and posttritic convexities of the second transversal ridge suggest the reliable attribution of the find from surroundings of Ptuj to the mastodon species *Anancus arvernensis*. As judged by the wear of dental tips, the tooth belonged to a young adult individual. The beds in which the remains of the proboscidean tooth were found, are most likely of Villafranchian age.

Zahvala

Zahvaljujem se prof. dr. Vidi Poharjevi za pregled članka in dodatno literaturo, prof. dr. Jerneju Pavšiču za koristne nasvete, kustosinji Pokrajinskega muzeja v Celju Ireni Lazarjevi za podatke o najdišču, mag. Drašku Josipoviču za posredovano najdbo in Marijanu Grmu za risbo in fotografije.

Literatura

- B a c h, F. 1910: Mastodontenreste aus der Steiermark. - Beiträge Paläont. Geol. Österr.-Ungarns, 23, 63-124, Taf. 7-10, Wien und Leipzig.
- D u b r o v o, I. A. 1997: Fossil Proboscideans. Fosilni trobčarji. - Geološki zbornik, 12, 159-197, Velenje.
- F e j f a r, O. 1964: The Lower-Villafranchian Vertebrates from Hajnáčka near Filákovo in Southern Slovakia. - Rozpravy Ústř. ústav. geol., 30, 1-115, Pl. 1-20, Praha.
- G o r j a n o v i ć - K r a m b e r g e r, D. 1912: Fosilni proboscidi Hrvatske i Slavonije. - Djela Jugosl. akad. znan. umjetn., 21, 7-23, Tab. 1-4, Zagreb.
- L e n a r d i ć, J. & P o h a r, V. 1997: Distribution of the Mastodonts in Slovenia. *Razširjenost mastodontov v Sloveniji*. - Geološki zbornik, 12, 105-130, Velenje.
- P a v l o v i ć, M. B. 1992: Tercijarni sisari u Srbiji kao paleoekološki i paleoklimatološki indikatori. - Geol. anali Balk. pol., 56, 137-152, Beograd.
- P a v l o v i ć, M. B., M i l i ć, P. & E r e m i j a, M. 1976: *Anancus arvernensis* (Croizet et Jobert) iz povlate cementnih laporaca u Beočinu (Srem). - Geol. anali Balk. pol., 40, 155-160, Tab. 1-3, Beograd.
- P a v š i ć, J. & M i k u ž, V. 1997: Redka najdba mastodonta. - *Gea*, 7/3, 32, Ljubljana.
- P e t r o n i j e v i ć, Ž. 1951: O nalasku ostataka Mastodon arvernensis Croizet et Jobert u Sremskim Karlovcima. - Glasnik prirod. muzeja Srp. Zemlje, Ser. A, 4, 67-69, Tab. 2-3, Beograd.
- P e t r o n i j e v i ć, Ž. 1952: Prilog poznavanju fosilnih ostataka mastodontoidea iz Srbije. - Geol. anali Balk. pol., 20, 75-86, Tab. 1-4, Beograd.
- P e t r o n i j e v i ć, Ž. 1970: Prilog poznavanju mastodona mlađeg neogena. - Glas SANU, 278, 33, 99-112, Tab. 1-10, Beograd.
- P i n n a, G. 1989: Il Grande Libro dei Fossili. I vari gruppi animali e vegetali, la distribuzione nei terreni di diverse età, i principali giacimenti. - Biblioteca universale Rizzoli, 381p., Milano.
- R a k o v e c, I. 1951: O najdbah mastodonta (*Mastodon arvernensis* Croiz. et Job.) na Štajerskem. - Razprave 4. razreda SAZU, 1, 173-202, Ljubljana.
- R a k o v e c, I. 1968: O mastodontih iz Šaleške doline. *The Mastodons from the Šalek valley*. - Razprave 4. razreda SAZU, 11, 299-350, Ljubljana.
- S c h l e s i n g e r, G. 1922: Die Mastodonten der Budapester Sammlungen. (Untersuchungen über Morphologie, Phylogenie, Ethologie und Stratigraphie europäischer Mastodonten.) - Geologica Hungarica, 2/1, 1-284, Taf. 1-22, Budapestini.
- T o b i e n, H. 1973: The Structure of the Mastodont Molar (Proboscidea, Mammalia) Part 1: The Bunodont Pattern. - Mainzer geowiss. Mitt., 2, 115-147, Mainz.
- T o b i e n, H. 1976: Zur paläontologischen Geschichte der Mastodonten (Proboscidea, Mammalia). - Mainzer geowiss. Mitt., 5, 143-225, Mainz.
- T o b i e n, H. 1986: Die paläontologische Geschichte der Proboscider (Mammalia) im Mainzer Becken (BRD). - Mainzer Naturw. Archiv, 24, 155-261, Mainz.

T o b i e n, H., C h e n, G. & L i, Y. 1988: Mastodonts (Proboscidea, Mammalia) from the Late Neogene and Early Pleistocene of the People's Republic of China. - Mainzer geowiss. Mitt., 17, 95-220, Mainz.

V a c e k, M. 1877: Über Österreichische Mastodonten und ihre beziehungen zu den Mastodontarten Europas. - Abh. Geol. R. A., 7/4, 1-45, Taf. 1-7, Wien.

V a u f r e y, R. 1958: Proboscidiens. Étude systématique. In: Piveteau, J. (Ed.) Traité de Paléontologie. - Masson et Cie, 203-303, Paris.

W e i t h o f e r, K. A. 1891: Die fossilen Proboscidiere des Arnothales in Toskana. - Beiträge Paläont. Österr.-Ungarns, 8, 107-240, Taf. 1-15, Wien.

Tabla 1 - Plate 1

- 1a *Anancus arvernensis* (Croizet & Jobert, 1828), prvi in drugi prečni greben spodnjega levega tretjega mastodontovega molarja (M_3), lingvalno (posttritno). Najdišče v okolici Ptuja, naravna velikost
The first cross ridges of the Mastodont crown *Anancus arvernensis* (Croizet & Jobert, 1828) from lingual (posttritic) side. Vicinity of Ptuj, natural size
- 1b Žvekalna (okluzalna) ploskev oralnega dela zobne krone istega primerka, naravna velikost
Occlusal level of oral part of the crown, the same sample, natural size
- 1c Pogled z bukalne (praetritne) strani dela zobne krone istega primerka, naravna velikost
Buccal (praetritic) view of the same sample, natural size

Fotografije (Photo): Marijan Grm



1a



1b



1c

Volcaniclastic Rocks in Borehole Tdp-1/84 Trobni Dol, Eastern Slovenia

Vulkanoklastične kamnine v vrtini Tdp-1/84 Trobni Dol, vzhodna Slovenija

Polona Kralj

Geološki zavod Slovenije

Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Key words: volcaniclastic rocks, pyroclastic rocks, submarine pyroclastic flow deposits, rhyolitic tuffs, zeolites, Slovenia

Ključne besede: vulkanoklastične kamnine, piroklastične kamnine, sedimenti podmorskega piroklastičnega toka, riolitni tufi, zeoliti, Slovenija

Abstract

Uppermost 160 metres in the cored borehole Tdp-1/84 Trobni Dol, mainly consist of volcaniclastic sediments, deposited entirely in a marine environment. Two phases of volcanic activity were recognised, the second one producing huge amounts of pyroclastic material of rhyolitic composition, transported in a submarine pyroclastic flow and settled as an over 107 m thick ignimbrite deposit. After termination of explosive volcanic activity, sedimentation of fossiliferous marine mudstone Sivica continued, and immediately above the ignimbrite it contains a few cm thick layer of rhyolite-mudstone peperite. Peperite formed when magma intruded into a water-saturated muddy sediment, desintegrated into hyaloclasts owing to chill-and-quick processes, and finally, intermixed with the sediment. Overlying syn-eruptive resedimented volcaniclastics were deposited after cessation of volcanic activity, with normal marine transport and sedimentation agents.

Kratka vsebina

Gornjih 160 metrov jedrovane vrtine Tdp-1/84 Trobni Dol povečini sestoji iz vulkanoklastičnih sedimentov, ki so bili v celoti odloženi v morskem okolju. Prepoznali smo dve fazi vulkanskega delovanja, od katerih je bila druga še posebno močna. Ob eksplozijah riolitne magne so nastale ogromne količine vulkanskega pepela, ki so se transportirale s podmorskim piroklastičnim tokom in se sedimentirale kot preko 107 metrov debel horizont ignimbrita. Ko je vulkanizem prenehal delovati, se je nadaljevala morska sedimentacija sivice, ki vsebuje nekaj cm debel sloj peperita iz riolita in sivice. Peperit je nastal ob intruziji magne v vlažen sediment. Zaradi hitrega ohlajanja se je magma pričela drobiti v hialoklaste in se nato mešala s sedimentom. Nad peperitom se nahajajo sin-eruptivno presedimentirani vulkanoklastiti, ki predstavljajo piroklastični material, sedimentiran in transportiran z normalnimi dejavniki v morskem okolju potem, ko je vulkanizem že ugasnil.

Introduction

The village Trobni Dol is located in Eastern Slovenia (Fig. 1), in the Tertiary Laško basin. Volcaniclastic rocks crop out on the crest of the Rudnica anticlyne, in the form of triangular, fault-bounded area of less than 120 km². The Laško basin is characterised by the occurrence of coal, which is the main reason for geological exploration of the area in the past, and also in the last decades.

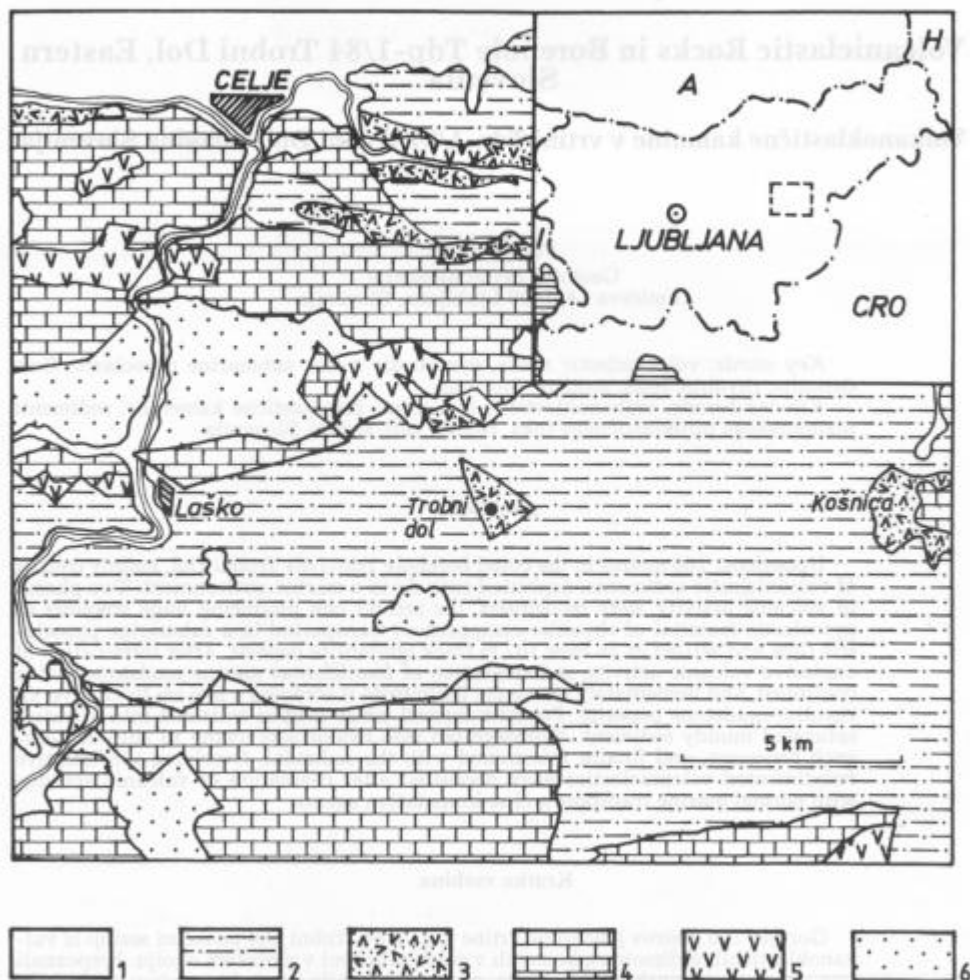


Fig. 1. Simplified geologic map of the Trobni Dol area (modified after Buser, 1977). 1, Quaternary; 2, Mio-Pliocene clay, silt, sand and gravel; 3, Oligocene volcanoclastics; 4, Mesozoic carbonates; 5, Triassic keratophyre and tuffs; 6, Permian and Carboniferous clastic rocks

Sl. 1. Shematska geološka karta območja Trobnega Dola (prirejeno po Buserju, 1977). 1, kvartar; 2, mio-pliocenski sedimenti - glina, melj, pesek in prod; 3, oligocenski vulkanoklastiti; 4, mezozojski karbonati; 5, triasni keratofir in njegov tuf; 6, permjski in karbonski klastiti

Early works date in the previous century (Z o l l i k o f e r, 1861; S t u r, 1871; B i t - t n e r, 1884), and they were followed in the period between both wars (M u n d a, 1939). The most extensive exploration of the area started after the Second World War. It was dominantly related to elaboration of the Basic Geological Map of Slovenia, sheet Celje (B u s e r, 1977; 1979), but also, to coal prospecting (H a m r l a, 1987). Recent works of D o z e t and R i j a v e c (1994), P e t r i c a et al. (1995), and G r a d et al. (1996) deal with biostratigraphic division of Tertiary beds in the area, as well as with occurrence and chemical composition of the Trobni Dol coal seams.

In the year 1984, two cored boreholes have been drilled in the vicinity of Trobni Dol (P e t r i c a, 1983). Their purpose was to find any new resources of coal in the area. The first one, Tdp-1/84 penetrated 360 metres of the Tertiary sediments and sedimentary rocks, and terminated in the basement, composed of Triassic dolomite. The second borehole Tdp-2/84 is 400 metres deep, but owing to the complex tectonic setting of the area, it did not reach the basement. The upper 160 metres of the drilled section in Tdp-1/84 mainly consist of volcaniclastic rocks, deposited in a shallow-marine environment. The present contribution deals with lithofacies of volcaniclastic rocks, recognised in the Tdp-1/84 borehole core, their depositional sedimentary environment and diagenetic alteration.

Geological setting of the Trobni Dol area

Trobni Dol area forms a part of the Laško basin. The basement consists of Permo-Carboniferous shales, quartzarenites and conglomerates, Permian sandstones and Triassic dolomite, shales and volcanic rocks. The basin is infilled with Tertiary successions ranging in age from Upper Oligocene to Badenian. Upper Oligocene beds in the area comprise Pseudosocka beds, grayish green marine mudstone named Sivica (G r a d et al., 1996), and volcaniclastics of rhyolitic composition. Oligo-Miocene and Miocene beds are subdivided only on the basis of lithology - owing to the lack of fossils - into sandy clays and sands of the Upper Egerian age, Eggenburgian marine marly clay and silt, named the upper Govce beds, Badenian calcarenites (the Laško beds), and Sarmatian silts and sands.

Basement in the Tdp-1/84 borehole consists of Triassic dolomite, which is overlain discordantly by the lower Pseudosocka beds at 383.6 m. The lower Pseudosocka beds are composed of massive clay with some up to 40 cm thick coal seams. At 368.3 metre, the upper Pseudosocka beds occur being developed as finely laminated limestone, marly limestone and calcareous marl. At 341.5 metre, the sediments grade upwards into interstratified claystones, sandstones and siltstones. The Pseudosocka beds indicate intermixing fresh-water, brakish and shallow-marine environment. At 299.5 m, they are overlain by a 140 m thick succession of bluish gray marine mudstone Sivica. Foraminifera fauna indicates Lower Egerian age (G r a d et al., 1996). At 159.4 m, pyroclastic rocks occur, and they fairly predominate up to the depth of 12.5 m, where a thin layer of eluvium is encountered.

Volcaniclastic succession

Volcaniclastic succession encountered in borehole Tdp-1/84, Trobni Dol, was compared with the models described by W r i g h t & M u t t i (1981), Y a m a d a (1973),

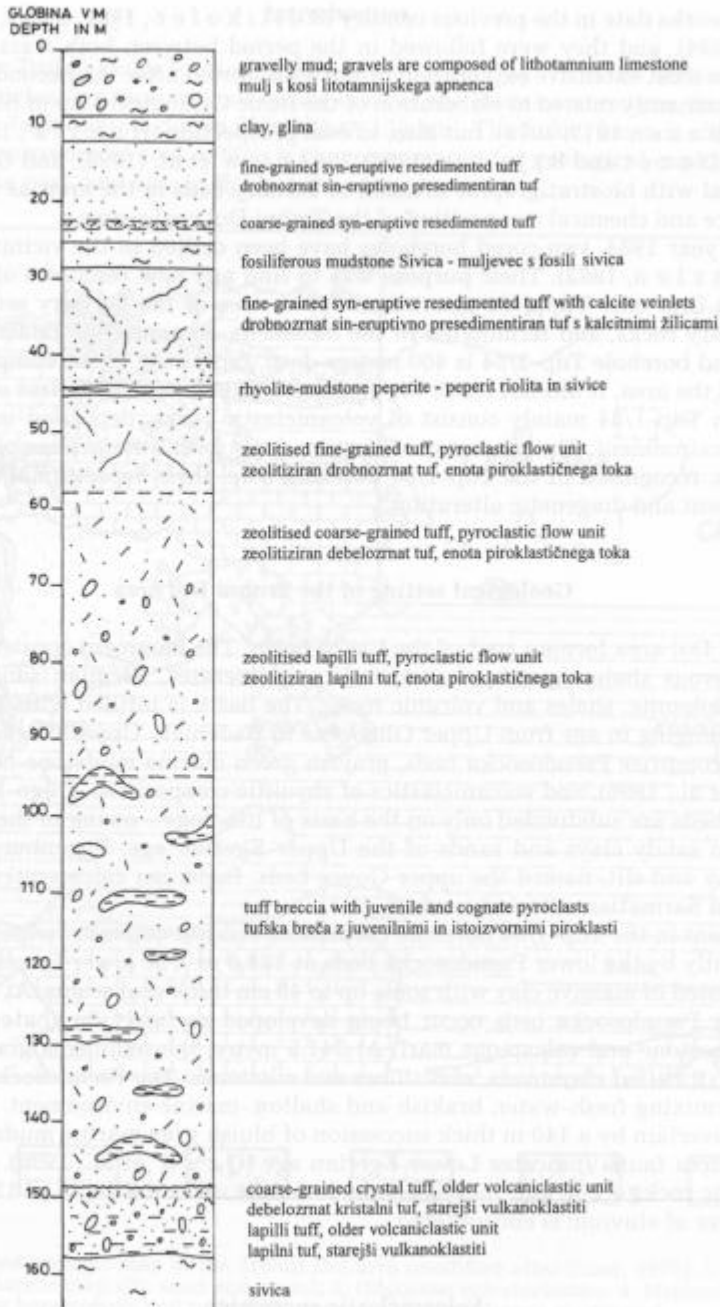


Fig. 2. Diagrammatic cross-section across the cored borehole Tdp-1/84 Trobni Dol
 Sl.2. Shematski prikaz profila jedrovane vrtine Tdp-1/84 Trobni Dol

Table 1. Bulk chemical composition of volcaniclastic rocks from the Tdp-1/84 borehole, Trobni Dol in wt.%. Analyst Vida Hudnik, Kemijski inštitut Slovenije
 Tabela 1. Glavne prvine vulkanoklastičnih kamnin iz vrtnice Tdp-1/84 Trobni Dol, v masnih %. Analitik Vida Hudnik, Kemijski inštitut Slovenije

Sample Element	1	2	3
SiO ₂	69.1	69.8	65.9
Al ₂ O ₃	11.1	12.9	11.6
Fe ₂ O ₃	2.6	1.0	1.0
FeO	0.39	0.65	0.5
MnO	0.02	0.04	0.02
MgO	0.4	0.6	1.1
CaO	1.1	0.9	3.1
Na ₂ O	2.9	3.4	0.5
K ₂ O	2.3	2.8	3.0
TiO ₂	0.2	0.2	0.2
P ₂ O	0.009	0.04	0.01
S	1.4	0.03	0.01
CO ₂	2.3	0.4	0.1
L.O.I.	10.1	7.4	8.4

1: sample from the pyroclastic flow unit, a depth of 83.05 m

2: peperite sample, a depth of 44.5 m

3: surface sample from resedimented unit

Table 2. Microprobe analyses in wt.% of the matrix (sample 1), transitional area (sample 2) and a glass shard altered to clinoptilolite and cristobalite (sample 3). Analyst Peter Pavli, IEVT Ljubljana

Tabela 2. Mikroanaliza v masnih % osnove (vzorec 1), prehoda (vzorec 2) in črepinjice vulkanskega stekla, spremenjene v klinoptilolit in kristobalit (vzorec 3). Analitik Peter Pavli, IEVT Ljubljana

Sample Element	1	2	3
SiO ₂	53.04	71.12	70.30
Al ₂ O ₃	23.81	11.22	13.25
Fe ₂ O ₃	1.51	1.40	0.16
MgO	1.68	0.68	0.34
CaO	2.02	0.52	0.74
Na ₂ O	0.85	1.36	2.54
K ₂ O	8.48	2.81	3.14
Sum	91.42	89.13	90.49

Fe₂O₃ is total Fe recalculated as Fe₂O₃

Fiske & Matsuda (1964), and Carey & Sigurdsson (1980). Diagenetic alteration of rocks is described already by Kovič & Mišič (1989).

The succession lies conformably on the fossiliferous marine mudstone Sivica, and consists of an older, partially eroded volcanoclastic unit, pyroclastic flow unit, rhyolite mudstone (Sivica), peperite unit and resedimented unit (Fig. 2). Pyroclastic flow unit is ideally developed submarine pyroclastic flow deposit. It is relatively thick amounting to 107 m. Pyroclastic flow unit terminates with a 3 decimetre thick layer of the marine mudstone Sivica with autobrecciated rhyolite flow intermixed with the sediment, and forming a peperite. Resedimented unit is about 19 metres thick and comprises two horizons of faintly laminated syn-eruptive resedimented fine-grained tuff, interlayered with Sivica.

Classification of volcanoclastic rocks from the Tdp-1/84 borehole is by no means simple. According to the silica and alkali content (Table 1) the rocks can be classified as dacites or rhyolites. However, bulk chemical composition, recalculated to the anhydrous base and compared with the data of Ewart (1979) indicates the tuffs developed from a rhyolitic magma. The main problem concerning reliability of this chemical composition is in diagenetic alteration of the rocks which involves redistribution of many elements on a small-scale, and maybe also their enrichment or loss owing to the mobility on a larger-scale. A small scale redistribution is reflected in a different diagenetic alteration pattern of lapilli and glass shards which are replaced by the zeolite clinoptilolite, and the fine-grained matrix which is replaced by clay minerals. Microprobe analyses have shown rather diverse chemical composition of matrix, zeolitised volcanic glass, and the transitional area between them (Table 2). Chemical composition of the matrix indicates the loss of silica and sodium, and the gain of magnesium, aluminium, potassium and iron. The released silica and sodium were, at least partially, incorporated in clinoptilolite, which replaces volcanic glass. Both diagenetic reactions, from matrix to clay, and from glass to clinoptilolite involve hydration process and partial redistribution of alkaline and alkaline earth elements.

Older volcanoclastic unit

Older volcanoclastic unit is 8.9 m thick, and consists of extensively altered pumice lapilli tuff (Plate 1 - Fig. 1) overlain by a 12 cm thick layer of resedimented crystal tuff (Plate 1 - Fig. 2). Plagioclases are still relatively fresh, but the texture of fine-grained matrix can not be recognised any more owing to alteration. Volcanic glass in pumice lapilli is also completely replaced by illite and a random mixed layer clay mineral beidellite/montmorillonite/illite with B/M/I=50/40/10 (Plate 1 - Fig. 3; Kovič & Mišič, 1986). Overlain plagioclase-rich coarse-grained tuff is resedimented, and contains detrital admixture, mainly quartz and chert. Fine-grained matrix is subordinate in occurrence as calcite and pyrite cement predominate. Both rock types of the older volcanoclastic unit contain glauconite.

Pyroclastic flow unit

Pyroclastic flow unit consists of massive tuff breccia in the lower part, massive, normally graded pumice lapilli tuff or ignimbrite in the central part, and massive coarse-grained tuff with dominating glass shards and pumice in the top. The whole

pyroclastic flow unit comprises dispersed foraminifers, commonly replaced by pyrite, and fragments of coal. The temperature of this submarine pyroclastic flow was hardly high enough for charring of plant material to occur. The fragments originate from underlying coal seams destructed during volcanic explosions. Their distribution is rather uniform throughout the unit and may indicate intensive turbulence, which is a general characteristic of transport in a pyroclastic flow (C a s & W r i g h t, 1987; F i s h e r & S c h m i n c k e, 1984).

Tuff breccia occurs between 149 m and 95 m of depth. The largest clasts are cognate in origin. Most commonly, they have lensoid forms and are up to 30 cm long. They represent the fragments of the older unit, which was disturbed during the new eruption, and admixed to juvenile material transported by the pyroclastic flow. Juvenile material forms the matrix of tuff breccia, and consists of pumice lapilli tuff with abundant glass shards. While cognate fragments are altered to clay minerals, juvenile material is extensively replaced by clinoptilolite.

Above a depth of 95 metres, cognate fragments disappear, and juvenile material prevails. Between 95 m and 58 m, normal gradation of lapilli can be recognised, although fine-grained matrix remains completely unsorted. The largest lapilli attain the sizes up to 7 cm, and their shape is commonly fluidal (Plate 2 - Fig. 1, Fig. 2). The deformation occurred during their deposition in the pyroclastic flow, when they have been still hot enough to be partially in a fluidal condition. Most commonly, they are elongated in the flow direction, but sometimes more extraordinary Z-forms occur. Internal texture of such lapilli is collapsed, and much alike to welded tuffs (Plate 2 - Fig. 3). Phenocrysts of plagioclase feldspars can be aligned in the flow direction (Plate 5 - Fig. 3), but they can also be broken „in situ“ (Plate 3 - Fig. 1). Such desintegration of plagioclases possibly occurred during cooling and deformation of lapilli.

Very rarely, some extraordinary lapilli occur, being peperite fragments in origin (Plate 3 - Fig. 2, Plate 5 - Fig. 2). Peperite fragments are composed of intimate mixtures of magma and a sediment, and they are characterised by banded structure. They probably formed prior to explosive eruption, when ascending magma came in a contact with the wall sediments causing minor intermixing with, and assimilation of them.

Matrix of lapilli tuffs is a coarse- and fine-grained vitric tuff. Its main constituents are glass shards, many of them having typical Y-forms. Glass shards show no sign of

Table 3. Microprobe analyses of some plagioclase grains, borehole Tdp-1/84, in a depth of 96.4 m. Analyst Peter Pavli, IEVT Ljubljana

Tabela 3. Mikroanaliza nekaterih zrn plagioklazov, vrtna Tdp-1/84, globina 96.4 m. Analitik Peter Pavli, IEVT Ljubljana

Sample/ Element	1	2	3	4
SiO ₂	51.6	53.2	56.8	61.3
Al ₂ O ₃	32.7	32.1	34.0	33.2
Fe ₂ O ₃	0.03	0.03	0.96	0.45
CaO	13.3	13.6	15.4	11.4
Na ₂ O	2.2	2.1	1.7	2.8
K ₂ O	0.2	0.2	1.2	0.7

welding. Plagioclase grains are subordinate in occurrence. They are commonly encountered as twinned and zoned crystals. Fedorov's optical determination of composition indicates that oligoclase and andesine prevail. Microprobe analyses show even higher amounts of calcium (Table 3), and recalculated formula on the basis of 8 oxygen atoms indicate average bytownitic composition ($\text{Na}_{0.2}\text{K}_{0.1}\text{Ca}_{0.7}\text{Fe}_{0.001}\text{Al}_{1.7}\text{Si}_{2.3}$).

Among mafic minerals encountered in the tuff, biotite prevails, but somewhat rarely, hornblende also occurs. Both minerals indicate the magma was not dry and contained enough water for hydrous phases to form (Gill, 1981). Among accessory minerals, apatite and Fe-Ti oxides were determined by microprobe analysis. Quartz grains are rare in occurrence, and the majority of them are of detrital origin.

Peperite unit

Pyroclastic flow unit terminates with fossiliferous marine mudstone Sivica which contains up to 5 cm thick layer of peperite (Plate 4 - Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3; Plate 5 - Fig. 1). Peperite formed during the intrusion of magma into a wet, water-saturated sediment and indicates relative proximity to the vent. Superheating of water in the sediment commonly causes fluidisation effects (M c P h e e et al., 1993), and owing to abundant organic matter, they can be well observed in the peperite from borehole Tdp-1/84 (Plate 4 - Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3; Plate 5 - Fig. 1). Magma is desintegrated into irregularly shaped fragments having up to 2 cm in diameter. Some of the fragments have round forms, and the others are elongated along the flow direction. The edges are jagged. Glassy groundmass is altered to clinoptilolite, calcite and cristobalite. Organic matter is pyritised, and commonly wrapped around the fragment surfaces causing flow foliation.

Syn-eruptive resedimented volcanoclastics

Above the peperite layer, syn-eruptive volcanoclastic rocks occur, and they are interlayered with two thin layers of Sivica. Syn-eruptive volcanoclastics were resedimented after volcanic eruption with normal marine transporting agents, and not with the energy of volcanism. Fine-grained tuffs predominate (Plate 3 - Fig. 3). Their sorting is still poor, but nevertheless, better than in the tuffs of the pyroclastic flow unit. Rare, up to some cm thick layers of coarse-grained tuffs consist of plagioclase-feldspar grains and pumice with subordinate fine-grained matrix. Volcanoclastic rocks are extensively altered to Ca-beidellite, randomly mixed layer clay mineral beidellite/montmorillonite, clinoptilolite and cristobalite (K o v i ć & M i š i ć, 1989).

Conclusions

Volcanoclastic succession encountered in the borehole Tdp-1/84 Trobni Dol was entirely deposited in a marine environment in two stages of volcanic activity:

1. older eruption which can be recognised in an 8.9 m thick layer of pumice lapilli tuff, extensively altered into Ca-Na montmorillonite and illite. It is overlain by resedimented crystal-rich tuff with calcite and pyrite cement.

2. younger eruption partially disrupted older volcaniclastics, and produced huge amounts of pyroclastic material, transported in a submarine pyroclastic flow, and settled as an over 107 m thick ignimbrite deposit. Diagenetic alteration is reflected in the development of clinoptilolite and mixed layer clay minerals beidellite/montmorillonite/illite.

Whether the second, vigorous eruption terminated with non-explosive magma eruption is not known. Outcrops of lava flows were not found in the broader Trobni Dol area, and for this reason it is very likely, that peperite developed during the termination of explosive volcanic activity when magma infilled the conduit. In the contact with water-saturated sediments it desintegrated into hyaloclasts owing to chill-and-quench processes. Sudden temperature rise related to the magma intrusion caused matrix fluidisation which enabled dispersion of hyaloclasts away from the contact of magma and the sediment.

After the termination of volcanic activity, local resedimentation of deposited pyroclastic material started, with normal transporting agents related to a marine environment.

Vulkanoklastične kamnine v vrtini Tdp-1/84 Trobni Dol, vzhodna Slovenija

Raziskovalna vrtina Tdp-1/84 je bila namenjena odkrivanju novih nahajališč premoga na območju Laške sinklinale. Locirana je bila pri vasi Trobni Dol in je prevrtila 360 metrov terciarnih plasti, vse do predterciarne podlage triasnega dolomita. Zgornjih 160 metrov so prevladovala vulkanoklastične kamnine, ki so v tem prispevku podrobneje obravnavane.

V zaporedju vulkanoklastičnih kamnin iz vrtine Tdp-1/84 smo ločili štiri glavne enote:

1. starejše vulkanoklastite,
2. mlajše piroklastite, sedimentirane s podmorskim piroklastičnim tokom,
3. peperit, in
4. sin-eruptivno presedimentirane vulkanoklastite

Sedimentacijska enota starejših vulkanoklastitov se nahaja v najglobljih delih vulkanoklastičnega zaporedja in je debela le 8.9 m. Sestoji iz lapilnega tufa, ki v najzgornejšem delu prehaja v kristaloklastični tuf s kalcitnim in piritnim cementom, ki predstavlja že nekoliko presedimentirano vulkanoklastično kamnino. Lapilni tuf je močno spremenjen v illit in glinen mineral z zmesno strukturo vrste beidellit/montmorillonit/illit.

Nad starejšimi vulkanoklastiti se nahaja 107 metrov debela enota piroklastičnih kamnin, ki so nastale ob močni vulkanski eksploziji riolitne magme. Eksplozija je porušila del starejših vulkanoklastičnih sedimentov in jih skupaj z juvenilnim materialom transportirala s podmorskim piroklastičnim tokom. Tako se v spodnjem delu nahaja tufska breča, ki prehaja navzgor v normalno gradiran lapilni, in nato v debelo-zrnat in drobnozrnat vitroklastični tuf. Največji lapili so bili v času transporta še dovolj vroči, da so se plastično deformirali. Najpogosteje so razpotegnjeni v smeri toka, najti pa je mogoče tudi bolj nenavadne oblike, podobne črki Z (Plate 2 - Slika 1). V piroklastičnem horizontu je značilen diagenetski mineral klinoptilolit.

Piroklastični horizont se konča s slojem sivice, v kateri je peperit. Peperit nastane tedaj, ko magma prodre v vlažen sediment in se zaradi nenadnega ohlajanja razdrobi ter pomeša s sedimentom. Zaradi intruzije se porna voda v sedimentu v pari in sediment postane podoben viskoviskozni tekočini. Proces imenujemo fluidizacija (M c P h e e et al., 1993). Fluidizacija je v peperitu iz vrtnice Tdp-1/84 še posebej lepo vidna zaradi obilice organske snovi v sivici (Plate 5 - Slike 1, 2, 3).

Nad peperitom se nahajajo sin-eruptivno presedimentirani vulkanoklastiti. Predstavljajo piroklastični material, ki se je presedimentiral z običajnimi dejavniki transporta v morskem okolju potem, ko je vulkanizem že prenehal delovati.

References

- Bittner, A. 1884: Die Tertiär-Ablagerungen von Trifail und Sagor. -Jb. Geol. R.-A., 34, 433-600, Wien.
- Buser, S. 1977: Osnovna geološka karta SFRJ, list Celje 1:100 000. - Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Buser, S. 1979: Tolmač lista Celje. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. - Zvezni geološki zavod, 72 pp., Beograd.
- Cas, R. A. F. & Wright, J. V. 1987: Volcanic successions, Allen & Unwin, 528 pp., London.
- Carey, S. N. & Sigurdsson, H. 1980: The Rosseau Ash: deep-sea tephra deposits from a major eruption on Dominica, Lesser Antilles arc. - J. Volcanol. Geother. Res. 7, 67-86, London.
- Dozet, S. & Rijavec, L. 1994: On the geological relations of the Šentjur-Planina-Trobni Dol-Loka at Žusem area. -Rud.-met. zbornik, 41, 27-41, Ljubljana.
- Ewart, A. 1979: A review of the mineralogy and chemistry of tertiary-recent dacitic, latitic, rhyolitic, and related salic volcanic rocks. - In: F. Baker (ed.), Trondhjemites, dacites, and related rocks. Elsevier, Developments in petrology 6, 13-112, Amsterdam.
- Fisher, R. V. & Schmincke, H.-U. 1984: Pyroclastic rocks, Springer-Verlag, 472 pp., Berlin.
- Fiske, R. S. & Matsuda, T. 1964: Submarine equivalents of ash flows in the Tokiwa Formation, Japan. - Am. J. Sci. 262, 76-106, Washington.
- Gill, J. B. 1981: Orogenic andesites and plate tectonics, Springer-Verlag, 390 pp., Berlin.
- Grad, K., Dozet, S., Petrica, R. & Rijavec, L. 1996: Pseudosocka beds with coal in borehole Tdp-1/84 Trobni Dol. - Geologija, 39, 97-118, Ljubljana.
- Hamlja, M. 1987: Optična odsevnost nekaterih slovenskih premogov. Geologija, 28/29, 293-317, Ljubljana.
- Kovič, P. & Mišič, M. 1989: Clinoptilolite alteration in the Trobni Dol volcanic rocks, Slovenia, NW Yugoslavia. - Recent Research Reports of the 8th International Zeolite Conference, 24-26, Amsterdam.
- McPhee, J., Doyle, M. & Allen, R. 1993: Volcanic textures, University of Tasmania, 198 pp., Hobart.
- Munda, M. 1939: Stratigrafske in tektonske prilike v rajhenburški terciarni kadunji. Inauguralna disertacija. - Rud. met. zbornik, 3, 49-170, Ljubljana.
- Petrica, R. 1983: Raziskave premoga na območju Trobni dol. - Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, 21 pp., Ljubljana.
- Petrica, R., Rijavec, L. & Dozet, S. 1995: Stratigraphy of the Upper oligocene and Miocene beds in the Trobni Dol area (Kozjansko). - Rud.-met. zbornik, 42/3-4, 127-141, Ljubljana.
- Rijavec, L. 1983: Mikropaleontološke raziskave vzorcev iz okolice Trobnega dola. - Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, 8 pp., Ljubljana.
- Rijavec, L. 1984a: Biostratigrafske raziskave v vzhodni Sloveniji za leto 1984. Manuskript. - Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, 17 pp., Ljubljana.
- Rijavec, L. 1984b: Mikropaleontološke raziskave vzorcev iz vrtine Tdp-1/84 (Trobni dol). - Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, 7 pp., Ljubljana.
- Stur, D. 1871: Geologie der Steiermark, 654 pp., Graz.
- Wright, J. V. & Mutti, E. 1981: The Dali Ash, Island of Rhodes, Greece: a problem in interpreting submarine volcanogenic sediments. Bull. Volcanol., 44, 153-167.
- Yamada, E. 1973: Subaqueous pumice flow deposits in the Okinobe Caldera, Miyagi Prefecture, Japan. - J. Geol. Soc. Jap. 79, 585-597, Tokyo.
- Zollikofer, Th. 1861: Über die geologischen Verhältnisse des Södöstlichen Teiles von Untersteiermark. - Jb. Geol. R.-A., 12, 311-366, Wien.

Plate 1 - Tabla 1

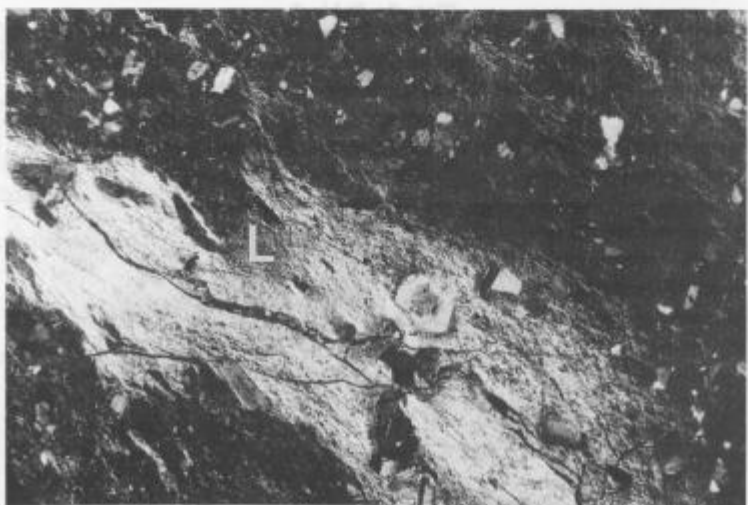
- 1 Lapilli tuff from the older volcanoclastic unit, borehole depth 155.6 m. Volcanic glass in pumice lapilli (L) is extensively replaced by clay minerals. Plane polarised light, magnification 23 ×
Laplilni tuf, starejši vulkanoklastiti iz globine 155.6 m. Vulkansko steklo v plovčevih lapilih (L) je močno nadomeščeno z minerali glin. Presevna polarizirana svetloba, povečava 23 ×
- 2 Crystal tuff with calcite and pyrite cement, older volcanoclastic unit, borehole depth 149.0 m. Plane polarised light, crossed nicols, magnification 23 ×
Kristaloklastični tuf, starejši vulkanoklastiti iz globine 149.0 m. Presevna polarizirana svetloba med navzkrižnimi nikoli, povečava 23 ×
- 3 Another view to a pumice lapillus (L), replaced by clay minerals. Borehole depth 120.3 m. Plane polarised light, magnification 63 ×
Še en pogled na plovčev lapil (L), nadomeščen z minerali glin. Plane polarised light, magnification 23 ×



1



2



3

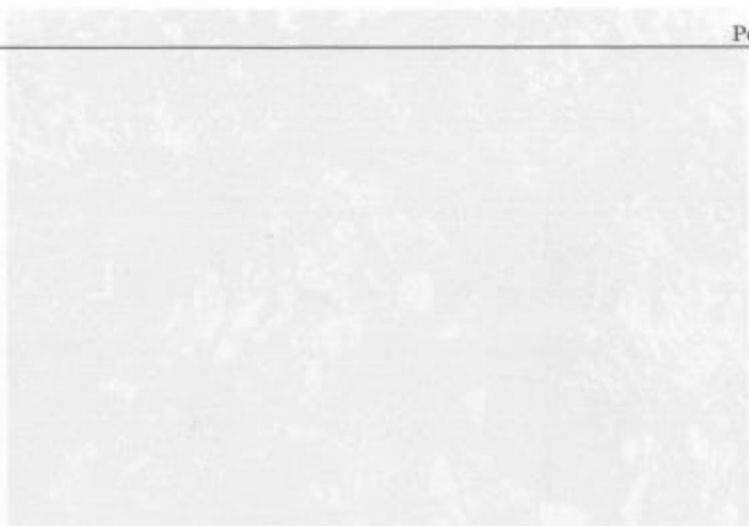
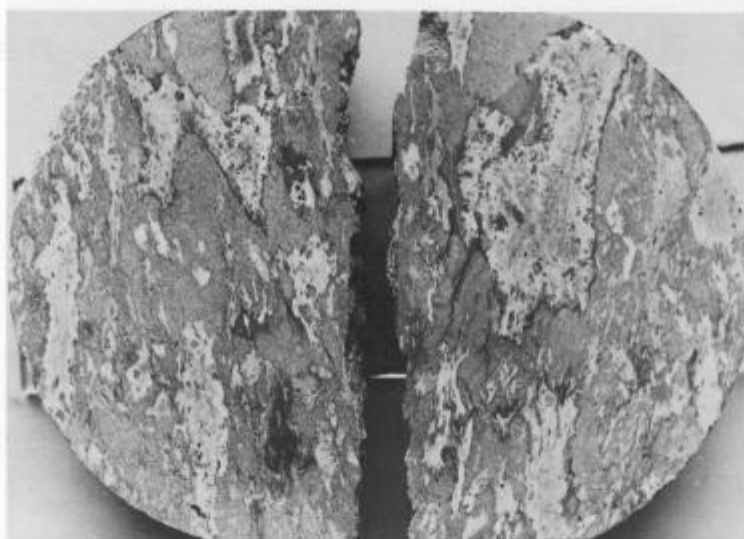


Plate 2 - Tabla 2

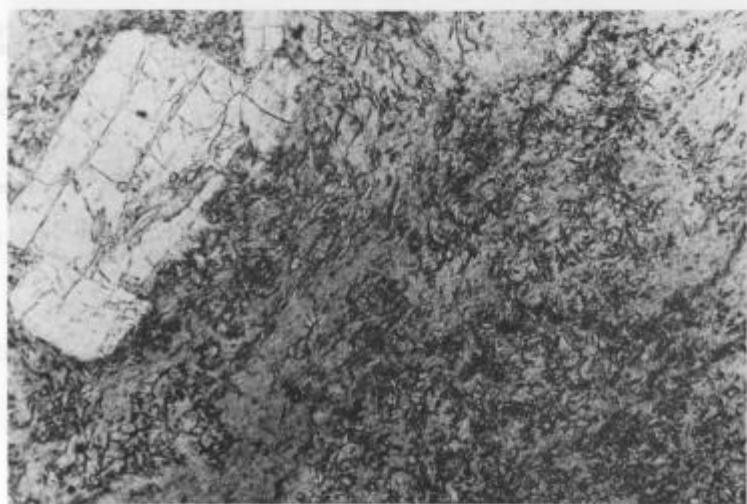
- 1 Polished core surface from the borehole at a depth of 83.2 m. Many lapilli have flame-like endings, and some of them have extraordinary Z-shape. Core diameter is 9 cm
Polirana površina jedra vrtine iz globine 83.2 m. Številni lapili imajo na koncih oblike, ki so podobne ognjenim zubljem, maloštevilni med njimi po obliki spominjajo na črko Z. Premer jedra je 9 cm
- 2 Lapilli endings under the microscope, borehole depth 83.2 m. Plane polarised light, magnification 23 ×
Robni deli lapilov pod mikroskopom, globina 83.2 m. Presevna polarizirana svetloba, povečava 23 ×
- 3 A detail of a deformed lapillus (L), borehole depth 83.5 m. Glassy groundmass resembles to a welded tuff. Plane polarised light, magnification 23 ×
Detajl deformiranega plovčevega lapila (L) iz globine 83.5 m. Steklasta osnovna masa spominja na nataljene tufe. Presevna polarizirana svetloba, povečava 23 ×



1



2



3

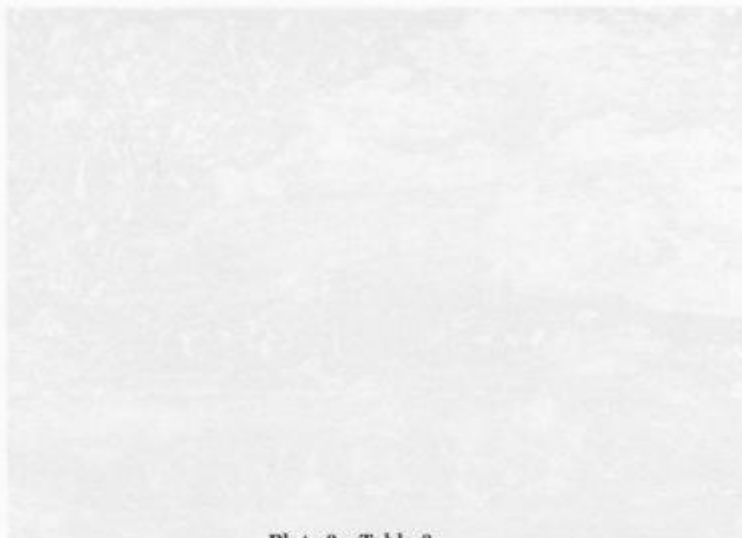
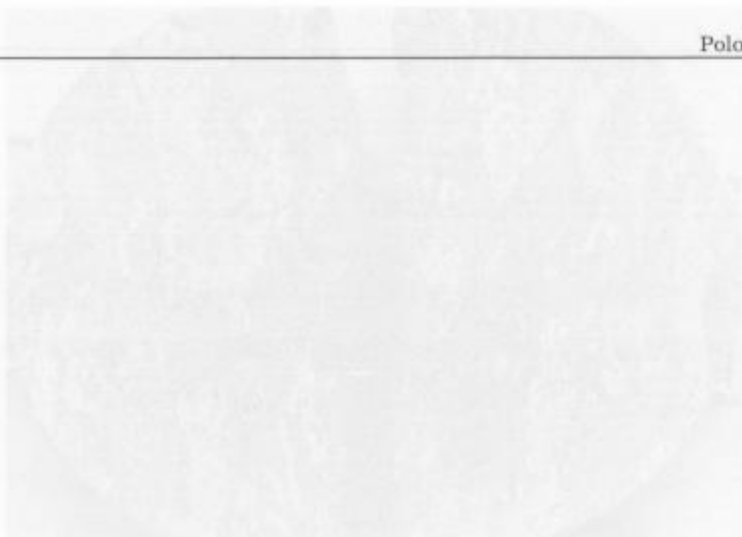
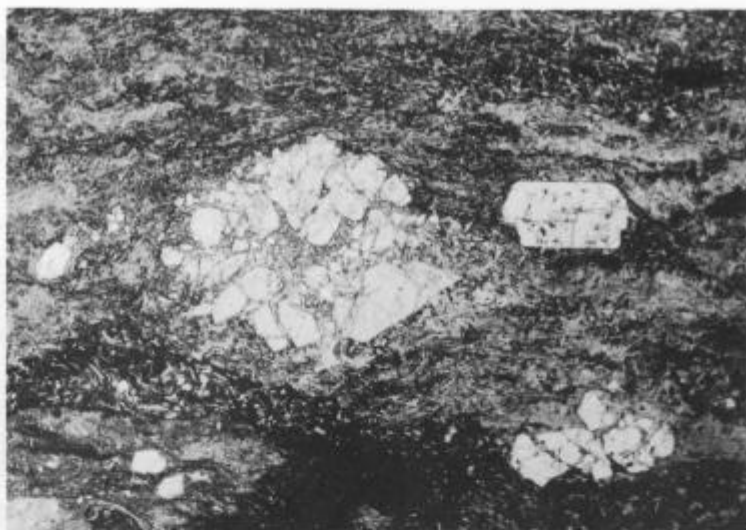


Plate 3 - Tabla 3

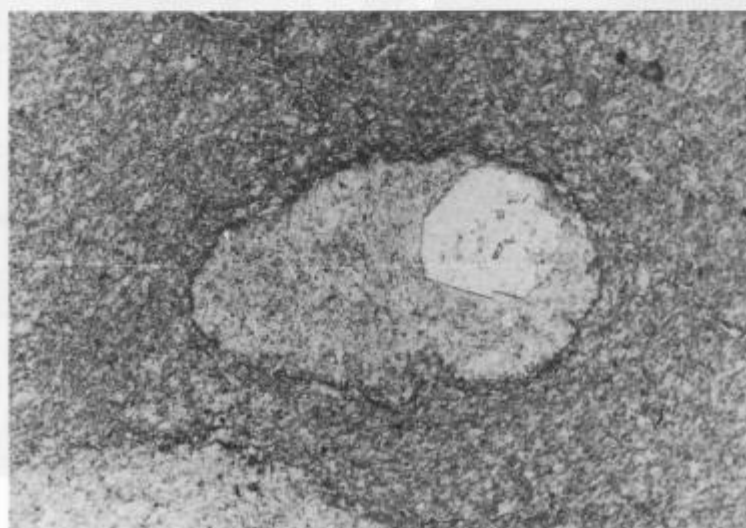
- 1 During the lapilli deformation, vesicles collapsed into glass shards and the plagioclase phenocryst was broken „in situ“. Borehole depth 95.0 m. Plane polarised light, magnification 63 ×
Med deformacijo lapila so se votlinice plinskih mehurčkov porušile in nastale so črepi-njice vulkanskega stekla, vtrošnik plagioklaza pa se je tudi zdrobil na mestu. Presevna polarizirana svetloba, povečava 63×
- 2 A clast of peperite in the lapilli tuff from a borehole depth of 83.5 m. Plane polarised light, magnification 63 ×
Klast peperita v lapilnem tufu z globine 83.5 m. Presevna polarizirana svetloba, poveča-va 63 ×
- 3 Fine-grained vitric tuff from the syn-eruptive resedimented unit, at a depth of 13.4 m. Plane polarised light, magnification 63 ×
Drobnozrnat vitrični tuf iz enote sin-eruptivno presedimentiranih vulkanoklastitov. Globina 13.4 m, presevna polarizirana svetloba, povečava 63 ×



1



2



3

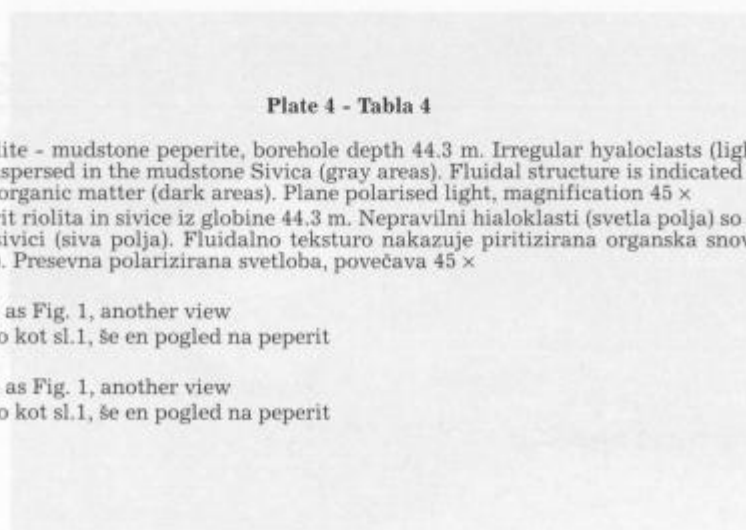
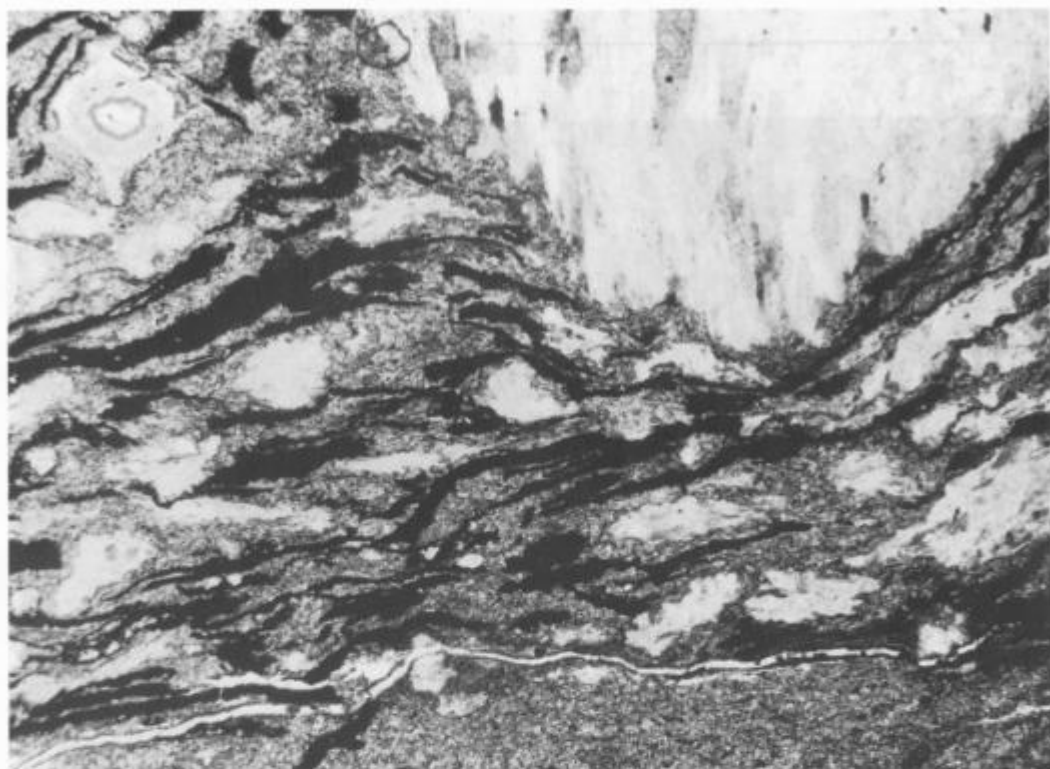
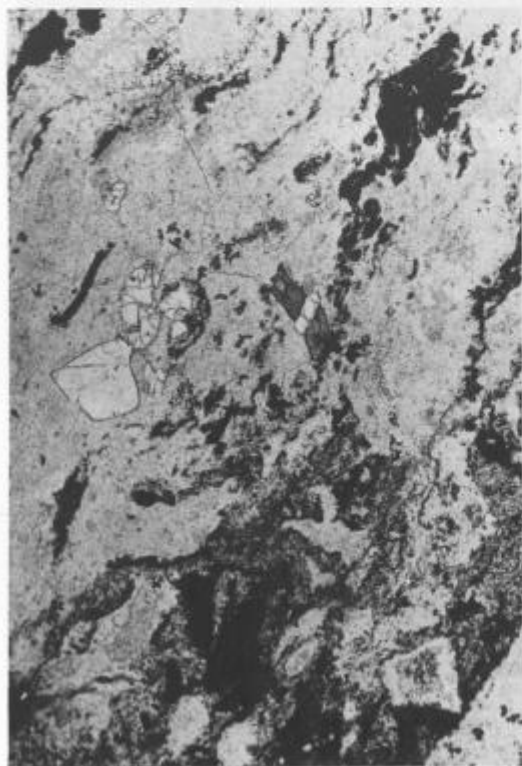


Plate 4 - Tabla 4

- 1 Rhyolite - mudstone peperite, borehole depth 44.3 m. Irregular hyaloclasts (light areas) are dispersed in the mudstone Sivica (gray areas). Fluidal structure is indicated by pyritised organic matter (dark areas). Plane polarised light, magnification 45 x
Peperit riolita in sivici iz globine 44.3 m. Nepravilni hialoklasti (svetla polja) so razpršeni v sivici (siva polja). Fluidalno teksturo nakazuje piritizirana organska snov (temna polja). Presevna polarizirana svetloba, povečava 45 x
- 2 Same as Fig. 1, another view
Enako kot sl.1, še en pogled na peperit
- 3 Same as Fig. 1, another view
Enako kot sl.1, še en pogled na peperit



1



2

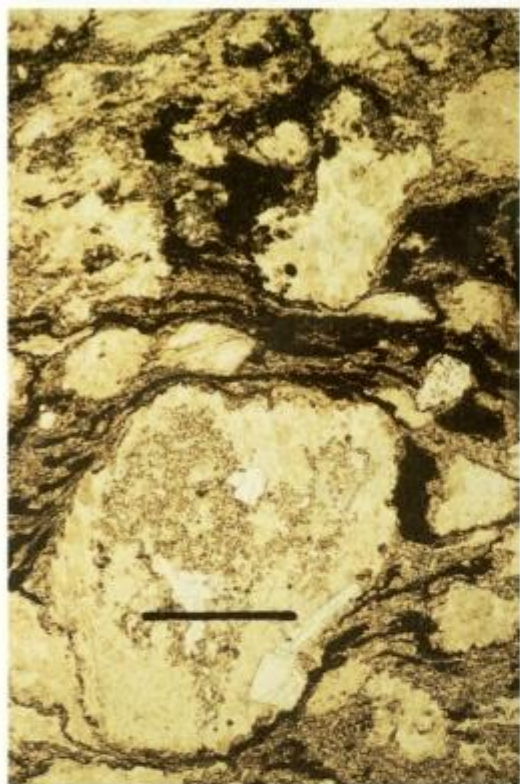


3



Plate 5 - Tabla 5

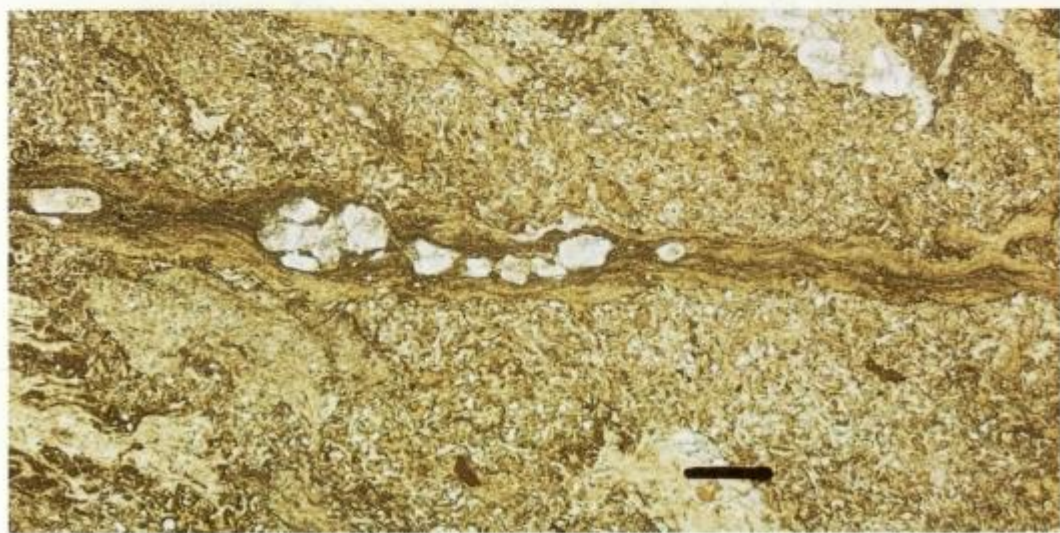
- 1 Rhyolite - mudstone peperite, borehole depth 44.3 m. Irregular hyaloclasts of rhyolite (light areas) are dispersed in the mudstone matrix (gray areas). Pyritised organic matter shows the flow direction (dark areas). Plane polarised light, scale bar 0.1 mm
Peperit riolita in sivici iz globine 44.3 m. Nepravilni hialoklasti riolita (svetla polja) so razpršeni v sivici (siva polja). Organska snov je razporejena v smeri tečenja (temna polja). Presevna polarizirana svetloba, merilo 0.1 mm
- 2 A clast of peperite in the lapilli tuff from a borehole depth of 83.5 m. Plane polarised light, magnification 23x
Klast peperita v lapilnem tufu z globine 83.5 m. Presevna polarizirana svetloba, povečava 23 x
- 3 A narrow belt of fine-grained matrix with oriented plagioclases indicating dynamical flow-conditions. Borehole depth 83.0 m. Plane polarised light, scale bar 0.1 mm
Ozek pas razpotegnjene drobnozrnate tufske osnove z orientiranimi plagioklazi, ki kaže na dinamične pogoje tečenja. Globina 83.0 m. Presevna polarizirana svetloba, merilo 0.1 mm



1



2



3

Skrilav glinovec ali glinast skrilavec?

Shale or slate?

Mirka Eržen-Trajanova
Geološki zavod Slovenije,
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: skrilav glinovec, glinast skrilavec
Key words: shale, slate

Kratka vsebina

Skrilav glinovec in glinast skrilavec sta izraza, zaradi katerih smo nemalokrat v zadregi. V območju anchizone, ko sedimentne kamnine prehajajo v metamorfne, je pogosto težko zagovarjati eno ali drugo uvrstitev, ne da bi dali prav tudi nasprotnemu mišljenju. Zato se je, poleg upoštevanja fizikalno-mehanskih, teksturno-strukturnih in ne nazadnje tudi mineraloško-kemijskih parametrov najpametneje dogovoriti, kako bomo take kamnine določenega nivoja in starosti imenovali. V prispevku so podani praktični nasveti, na osnovi katerih si lahko pomagamo pri makroskopski opredelitvi omenjenih kamnin.

Abstract

Shale and slate are rock names, which are very often the cause of our doubts. In the field of anchizone, where sedimentary rocks transit to metamorphic rocks, it is often difficult to defend one or another name, without recognizing the opposite opinion, too. Besides considering physico-chemical, structural-textural and last but not least mineralogic-chemical parameters, the best for quick use is to agree upon how we are going to call this particular kind of rocks and to which stratigraphic level they belong. Practical suggestions for their definition are given in the present paper.

Uvod

Že vrsto let se s kolegi iz našega zavoda in s tistimi, ki se srečujejo z različnimi kamninami na terenu ali drugje, pogovarjamo in drug drugega prepričujemo, o pomenu in rabi nekaterih geoloških izrazov.

Na to, kako so stvari lahko zapletene, če o njih ne obstoja osnovni dogovor, sta me navedli dve besedi, ki jima z menjavo vrstnega reda, bistveno menjamo pomen. To sta skrilav glinovec in glinast skrilavec.

Osnovna težava pri odločitvi, kateri izraz bomo uporabili izhaja iz tega, ker se nahajamo v območju anhicone, kjer se diagenetsko zrela sedimentna kamnina, zaradi zunanjih vzrokov, začne postopno spreminjati v metamorfno kamnino. Prav zaradi postopnosti obstaja v odločitvah in interpretacijah velika mera subjektivnosti. Kje postaviti mejo med diagenozo in metamorfozo? Upam, da bo prispevek vsaj nekaterim pomagal rešiti dilemo, druge pa vzpodbudil, da se bomo v korist naše stroke dogovorili o problemih, s katerimi se srečujemo pri delu.

Na prehodu sedimentne v metamorfno kamnino

Vsi soglašamo, da so skrilavi glinovci sedimentne, glinasti skrilavci pa metamorfne kamnine. Toda kako ju ločiti? Za uvrstitev omenjenih prehodnih kamnin obstajajo različne analitske metode, katere temeljijo predvsem na preiskavah glinenih mineralov. Take so npr.: določanje stopnje kristaliničnosti illita, določanje sestave in urenjenosti strukture glinenih mineralov z zmesno strukturo (Reichweite) itd. Vse to pa zahteva preiskave, ki so na terenu in pri mikroskopski determinaciji, skratka pri vsakdanji rabi, neizvedljive in predrage. Potrebovali bi elemente, ki bodo prepoznavni s prostim očesom in v skrajnem primeru pod mikroskopom. Navedla bom parametre, s katerimi si pomagam sama. Jasno pa je, da bodo razlike v odločitvah vedno obstajale, kot je to drugod po svetu in na vseh mejnih področjih.

Na hrvaškem govornem območju so težavo z obravnavanima izrazoma rešili zelo enostavno in iz angleščine privzeli imeni „šejl“ in „slejt“. Mislim, da to ni potrebno, ker imamo lepe domače izraze, samo dogovorimo se, katere kamnine bomo z njimi označevali in kje se pri nas nahajajo.

Za začetek si pogledimo, kaj pomenita angleška izraza za skrilav glinovec - SHALE in glinast skrilavec - SLATE. V takih primerih se vedno zatekam k „glosariju“ (Glossary of Geology), ki ga je izdal American Geological Institute, Washington, D.C. leta 1972 in je doživel več ponatisov. Skušala ju bom čim točneje prevesti, ker menim, da omenjeni slovar ni vsem pri roki.

Skrilav glinovec (shale): Drobnozrnata, strjena, detritična sedimentna kamnina, nastala s konsolidacijo (s stiskanjem, kompresijo ali s cementacijo) gline, melja ali mulja, za katero je značilna zelo tanka plastnata tekstura (lamina 0,1-0,4 mm debela) in/ali razkolnost, ki je približno vzporedna plastovitosti (vzdolž katere se kamnina z lahkoto kolje v tanke plasti/ plošče), ki je navadno najbolj jasna na preperelih površinah. Sestavljen je iz znatne količine glinenih mineralov ali njihovih produktov in ima visoko vsebnost detritičnega kremenca; tanko laminiran ali razkolen glinovec, meljevec ali muljevec. Navadno vsebuje najmanj 50 % melja, 35 % „gline ali fine sljudne frakcije“ in 15 % kemičnih ali avtigenih materialov (K r y n i n e, 1948, str. 154-155). Skrilav glinovec je v splošnem mehak, toda zadosti trd, da ne razpade pri močenju; je manj trden kot argilit ali glinasti skrilavec (slate), navadno se iverasto kroji, ima gladek otip in ga z lahkoto razimo. Po barvi je lahko rdeč, rjav, črn, siv, zelen ali moder. Izraz „shale“ velja včasih kot teksturni izraz s pomenom tanke plastovitosti ali razkolnosti, ne da bi upoštevali kako posebno sestavo; napačno se je uporabljal za masivne ali v bloke strjene melje in gline, ki niso laminirani ali za laminirane melje in gline, ki niso strjeni pa do fino zrnatih in tanko laminiranih peščenjakov in glinastih

skrilavec (kot za „laporni glinasti skrilavec“). Pregled o izvoru in uporabi izraza „shale“ je podal T o u r t e l o t (1960), ...

Ker nas v tem delu izvor besede „shale“ ne zanima, zadnjega dela razlage ne bom prevajala.

Glinast skrilavec (slate): a) Gosta, drobnozrnata, metamorfna kamnina nastala iz kamnin kot so skrilav glinovec ali vulkanski pepel, ki se cepijo vzdolž ravnin neodvisnih od izvorne plastovitosti (slaty cleavage = skrilav klivaž), pri čemer se lahko koljejo v plošče, ki so litološko nerazpoznavne (H i m u s, 1954). b) Premogarski izraz za katerikoli skrilav glinovec, ki spremlja premog; včasih tudi ekvivalent „kostnega“ premoga. (bone coal „ različek sapropelsko-durenskega premoga (ustna razlaga M. Markič)).

Spremembe, ki skrilav glinovec spremenijo v glinast skrilavec, so predvsem posledica dinamometamorfoze in se odvijajo pri relativno nizkih temperaturah. Zato razlike med obema iščem na osnovi fizikalno-mehanskih in teksturnih parametrov, ki so prikazani v tabeli 1.

Tabela 1: Makroskopske razlike med skrilavim glinovcem in glinastim skrilavcem

skrilav glinovec	glinast skrilavec
<ul style="list-style-type: none"> - Ima masten, gladek otip. - Pri dolgotrajni izpostavljenosti vodni sredini počasi razpade v glino. - Pri preperevanju tanko iverasto razpada v smeri plastovitosti, kar je zanj značilna krojitev. - Razkolne površine so mastno svetleče in se z dotikanjem hitro zamažejo (izgubijo sijaj). - Je izrazito higroskopičen. - Skrilavost je približno vzporedna laminaciji. - Z lahkoto ga razimo z nohtom. - Nima lineacije, ker ima samo eno skrilavost. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ima gladek otip. - Pri dolgotrajni izpostavljenosti vodni sredini ostane nespremenjen. - Pri preperevanju tanko luskasto razpada v smeri skrilavosti, kar je zanj značilna krojitev. - Razkolne površine so mastno do svilenlo svetleče in z dotikanjem ne izgubijo sijaja. - Je zelo slabo ali ni higroskopičen. - Skrilavost sledi ali ne sledi laminaciji, zato je pogost diferencialni klivaž (sl. 1). - Z nohtom se s težavo ali sploh ne razí. - Pogosta je lineacija na preseku skrilavosti s_0 in s_1.

Pod mikroskopom so razlike vidne v mikrodislokacijah, zaradi katerih se je v skrilavem glinovcu izoblikovala skrilavost, ki je pogosto različno orientirana kot mikrolamine. Meljasti (pretežno kremenovi) klasti so rahlo sploščeni, listasti minerali (il-lit/muskovit = sericit) pa so v večji ali manjši meri reorientirani in delno rekristalizirani v smeri skrilavosti. Zaradi tega nastane nova smer cepljenja kamnine - takoimenovani skrilav klivaž (slaty cleavage). Pirit, kot pogost mineral v glinastih skrilavcih, je večkrat obraščen z vlaknatim kremenom ali/in kalcitom ali/in kloritom, katerih

vlakna so usmerjena pravokotno na smer povečanega pritiska. Pravimo, da so rastla v sencah pritiskov (pressure shadow). Pri tako nizki stopnji metamorfoze še ne nastajajo indeksni minerali, razen v primerih bolj bazičnega kemizma, ko kristalizirajo zeoliti.

Drobne razlike bi lahko še naštevali, vendar se mi zdi, da bi s tem možnost ločevanja samo zameglili, ne pa osvetlili.

Skrilavost in skrilavec

Opozoriti moram še na zelo pogosto napačno uporabo besede „skrilavec“ (angl. schist). Ime je rezervirano izključno za metamorfne kamnine s skrilavo teksturo (glinasti skrilavci, zeleni skrilavci, ...) in ga ne smemo istovetiti z besedo „skrilavost“. Ko govorimo o skrilavosti, pomeni to teksturno oznako in izraz lahko uporabimo pridevniško pred katerokoli vrsto kamnine ali usedline, naprimer: skrilava glina (nevezana usedlina), skrilav glinovec/meljevec/lapor/tuf (sedimentne kamnine), skrilav granit (v primeru, da je v tektonski coni tanko, subparalelno razluskan), skrilav amfibolit, ki ni isto kot amfibolski skrilavec itd. Glede na to je uporaba naziva „metamorfni skrilavec“ pleonazem, ali nepotrebno, če že ne napačno poudarjanje.

Za tako stanje pri uporabljanju gornjih nazivov je delno kriva tudi neustrezna razlaga SKRILAVCA v Mineraloško-petrološkem izrazoslovju (G r a f e n a u e r in drugi, 1972, 221). Zato se bom tudi tu poslužila „glosarija“:

Skrilavec (schist): Kristalasta kamnina z izrazito foliacijo, nastala pri dinamometamorfozi, ki se lahko kroji v tanke luske ali plošče zaradi dobro razvitega paralelizma (usmerjene orientacije - prip. avt.) več kot 50 % prisotnih mineralov, posebno tistih z listasto ali podolgovato, prizmatično obliko, npr. sljuda, rogovača. Mineralna sestava ni bistveni faktor pri njegovi definiciji (ameriška raba), razen če ni posebej vključena v imenu kamnine, npr. kremenovo-muskovitni skrilavec. Različke lahko imenujemo tudi na osnovi splošne sestave, npr. karbonatno-silikatni skrilavec, amfibolitni skrilavec, ali strukture, npr. pegasti skrilavec.

Diskusija in zaključek

Pelitni sedimenti iz diagenetsko zrelih skrilavih glinovcev (shales), predvsem pod vplivom dinamometamorfoze, postopno preidejo v *glinaste skrilavce* (slates). Spremembe so najmočnejše v območju tektonskih premikov. Zato je lahko lokalno izražena stopnja sprememb dokaj različna. Teksturno-strukturni pokazatelji so odvisni od smeri delujočih povečanih pritiskov glede na primarno plastovitost.

Na osnovi navedenih značilnosti uvrščam temno sive do črne, tanko skrilave kamnine karbonske starosti (npr. z Golovca) med glinaste skrilavce (slate) v začetnem delu anhicone. V isto skupino štejem tudi Zaliloški strešni skrilavec in vsaj del psevdofiljskih skrilavcev, ki kažejo zgoraj opisane lastnosti. Med skrilave glinovce uvrščam predvsem terciarne karbonatne do lapornate glinovce in muljevce s skrilavo teksturo. Kaj pa skrilavci Štalenskogorske formacije? Zanje izraz glinasti skrilavec ne ustreza povsem, saj se delno nahajajo že na zgornjem robu anhicone, na prehodu v epicono. Zaradi višje stopnje metamorfoze iz njih nastajajo filiti. Zato jim izraz filitni skrilavci, ki ga je uporabila H i n t e r l e c h n e r - R a v n i k o v a (1971, 194) bolj odgovarja. V tolmaču k OGK 1:100.000, list Slovenj Gradec M i o č in Ž n i d a r č i č



Sl. 1.
Diferencialni klivaž, ki je nastal na prehodu med glinastim skrilavcem in lamino meljastega peščenjaka. Puščica kaže zaglinjeno drsno površino v smeri skrilavosti. Predor Golovec, pomanjšano 3 x.

Fig. 1.
Differential cleavage developed at the transition from slate to silty sandstone lamina. Arrow shows clayish sliding plane. Golovec tunnel, size reduced 3 x.

(1978, 23) uporabljata ime glinast skrilavec, vendar z opombo, da je že filitoiden. Zato, da bi poudarili višjo stopnjo metamorfoze od karbonskega glinastega skrilavca in da jih ne bi zamenjevali s filiti, predlagam ime filitni glinasti skrilavci, podobno kot jih v Avstriji na geološki karti merila 1:25.000 na območju Svinje planine imenujejo „toncschieferphyllit“ (P i l g e r u n d S c h ö n e n b e r g, 1978).

Ko se gibljemo med diagenozo in metamorfozo, moramo vedno upoštevati, da bodo sedimentologi pozorni na sedimentološke značilnosti kamnine, petrologi pa na metamorfne. Razlike v odločitvah bodo zato še vedno obstajale. Odgovorimo si torej na vprašanje: koliko dreves ali trav na določeno površino moramo imeti, da se nahajamo v gozdu ali na travniku?

Shale or slate?

When acting in the zone of anchimetamorphose in our country in practice there is still not clear, when to place certain rocks among shales and when among slates. At the field we are not able to determine e.g. illite crystallinity, degree of internal order

and kind of mixed-layered clay minerals and so on. Therefore I made a list of macroscopically visible characteristics (differences) which could be used in the field.

Table 1: Macroscopic differences between shale and slate

shale	slate
<ul style="list-style-type: none"> - It has greasy, smooth feel. - When long exposed to water it degrades slowly to clay. - At weathering it has thinny splintery fracture along bedding. - Fractured surfaces are greasy shinning and they lose luster by touching. - It is strongly hygroscopic. - Schistosity is approximately parallel to lamination. - It is easily scratched by nail. - It has no lineation because it has only one schistosity. 	<ul style="list-style-type: none"> - It has smooth feel. - When long exposed to water it remains unchanged. - At weathering it has thinny platy fracture along schistosity (slaty cleavage). - Fractured surfaces are greasy to silky shinning and do not lose luster by touching. - It is poorly or not hygroscopic. - Schistosity follows or not to lamination, therefore differential cleavage frequently occur (fig. 1). - It is hardly, or not at all scratched by nail. - Lineation at the intersection of schistositities s_0 and s_1 is common.

Based upon above listed characteristics dark gray to black, finely schistose rocks of Carboniferous age, as for example at locality Golovec, belong to slates positioned at the begining of anchizone. It seems that Zalilog roofing slate and at least part of the Pseudozilian schistose rocks which show the same characteristics, could be assigned to the same group. Tertiary carbonate to marly schistose claystones and mudstones could mainly be labeled as shales. And what about Magdalensberg series schistose rocks? The term slates do not seem the most satisfactory for them, as at least part of them already belong to the upper part of anchizone with transition to epizone (to phyllites). Therefore the term phyllite schists, used by H i n t e r l e c h n e r - R a v n i k (19971, 194) seems more suitable. M i o č and Ž n i d a r č i č (1978, 23) used for them term slates remarking that they are already phyllitic. Intending to point out higher grade metamorphose of Magdalensberg slates compared to Carboniferous slates and not to mix them with phyllites, my suggestion for their name is phyllitic slates. This name also corresponds to the term „tonschieferphyllit“ used by P i l g e r and S c h ö n e n b e r g (1978) on the Geological map of Saualpe, scale 1:25.000.

Talking about anchizone we should be aware that sedimentologists will devote more attention to sedimentological and petrologists to metamorphic characteristics of the rock. Differences in opinions will therefore, still exist.

Literatura

- Gary, M., Mc Afee, R. Jr & Wolf, C. L., (eds.) 1972: Glossary of Geology. - American Geol. Inst., Washington, D.C.
- Grafenauer, S., Duhovnik, J. & Hinterlechner-Ravnik, A. 1972: Mineraloško petrološko izrazoslovje. - Univ. Ljubljana, FNT, 275 pp., Ljubljana.
- Hinterlechner-Ravnik, A. 1971: Pohorske metamorfne kamnine. - *Geologija* 14, 187-226, Ljubljana.
- Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tolmač za list Slovenj Gradec. Zvezni geol. zavod, 74 pp., Beograd.
- Pilger, A. & Schönemberg, R. 1978: Geologische Karte der Saualpe, Süd (Kärnten) 1:25.000. - Geol. B. A., Wien.

Ustanova za raziskovanje in razvijanje
in Sodelujna

Članka je bilo predloženo v revijo izročila iz
regije in Slovenije

Zgodnja literatura

Priloge in dodatki
1978-1979, Ljubljana, Slovenija

Priloge in dodatki
1978-1979, Ljubljana, Slovenija

Priloge in dodatki

Priloge in dodatki
1978-1979, Ljubljana, Slovenija

Priloge in dodatki

The 20. century evolution of the boundary between the
priloge in dodatki
1978-1979, Ljubljana, Slovenija

Cirkon v grödenskem peščenjaku z območja Žirovskega vrha in Sovodnja

Zircon in the Val Gardena sandstone from the Žirovski vrh and Sovodenj region, W Slovenia

Dragomir Skaberne

Geološki zavod Slovenije
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: cirkon, Grödenska formacija, perm, Žirovski vrh, Slovenija
Key words: zircon, Val Gardena Formation, Permian, Žirovski vrh, Slovenia

Kratka vsebina

Grödenska formacija permske starosti med Cerknim in Smrečjem je zaradi rdnih koncentracij urana in bakra ena zanimivejših formacij v Sloveniji. Litofacialno korelacijo smo skušali izpopolniti z analizo zastopanosti tipoloških oblik cirkona. V grödenskem peščenjaku smo od 64 oblik v Pupinovi tipološki klasifikaciji zasledili 37 različnih oblik cirkona. Povezave med posameznimi oblikami cirkona, ki jih lahko združimo v sedem skupin, so relativno slabe. S tipološkimi oblikami cirkona je možno ločevati in korelirati posamezne litostratigrafske člene s povprečno 82 % zanesljivostjo. Znotraj posameznih členov pa je podrobnejša korelacija na sedanji stopnji raziskanosti nezanesljiva. Glede na najbolj izraženo polje oblik S19 in S24 sklepamo, da so imele največji vpliv med magmatskimi kamninami na izvornem območju magmatske kamnine orogenega območja Ca-alkalne in K-Ca-alkalne sestave.

Abstract

The Val Gardena Formation of the Permian age in the Žiri region between Cerčno and Smreče is one of more interesting formations in Slovenia because of occurrences of ore concentrations of uranium and copper. We tried to improve the lithofacial correlation by analysis of crystal forms of zircon. In the investigated Val Gardena sandstone, 37 different forms of zircon were found of the 64 types of the Pupin's typologic classification. Correlation between different crystal forms of zircon is relatively low, and they cluster into seven groups. The lithostratigraphic members can be distinguished and correlated according to the zircon crystal forms with the mean certainty of 82 %. However, within the lithostratigraphic members the detailed correlation is uncertain at the present stage of our knowledge. The field of the most frequent zircon crystal forms S19 and S24 indicates the prevailing influence of orogenic types of igneous rocks of Ca-alkaline and K-Ca-alkaline composition between different igneous rocks in the source area.

Uvod

V Sloveniji so kamnine Grödenske formacije, ki jo starostno uvrščamo v permsko periodo, ohranjene in razvite v največjem sklenjenem obsegu in debelini na Žirovskem, med Cerknim in Smrečjem. Na tem območju so v grödenskih kamninah že v prejšnjem stoletju poznali številne pojave bakrove rude. Po odkritju radioaktivnih anomalij na Žirovskem vrhu leta 1960, se je zanimanje za grödenske kamnine zelo povečalo. Nadaljne raziskave so vodile k odprtju Rudnika urana Žirovski vrh, ki pa je od leta 1991 v fazi zapiranja.

Pri raziskovanju in kasnejšem sledenju uranove rude so se geologi srečevali s problemi korelacije, ki so posledica razgibanega rečnega sedimentacijskega okolja, v katerem so se usedali sedimenti, ki grade sorazmerno monotone klastične kamnine spodnjega dela Grödenske formacije. Ti so brez značilnih fosilnih ostankov, brez vodilnih horizontov in s številnimi naglimi facialnimi spremembami ter v nekaterih delih v kompleksnih strukturnih odnosih. V takih razmerah so raziskovalci poskušali priti do podrobnejše litološko facialne korelacije in med drugim tudi do korelacije na osnovi mineralne sestave lahke in težke frakcije.

Veliko podatkov o sestavi in korelaciji grödenskih kamnin je v neobjavljenih poročilih. Iz prvega obdobja raziskav je podatke o razvoju in korelaciji grödenskih kamnin na Žirovskem vrhu zbral O m a l j e v (1965, 1967 a, b). Iz tega obdobja so podatke objavili tudi R i s t i ć in M a r k o v (1971) ter P r o t i ć s sodelavci (1972), ki izkazujejo tedanjo stopnjo poznavanja grödenskih kamnin v rudišču Žirovski vrh. Leta 1971 je geološke raziskave na območju Žirovskega vrha prevzel Geološki zavod Ljubljana. S tega obdobja sta za korelacijo pomembni predvsem dve deli. L u k a c s in F l o r j a n č i ć (1974) sta dokazala, da v osrednjem delu rudišča ni štirih pasov orudenja, temveč so le-ti posledica nagubane strukture (dvojna S struktura). Za litološko facialno korelacijo je pomembno delo B u d k o v i ć a (1980), ki je v spodnjem delu Grödenske formacije imenovanem siva grödenska formacija, ločil deset litostratigrafskih horizontov. Ta razdelitev je služila tudi za operativno korelacijo na območju rudnika Žirovski vrh. Od 1978 do 1985 je M l a k a r litostratigrafsko opredelil celotno Grödensko formacijo med Cerknim, Žirovskim vrhom in Smrečjem ter opisal geološko zgradbo obravnavanega ozemlja.

S sestavo grödenskih kamnin na tem območju so se ukvarjali Hinterlechner-Ravnikova, Grad, Ramovš, Grafenauer, Radošević, Janković, Protić, Drovenik, Silvestrova, Orehkova, Dolenc, Skaberne, Štrumberger in drugi. Podrobnejšo korelacijo v spodnjem, pretežno sivem, uranonosnem delu Grödenske formacije so skušali vzpostaviti z analizo mineralov težke frakcije.

V grödenskem peščenjaku je do 1.4%, povprečno 0.28% masnega deleža težke frakcije. Od tega pripada večina neprozornim zrnom: ilmenitu, levkoksenu, magnetitu, hematitu, hematiziranim drobcem in piritu ter sfaleritu, ki sta avtigena. Med prozornimi težkimi minerali, ki so količinsko podrejeni, so bili ugotovljeni: cirkon, rutil, turmalin, granati, amfiboli, apatit, zoisit (klinozoisit), epidot, pirokseni, titanit, stavalolit, disten in andaluzit, kot pretežno terigena zrna, brookit, ki je lahko terigen ali avtigen in barit kot avtigen mineral. Poleg tega so v težki frakciji tudi kloriti in biotit. Cirkon, rutil, turmalin, granati, amfiboli, apatit, zoisit (klinozoisit) in epidot predstavljajo večino prozornih težkih mineralov, medtem ko so ostali v manjšem številu vzorcev, in sicer v sledovih. Kljub številnim poskusom, tudi z analizo mineralov težke frakcije, niso prišli do podrobnejše korelacije znotraj sivega, spodnjega dela Grödenske formacije (S k a b e r n e, 1995).

Kasneje je Š t r u m b e r g e r (1986 a) začel proučevati uporabnost cirkona kot korelacijskega minerala v spodnjem delu Grōdenske formacije. Študij cirkona smo v več fazah nadaljevali do 1990 in ga razširili na večji del Grōdenske formacije. Zbrane podatke in izsledke objavljamo v tem prispevku.

Cirkon je namreč prisoten v vseh vzorcih in pogosto predstavlja prevladujočo komponento mineralov težke frakcije. Zaradi spremenljivosti oblik, barv, optičnih in drugih fizikalnih ter kemičnih lastnosti cirkona v odvisnosti od pogojev in okolja njegovega nastanka ter njegove visoke mehanske in kemične stabilnosti med preperevanjem, transportom in diagenozo se cirkon pogosto uporablja za stratigrafsko korelacijo in diferenciacijo sedimentnih, metamorfnih in magmatskih kamnin. Cirkon je tudi pomemben mineral za ugotavljanje petrogeneze, izvora, paleogeografskih interpretacij, določanje absolutne starosti, opredeljevanje mineraloške zrelosti klastičnih sedimentov in kot stabilnostni indikator v razvoju tal (M a r s h a l l, 1967).

Kristalna oblika cirkona

Cirkon je primarni magmatski mineral, ki nastaja večinoma med začetnimi fazami kristalizacije magme. Njegova kristalna oblika se spreminja od dolgih prizmatskih, preko prizmatskih do bipiramidalnih oblik. Na osnovi eksperimentalnih in petroloških študij so ugotovili, da na kristalno obliko cirkona vplivajo predvsem sledeči kemični in fizikalni pogoji:

Razmerje med alkalijami (predvsem Na) in aluminijem: naraščanje razmerja $(Na+K)/Al > 1$ v talini pospešuje nastanek bipiramidalnih kristalnih oblik cirkona (P o l d e r v a a r t, 1956; K o s t o v, 1973; P u p i n & T u r c o, 1972 b; C a r u b a, 1978).

Kislost taline: naraščanje kislosti taline pospešuje nastanek sploščenih kristalnih oblik (C a r u b a et al., 1975).

Količina vode v talini: v „suhih“ magmah se pri cirkonih razvije predvsem prizma (100), v „mokrih“ pa prizma (110) (P u p i n et al., 1978).

Spremembe v kemični sestavi cirkona: nadomeščanje Zr z U, Th, P in vodo domnevno pospešujejo nastanek bipiramidalnih oblik, medtem ko nadomeščanje Zr s Hf pospešuje nastanek prizmatskih oblik (K o s t o v, 1973). Spremenljivost oblike v odvisnosti od koncentracij določenih slednih prvin sta proučevala tudi B e n i s e k in F i n g e r (1993).

Temperatura: z naraščanjem temperature se večja prizma (100) in manjša prizma (110) (P u p i n & T u r c o, 1972 c, 1975). Hkrati s tem je opazna povezava med višjo temperaturo in povečanjem količine Zr, V, Co, Ni in redkih zemelj v magmatskih kamninah (P u p i n, 1985).

Prenasičenost taline s Zr: pri visoki prenasikičenosti taline raste prizma (110) hitreje od prizme (100), pri nizki prenasikičenosti pa je razmerje hitrosti rasti prizem obratno. Rast piramid (211) pa naj bi bila odvisna od količine adsorbiranih drugih atomov na te ploskve (V a v r a, 1990).

Hitrost kristalizacije: hitra kristalizacija pospešuje nastanek dolgih prizmatskih kristalov (K o s t o v, 1973).

Velikost kristalov: oblika kristalov cirkona se spreminja z njegovo rastjo in se kot dominantna razvija prizma (110) nad prizmo (100) (K ö h l e r, 1970; P u p i n & T u r c o, 1972 a, b). To je lahko tudi posledica znižanja temperature.

Cirkoni iz kimberlitov so zaobljeni (K r e s t e n et al., 1975).

Pogoji, ki vplivajo na kristalno obliko cirkonov, niso neodvisni med seboj. Zato je kristalno obliko cirkonov težko vezati le na enega izmed njih. P u p i n in T u r c o (1975) sklepata, da na kristalno obliko cirkonov od navedenih pogojev najbolj vplivata temperatura kristalizacije in razmerje alkalnih ter aluminijevih ionov v magmi. Pri tem pa bi morali vedno upoštevati kinetiko rasti cirkona (V a v r a, 1990).

V metamorfnih kamninah, ki so bile izpostavljene nizki in srednji stopnji metamorfoze, naj bi novonastali cirkon rasel pretežno sintaksialno na starejših zrnih in se tako njegova oblika ne bi bistveno spremenila. Pogosto so zrna cirkona nekoliko zaobljena, kar bi bila lahko posledica delne spremembe med metamorfozo (T u r c o & P u p i n, 1982). Delno zaobljena in avtigeno obrasla zrna cirkona pa so lahko le indikator metasedimentnih kamnin (W y a t t, 1954; V i t a n a g e, 1957; M u r t h y & S i d d i q u i e, 1964). V visoko metamorfnih kamninah so opazili ponekod popolno rekristalizacijo in nastanek novih kristalnih oblik cirkona (G a s t i l et al., 1967; D a v i s et al., 1968; A l i n a t et al., 1979; B l a t t et al., 1980). Možnost takih sprememb pri visoki stopnji metamorfoze nakazujejo tudi novejša raziskave (F a r g e s, 1994).

V sedimentnih in nizkometamorfnih kamninah so cirkonova zrna pogosto zaobljena. Kljub mehanski odpornosti cirkona se njegova zrna zaradi abrazije med transportom lahko zaoblji. Običajno pa je za izrazitejšo zaoblitev cirkonovih zrn potrebnih več sedimentacijskih ciklov. Poleg tega poročajo tudi o avtigenezi cirkona v sedimentnih kamninah (H u t t o n, 1950; A w a s t h i, 1961). Medtem ko S a x e n a (1966) zelo poudarja pomembnost avtigenega nastajanja cirkona v sedimentnih in nizkometamorfnih kamninah, pa M a r s h a l l (1967) tolikšnemu poudarku nastajanja avtigenega cirkona v diagenetskih in nizkometamorfnih pogojih oporeka.

Za uporabo kristalne oblike cirkona v petrologiji moramo opazovanje oblik večjega števila cirkonovih zrn kvantificirati. V literaturi zasledimo tri metode:

1. Najstarejše so statistične metode merjenja dolžine in širine kristalov in njunega razmerja - razpotegnenosti. Te podatke so prikazovali grafično v obliki histogramov ali frekvenčnih porazdelitvenih krivulj. A l p e r in P o l d e r v a r t (1957) sta na tej osnovi razvila metodo reducirane glavne osi, kjer se iz meritev dolžin (x) in širin (y) izračunajo povprečne vrednosti in standardni odkloni obeh dimenzij.

2. Fouriejevo analizo oblik dvodimenzionalnih projekcij cirkonovih zrn je uporabil B y e r l y s sodelavci (1975).

3. Prevladovanje glavnih prizem in piramid pri posameznih kristalnih oblikah cirkona so povezali v skupine in podskupine ter jih prikazali v mrežnem diagramu (P u p i n & T u r c o, 1972 a, c). P u p i n in T u r c o (1972 c, 1975) razlagata prevladujoči razvoj prizme (100) nad prizmo (110) kot posledico naraščanja temperature kristalizacije cirkona in na osnovi tega izračunavata indeks T. Prevladujoči razvoj piramide (101) nad piramido (211) pa vežeta na naraščanje razmerja alkalije/Al in na osnovi tega izračunavata indeks A.

Osnovne geološke značilnosti obravnavanega ozemlja

Kamnine Grödenske formacije se raztezajo med Cerknim, Žirovskim vrhom in Smrečjem v smeri NW-SE na dolžini približno 20 km in širini do 5 km v obliki neena- komerno širokega pasu. V širšem geotektonskem pogledu prištevamo obravnavano ozemlje k Dinaridom, v ožjem smislu pa k idrijsko - žirovskemu ozemlju, ki je del Trnovskega pokrova (M l a k a r, 1969; P l a c e r, 1981). Krovno zgradbo sekajo številni dinarsko in prečno dinarsko usmerjeni prelomi. Starostno uvrščamo kamnine

Grödenske formacije v srednji perm po tridelni ali v spodnji del zgornjega perma (kazani) po dvodelni razdelitvi perma. V talnini Grödenske formacije leže diskordantno sive do temno sive klastične kamnine, ki jim pripisujemo karbonsko starost, pri čemer dopuščamo možnost, da seže najvišji del teh tudi v spodnji perm. Krovnino Grödenske formacije grade karbonatne sedimentne kamnine zgornjepermske starosti. Obravnavano ozemlje (sl. 1) je Mlakar v letih 1978 do 1982 v okviru raziskovalne naloge *Geološki faktorji kontrole Hg, Cu in U mineralizacije* geološko skartiral. Na podlagi litoloških značilnosti je Grödensko formacijo razdelil na šest superpozicijskih enot A₁, A₂, A_{3/1}, A_{3/2}, B in C, ki jim pripisujemo značaj litostratigrafskih členov, in jih poimenoval.



Sl. 1. Situacijska karta širšega raziskovalnega območja, ki ga je podrobno geološko skartiral Mlakar (1979 - 1982)

Fig. 1. Location map of the larger investigated area geologically mapped by Mlakar (1979 - 1982)

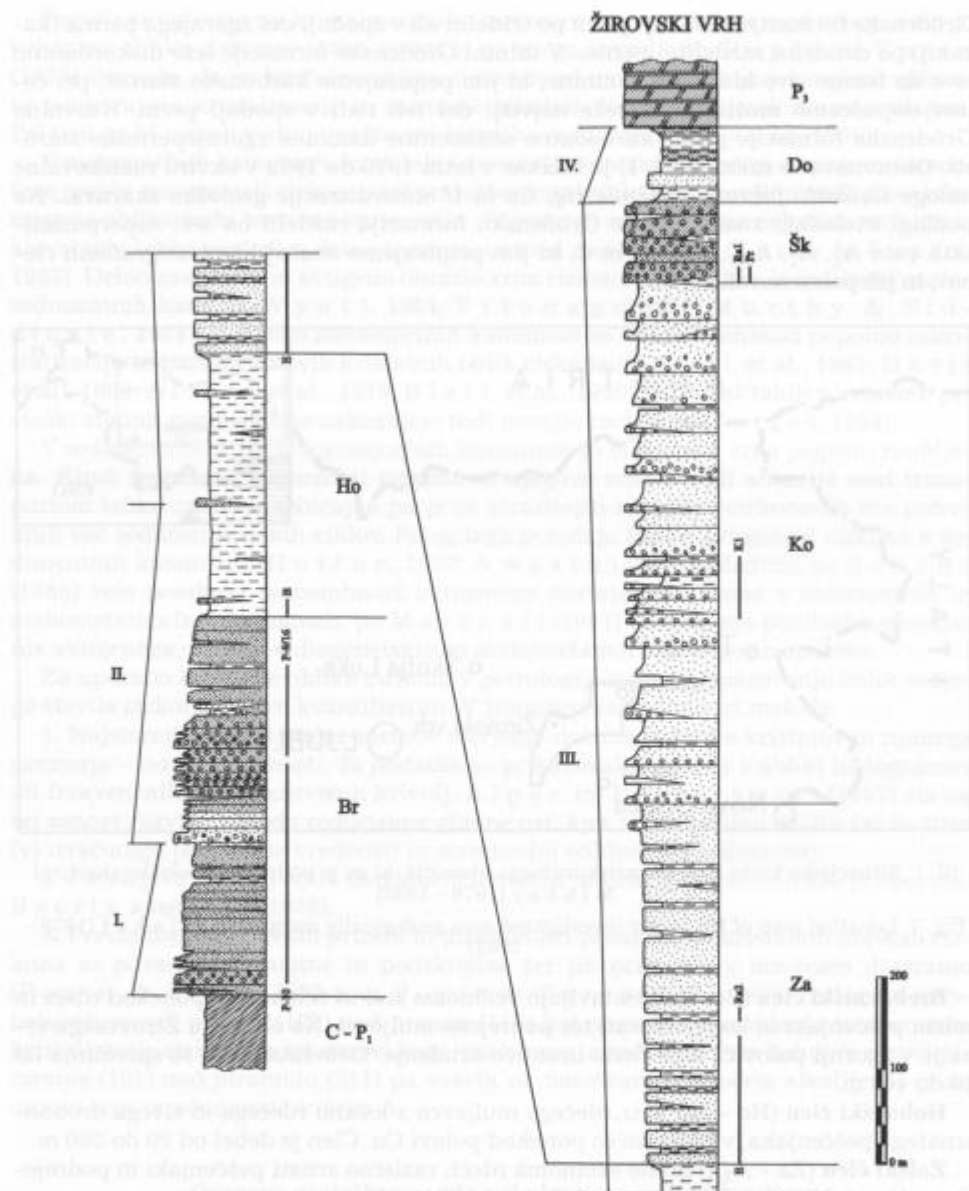
Brebovniški člen (Br - A₁) sestavljajo večinoma sivi in zelenosivi, ponekod rdeči in zeleni peščenjaki in konglomerati ter podrejeno muljevci. Na območju Žirovskega vrha je v zgornji polovici tega člena uranovo orudjenje. Debelina člena se spreminja od 10 do 400 m.

Hobovski člen (Ho - A₂) je iz rdečega muljevca z lečami rdečega in sivega drobnorzrnatega peščenjaka, v katerem so ponekod pojavi Cu. Člen je debel od 20 do 280 m.

Zalški člen (Za - A_{3/1}) grade večinoma rdeči, različno zrnati peščenjaki in podrejeno muljevci. Njihova debelina se giblje med 180 in 380 m.

Koprivniški člen (Ko - A_{3/2}) sestavljajo konglomerati in različno zrnati peščenjaki, v manjši meri muljevci. Na območju Žirovskega vrha doseže debelina tega člena 550 m.

Škofješki člen (Šk - B) je na območju Škofja in Sovodnj razvit kot siv peščenjak, ki je ponekod tudi oruden s Cu, na območju Žirovskega vrha pa se skupaj z njim pojavlja tudi svetlo siv ponekod rožnat konglomerat. Debelina se spreminja od 20 do 100 m. Na Lavrovcu, kjer predstavlja bočni ekvivalent Zalškega in Koprivniškega člena, pa doseže debelino 740 m.



Sl. 2. Litostratigrafski razvoj Grödenske formacije na območju Žirovskega vrha z lego vzorčevanih profilov P-10, Pr-9/16, Kl, Ra1, projiciranih profilov B, E z območja Sovodnji, Ra2 z območja Golega vrha in Pr z območja Smrečja. Na levi strani so prikazani izdvojeni makrocikli.

Osenčeni del profila označuje sivo in zeleno obarvane kamnine

Fig. 2. Lithostratigraphic development of the Val Gardena Formation in the region of Žirovski vrh with positions of sampled profiles P-10, Pr-9/16, Kl, Ra1, projected profiles B, E from the Sovodenj, Ra2 from the Goli vrh and Pr from the Smreče region. Macrocycles are shown on the left. Shaded part of profile indicated grey and green coloured rocks

Dobračevski člen (Do - C) grade raznobarvni muljevci in podrejeno drobnozrnati peščenjaki. Doseže debelino 120 m, proti SE pa se izklinja.

Skupna debelina Grödenske formacije se, podobno kot debeline posameznih členov, lokalno spreminja in to od 200 do 1750 m ter doseže največji obseg na območju Žirovskega vrha (sl. 2).

Obravnavane grödenske kamnine interpretiramo kot produkt pretežno rečnega sedimentacijskega okolja s skoraj vsemi proksimalno - distalnimi spremembami podokolij od aluvialnih vršajev do prepletajočih in meandriraajočih vodnih tokov z obsežnimi poplavnimi ravninami in plitvimi jezeri (S k a b e r n e, 1995).

V zapolnitvi osrednjega dela sedimentnega bazena, ki obsega območje Žirovskega vrha, lahko ločimo štiri makrocikle (sl. 2). Prvi in drugi sta retrogradacijska, tretji, najdebelejši, pa je progradacijski. Četrta makrocikla ima retrogradacijski značaj in se konča z morsko transgresijo in usedanjem karbonatnih sedimentov zgornjega perma (S k a b e r n e, 1995).

Analitska metodologija

Za določitev težke frakcije smo vzeli vzorce iz podrobno posnetih profilov, ki zajemajo posamezne dele litostratigrafskih členov Grödenske formacije. Pri tem smo pazili, da so si bili vzorci po zrnavosti kolikor mogoče podobni. Večinoma pripadajo drobnozrnatemu peščenjaku, zastopani pa so tudi debeleje zrnati litološki različki.

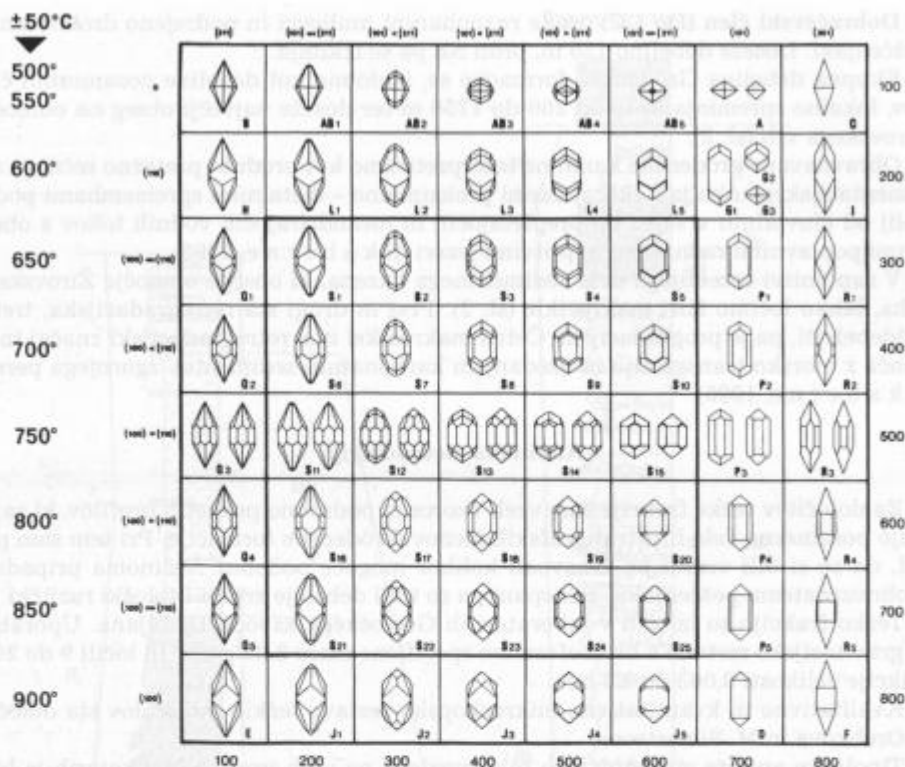
Težko frakcijo so izločili v laboratorijih Geološkega zavoda Ljubljana. Uporabili so gravitacijsko metodo z bromoformom specifične mase 2.89 g/cm^3 in ločili 9 do 20 g frakcije velikosti 0.063 do 0.2 mm.

Kvalitativno in kvantitativno mikroskopsko sestavo težkih mineralov sta določili S. Orehkova in M. Silvestrova.

Tipološke analize cirkonov niso bile izvedene na vseh vzorcih, pri katerih je bila določena kvalitativna in kvantitativna sestava težke frakcije. Omejili smo se na manjše število (56) vzorcev iz devetih profilov. Z njimi smo zajeli pet od šestih litostratigrafskih členov Grödenske formacije (sl. 2). Vendar pokritost z vzorci ni enakomerna. Približno polovica vzorcev izvira iz uranonsnega Brebovniškega člena, medtem ko Dobračevskega člena zaradi slabe razgaljenosti nismo raziskali.

Izmed zrn težkih mineralov smo pod stereolupo izbrali zrna cirkona in pripravili monomineralni preparat, ki je obsegal približno sto zrn. Zaradi majhnega vzorca in nizkega odstotka prozornih težkih mineralov, vsebujejo nekateri preparati tudi manjše število cirkonovih zrn. V populaciji cirkonovih zrn so bila ugotovljena euhedralna in zaobljena zrna. Ker je tipološko analizo mogoče izvesti le na euhedralnih zrnih, smo pri pripravi preparata skušali izbrati čimvečje število takih zrn. Njihovo število se spreminja od 10 do 98 in je povprečno 56. Vsak preparat vsebuje tudi nekaj zaobljenih zrn cirkona.

Kvalitativno in kvantitativno tipološko analizo cirkona, pri kateri smo uporabili Pupinovo tipološko klasifikacijo (sl. 3) (P u p i n & T u r c o, 1972 c; P u p i n, 1980), smo izvedli z elektronskim rasterskim mikroskopom Jeol JSM P-15 na Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univezre v Ljubljani. Preparati so bili neparjeni z ogljikom in aluminijem. Tipološko obliko cirkonovih zrn smo določali z direktnim opazovanjem na monitorju. Fotografirali smo le lepša zrna različnih tipoloških skupin in nekatere posebnosti posameznih zrn. Kvantitativne podatke zastopnosti posameznih tipoloških oblik smo statistično ovrednotili s korelacijsko, faktor-sko, klaster-sko in diskriminantno analizo ter testom t.



Sl. 3. Pupinova tipološka klasifikacija cirkonov (prirejeno po P u p i n-u, 1980, 20, Fig. 1)

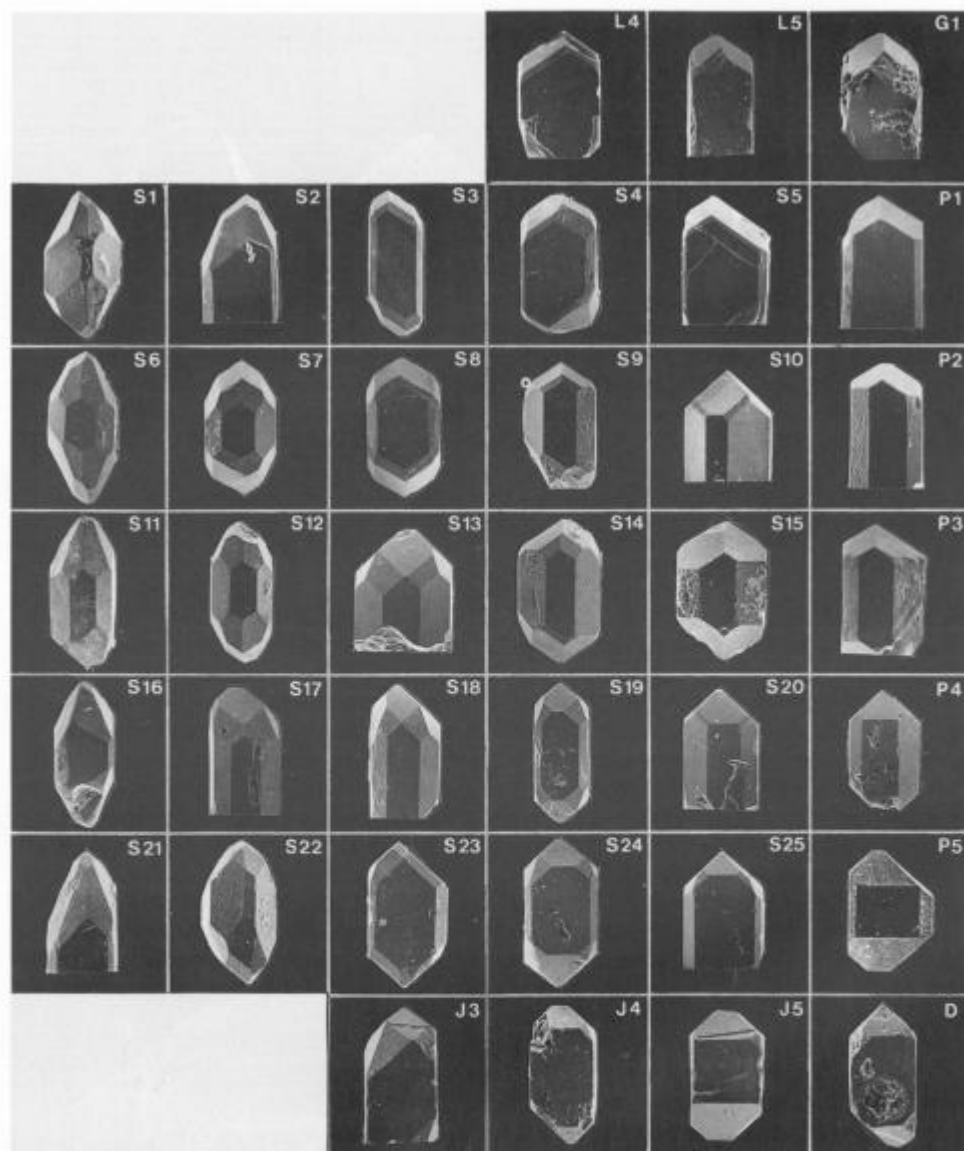
Fig. 3. Pupin's typologic classification of zircon (modified after P u p i n, 1980, 20, Fig. 1)

Rezultati raziskav in razprava

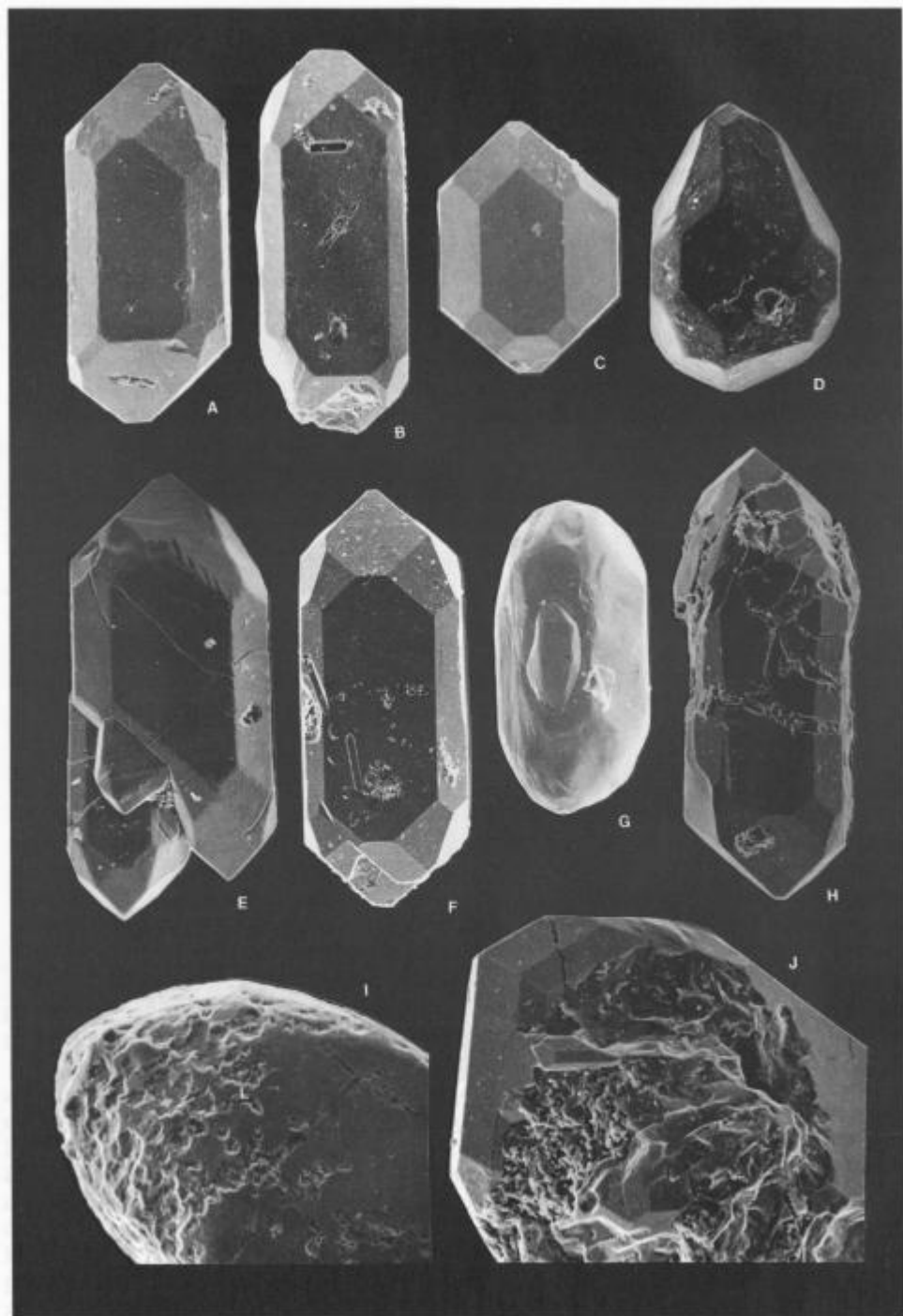
Kristalne oblike in nekatere značilnosti cirkona

V raziskanih vzorcih smo od 64 oblik zajetih v Pupinovi tipološki klasifikaciji našli 37 (sl. 4), ki pripadajo večinoma osrednjemu in spodnjemu delu Pupinove tipološke klasifikacije oblik cirkonov.

Poleg sorazmerno simetrično zgrajenih zrn smo pogosto zasledili tudi asimetrična zrna in zrna z morfološkim lastnostmi dveh tipoloških oblik, in sicer večinoma med oblikami, ki jih določajo velikosti piramid (101) in (211): S19 - S20 (sl. 5A), S18 - S20, S17 - S19 (sl. 5C), S22 - S23, S23 - S24 (sl. 5B), S12 - S13, S13 - S14, S12 - S14, S7 - S8, S7 - S9, S10 - P2. V večini opisanih primerov je simetrijska ravnina bolj ali manj asimetričnih zrn v smeri ravnin, ki jih določajo osi c-a in c-b, v redkih primerih pa osi a-b. Pogosto je opazen tudi asimetrični razvoj velikosti prizem. V nekaterih redkih primerih smo opazili zrna, pri katerih se spremeni tudi razmerje med velikostmi prizem (100) < (110): zrna z značilnostmi skupin S17 - S7 (sl. 5D). V primeru zrn z značilnostmi dveh oblik smo pri kvantitativni sestavi upoštevali obe obliki.



Sl. 4. Tipološke oblike cirkona ugotovljene v grödenskem peščenjaku
 Fig. 4. Typologic forms of zircon found in the Val Gardena sandstone



Pri nekaterih zrnih opazujemo tudi bolj ali manj kompleksne zraščence dveh, treh ali več oblik (sl. 5E, F).

Poleg opisanih euhedralnih zrn cirkona so prisotna tudi zrna z različno stopnjo zaobljenosti. Pri nekaterih slabo zaobljenih zrnih je še mogoče določiti prvotno obliko, medtem ko pri bolj zaobljenih lahko sklepamo le na skupino oblik (sl. 5G), pri zelo zaobljenih zrnih pa tudi to ni več mogoče.

Zrna cirkona so rahlo rožnata, redkeje temneje rožnata ali brezbarvna. Temnejše rožnate barve so večinoma relativno majhna zrna, ki smo jih opredelili v tipološko obliko S20 ali S25. V redkih cirkonovih zrnih zasledimo tudi conarno zgradbo. Nekatera zrna cirkona so nekoliko motna in vsebujejo vključke neprozornih mineralov. Redka med njimi so magmatsko korodirana ali imajo odtise podolgovatih kristalov (sl. 5B, F).

Zaradi usmerjenih pritiskov so posamezna zrna cirkona enkrat ali večkrat počena in zlomljena, njihovi deli pa so lahko deloma zmaknjeni (sl. 5H). V razpokah je zrasla illit-sericitna episonova, ki veže posamezne dele cirkonovih zrn. Spremembe fizikalno-kemične sestave raztopin so povzročile delno raztapljanje in najedanje posameznih zrn (sl. 5I, J) ter ponekod ponovno izločanje avtigenega cirkona (sl. 5J).

Kvalitativno in kvantitativno kemično sestavo cirkonov je določal Štrumberger (1986 b) z elektronskim mikroanalizatorjem. Raziskal je tri vzorce iz profila P-10, v katerih je določil kvantitativno kemično sestavo 40 zrn cirkona. Na vsakem zrnju je analiziral tri točke: na obeh robovih in v sredini. Določal je Si, Zr, Hf, Y, U, Th, Fe in P; pri tem so bile vsebnosti P na meji detekcije in jih ne navajamo. Analizirana zrna so pripadala sledečim tipološkim oblikam: S3, S4, S5, S12, S18, S19, S24, P1, P2, P3, P4 in L5. Povprečne vsebine ugotovljenih oksidov so v tabeli 1.

Sl. 5. Zrna cirkona z morfološkimi lastnostmi dveh tipoloških oblik A. S19 - S20, (Pr-9/16/92.8), pov.: 300×; B. S23 - S24 z odtisi manjših podolgovatih kristalov, (Pr-9/16/15.4), pov.: 300×; C. S17 - S19, (B1/11.0), pov.: 270×; D. S17 - S7, (Pr-9/16/88.0), pov.: 270×; E. zraščeneč treh delno razvitih zrn cirkona oblik S19 in S17, (Pr/8.5), pov.: 270×; F. zraščeneč zrn cirkona oblik S19 z odtisi manjših podolgovatih kristalov, (Pr-9/16/59.2), pov.: 300×; G. zaobljeno zrno zraščena cirkona, ki je imelo verjetno obliko S11 ali S12 ali S13, (K1/7.2), pov.: 270×; H. zdrobljeno zrno cirkona oblike S19 (spodnji del), posamezne dele veže illit-sericitna episonova, (E/173.7), pov.: 300×; I. najedeno zaobljeno zrno cirkona, (E/23.3), pov.: 530×; J. najedeno zrno cirkona, na katerem je opazna avtigena rast (Pr-9/16/23.3), pov.: 400×

Fig. 5. Zircon grains with morphologic properties of two typologic forms A. S19 - S20, (Pr-9/16/92.8), mag.: 300×; B. S23 - S24 with impressions of small elongated crystals, (Pr-9/16/15.4), mag.: 300×; C. S17 - S19, (B1/11.0), mag.: 270×; D. S17 - S7, (Pr-9/16/88.0), mag.: 270×; E. intergrowth of three partly developed zircon crystal forms S19 in S17, (Pr/8.5), mag.: 270×; F. intergrowth of zircon crystal forms S19, (Pr-9/16/59.2), mag.: 300×; G. rounded grain of zircon intergrowth of possibly S11 or S12 or S13 types, (K1/7.2), mag.: 270×; H. broken zircon grain of type S19 (lower part), parts of zircon are bound by illite-sericite epimatrix, (E/173.7), mag.: 300×; I. etched rounded grain of zircon, (E/23.3), mag.: 530×; J. etched grain of zircon with authigenic overgrowth, (Pr-9/16/23.3), mag.: 400×

Tabela 1. Kemična sestava nekaterih tipoloških oblik cirkona (v %)
 Table 1. Chemical composition of some typological forms of zircon (in %)

Tip.	SiO ₂	ZrO ₂	HfO ₂	Y ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	FeO	OKS	N
S3	33.28	64.21	1.79	0.06	0.00	0.01	0.02	99.31	1
S4	32.99	65.86	1.15	0.01	0.00	0.04	0.01	100.06	1
S5	32.70	65.20	0.00	0.10	0.03	0.10	0.00	99.13	2
S12	33.22	64.99	2.14	0.05	0.01	0.15	0.02	99.84	2
S18	33.29	64.95	1.60	0.15	0.21	0.00	0.25	100.45	6
S19	32.52	64.78	1.56	0.13	0.11	0.01	0.20	99.31	15
S24	32.23	64.33	1.66	0.19	0.10	0.00	0.89	98.70	3
P1	33.01	65.30	1.54	0.04	0.05	0.00	0.00	99.94	4
P2	33.10	65.66	1.50	0.03	0.06	0.00	0.00	100.35	1
P3	34.00	65.22	0.81	0.05	0.03	0.05	0.00	100.16	1
P4	32.46	65.21	1.20	0.11	0.00	0.15	0.00	99.13	3
L5	33.25	65.21	0.90	0.08	0.01	0.10	0.08	99.63	1

Tip. - tipološka oblika; OKS - vsota oksidov; N - število analiziranih zrn; (po Štrumbergerju, 1986 b)

Tip. - typological form; OKS - sum of oxides; N - number of analyzed grains; (after Štrumberger, 1986 b)

Podrobnejša analiza povezave tipoloških oblik in kemične sestave ni možna, ker niso analizirane vse najbolj zastopane oblike in je bilo število zrn cirkona v nekaterih skupinah premajhno. Poleg tega ne razpolagamo s podatki posameznih meritev. Kljub temu je iz tabele 1 razvidno, da imajo tipološke oblike S18, S19 in S24, med katerimi sta S19 in S24 med najbolj zastopanimi v celotni populaciji cirkonovih zrn, povišane vrednosti Y₂O (> 0.12 %), ThO₂ (> 0.10 %), in FeO (> 0.19 %), pri čemer so razlike pri ThO₂ in FeO izrazite, za Y₂O pa se mejni vrednosti približujeta tudi obliki S5 in P4. Iztopajoče visoke vrednosti UO₂ (> 0.09 %) imajo oblike S5, S12 in P4. Pri porazdelitvi HfO₂ sta opazni dve populaciji. Prvo s koncentracijami HfO₂ < 1.30 % in povprečjem 0.81 % sestavljajo oblike S4, S5, P3, P4 in L5, drugo s koncentracijami HfO₂ > 1.30 % in povprečjem 1.58 % pa oblike S3, S12, S18, S19, S24, P1 in P2. Ti dve skupini ne odražata sistematične spremenljivosti vsebnosti HfO₂ glede na Pupinovo tipološko klasifikacijo.

Analiza tipoloških oblik cirkona

Kvantitativno analizo tipoloških oblik cirkona smo izvedli z vidika ugotavljanja povezav med tipološkimi oblikami (spremenljivkami) in vzorci (enotami), ki so z njimi opredeljeni. Pri tem smo upoštevali le oblike, ki so v populaciji vseh euhedranih oblik cirkona zastopane z več kot 1.5 %. Tako smo v analizo vključili tipološke oblike S7, S8, S9, P2, S12, S13, S14, S17, S18, S19, S20, P4, S22, S23, S24 ter vzorce opredeljene z njimi.

Povezave med spremenljivkami (tipološkimi oblikami) smo raziskovali s korelacijsko, faktorsko analizo vrste R in metodo razvrščanja v skupine vrste R.

S korelacijsko analizo obravnavamo in opazujemo sočasno dva parametra (spremenljivki). Za mero povezanosti spremenljivk smo uporabili Pearsonov korelacijski koeficient, ki predpostavlja linearno povezavo med spremenljivkama. Korelacijska

analiza je razkrila slabo povezanost posameznih tipoloških oblik cirkona, saj je absolutna vrednost največjega korelacijskega koeficienta le 0.48, medtem ko je najmanjša vrednost korelacijskega koeficienta na ravni izračunanega tveganja $p < 0.05$ 0.27.

Faktorska analiza je multivariatna metoda, s katero raziskujemo odvisnosti med opazovanji. Faktorska analiza vrste R razkriva strukturo odvisnosti med spremenljivkami. Faktorji, oziroma glavne komponente so sintetične spremenljivke, ki predstavljajo linearno transformacijo opazovanih spremenljivk. Določene so na tak način, da so med seboj neodvisne, pravokotne druga na drugo, in tako, da izrazijo čim večji delež celotne ali z že izdvojenimi faktorji še nepojasnene variance prvotnih spremenljivk. Pri analizi glavnih komponent smo upoštevali model s sedmimi faktorji, ki razloži 73.9 % celotne variance. Vsebinsko opredelitev faktorjev smo izvedli na osnovi faktorске strukture varimaksno rotiranih normaliziranih faktorjskih uteži, z upoštevanjem kritične vrednosti faktorске uteži večje ali zelo blizu 0.70 (navedene v oklepaju).

1. faktor pojasnjuje 18.7 % celotne variance in je dvopolaren. Poudarjen je pozitivni pol, na katerega sta vezani obliki S8 (0.74) in S19 (0.75) ter slabše izraženi negativni pol, ki ga najbolj obremenjuje oblika S24 (-0.68).

2. faktor opredeljuje 13.7 % celotne variance in ima razvit predvsem negativni pol. Obremenjujeta ga predvsem obliki S17 (-0.79) in P2 (-0.69).

3. faktor razloži 11.0 % celotne variance. Na pozitivni krak je vezana predvsem oblika S18 (0.80).

4. faktor pojasnjuje 9.2 % celotne variance. Poudarjeno je razvit njegov negativni del, obremenjen z obliko S13 (-0.78).

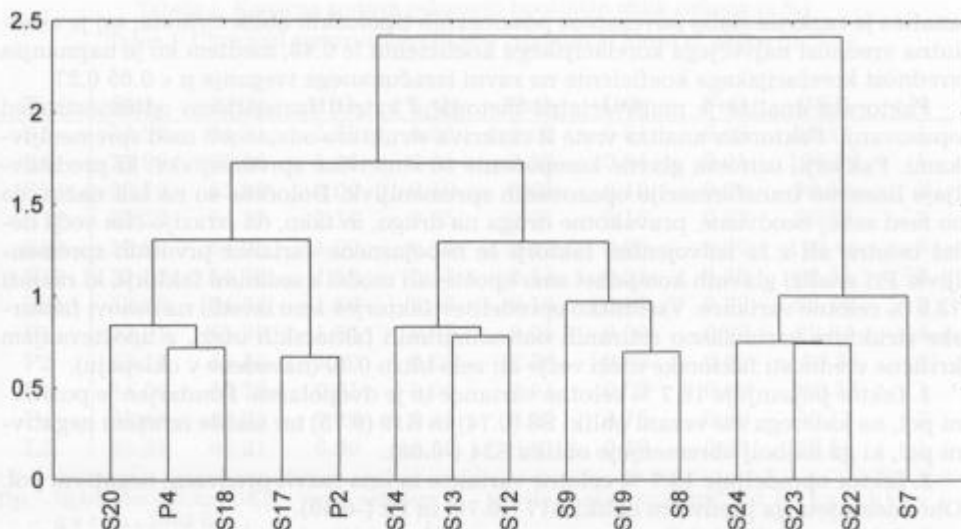
5. faktor razloži 8.5 % celotne variance, z izrazitejšim negativnim delom, na katerega je vezana predvsem oblika S7 (-0.89).

6. faktor veže nase 7.0 % celotne variance in ima razvit predvsem pozitivni krak, obremenjen pretežno z obliko S9 (0.85).

7. faktor razloži 5.8 % celotne variance in je dvopolaren. Na negativni pol je vezana oblika S12 (-0.79), na pozitivnega pa S23 (0.69).

S hierarhično metodo razvrščanja v skupine vrste R smo, podobno kot s faktorsko analizo, skušali razkriti načine povezav med posameznimi spremenljivkami, tipološkimi oblikami cirkona in jih grafično predstaviti (sl. 6). Za ugotavljanje podobnosti med spremenljivkami smo uporabili Pearsonov korelacijski koeficient, za podobnosti med skupinami pa Wardovo razdaljo. Metoda razvrščanja v skupine je potrdila faktorsko strukturo. Pri razdalji povezav 0.9 se pokaže sedem skupin (sl. 6), ki z manjšimi razlikami predstavljajo sedem faktorjev. Razlike se pojavljajo pri negativnem polu prvega in sedmega faktorja. Obliki, ki obremenjujeta predvsem negativni krak sedmega faktorja (S12, S14) sta vezani z obliko (S13) negativnega pola četrtega faktorja, medtem ko se obliki (S22, S23) pozitivnega dela sedmega faktorja povezujeta z obliko (S24) na negativnem delu prvega faktorja.

Pregled povezav med spremenljivkami (tipološkimi oblikami) cirkona kaže, da so le-te relativno slabo povezane med seboj. Sestavljajo sedem skupin nekoliko bolj povezanih oblik. Posamezne skupine pa vsebujejo le eno do tri oblike. Analiza postavlja pod vprašaj tudi Š t r u m b e r g e r j e v (1986 a) način združevanja posameznih oblik v nove skupine, npr. obliki S19+S24 združeni v skupino A in obliki S18+S23 združeni v skupino B. V nove skupine so združene oblike, med katerimi so negativne korelacije ali so vezane na različna pola istega faktorja ali nastopajo na različnih faktorjih in v različnih skupinah. To kaže na genetsko nasprotujoče in nezdržljive lastnosti, oziroma oblike, ki jih zato ne bi smeli združevati.



Sl. 6. Dendrogram hierarhične razvrstitve tipoloških oblik cirkona v skupine
 Fig. 6. Hierarchical tree diagram of cluster analysis of typologic forms of zircon

Povezave med vzorci (enotami) smo raziskovali z metodo razvrščanja v skupine in diskriminantno analizo.

S hierarhično metodo razvrščanja v skupine vrste Q smo skušali objektivno ugotoviti število skupin, ki jih sestavljajo enote, opredeljene z zgoraj podanimi tipološkimi oblikami cirkona. Zaradi prevelikega iztopanja smo iz nadaljnje analize izločili enoto E/207.3. Pri hierarhičnem združevanju 55 enot v skupine smo za merilo podobnosti med enotami uporabili Evklidsko razdaljo, za merilo podobnosti med skupinami pa Wardovo razdaljo. Pri razdalji podobnosti 60 lahko opredelimo štiri skupine (sl. 7). Člane štirih hierarhično ugotovljenih skupin smo določili z nehierarhično metodo voditeljev.

Analiza variance, s stopnjo tveganja p (v oklepaju) določeno na osnovi testa F , kaže, da izdvojene skupine najbolj opredeljujejo oblike S19 (0.0000), S7 (0.0000), S17 (0.0000), S24 (0.0000), S12 (0.0001), P2 (0.0031), S23 (0.0038), S22 (0.0059) in S9 (0.0454).

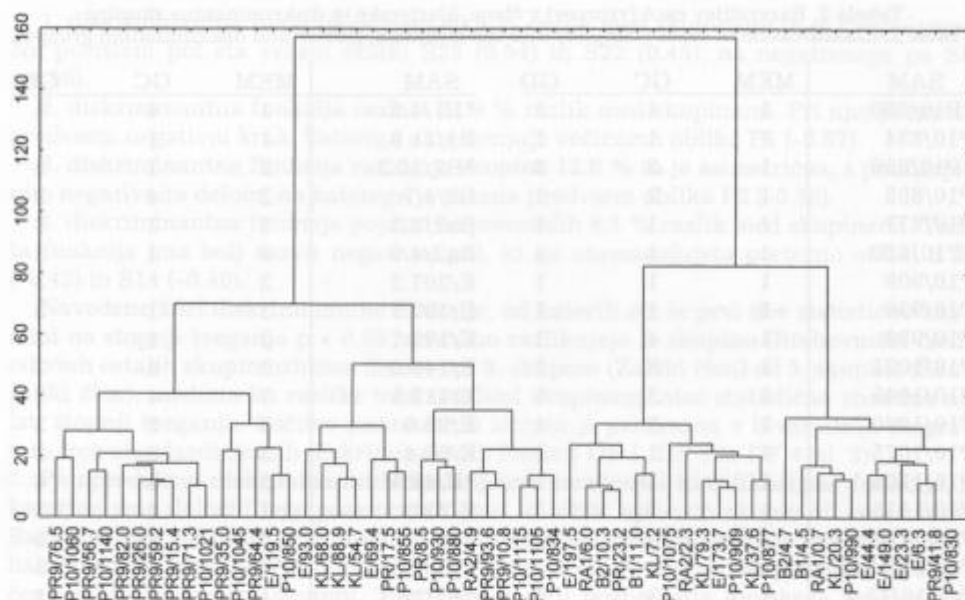
1. skupino določa največja relativna frekvenca oblik S19 (32.90 %) in najmanjša oblik S22 (1.83 %) in S17 (11.92 %) ter obsega 20 enot.

2. skupina ima največ oblik S7 (14.52 %) in najmanj P2 (0.83 %) in S19 (16.27 %) ter vsebuje le 8 enot.

3. skupino opredeljuje maksimalna koncentracija oblik S24 (21.09 %), S22 (5.68 %), S23 (3.83 %) in minimalna koncentracija oblik S12 (1.88 %) ter povezuje 14 enot.

4. skupino določa največja zastopanost oblik S17 (18.80 %), S12 (6.61 %), P2 (6.61 %) in najmanjša zastopanost oblik S24 (5.00 %), S7 (3.81 %) in S23 (0,48 %) ter je sestavljena iz 13 enot.

Pripadnost enot (vzorcev) posameznim klsterskim skupinam je prikazana v tabeli 2.



Sl. 7. Dendrogram hierarhične razvrstitve enot (vzorcev) v skupine

Fig. 7. Hierarchical tree diagram of cluster analysis of cases (samples)

Porazdelitev enot v skupine (tabela 2) in njihova prostorska razvrstitev v posameznih profilih kaže ponekod določeno korelacijo z izdvojenimi sedimentacijskimi enotami, medtem ko drugod takih povezav ni zaznati. Tako lahko ugotovimo, da dosedaj zbrani podatki tipoloških oblik cirkona ne omogočajo zaneslivejše podrobne korelacije znotraj posameznih litostratigrafskih členov. Temu je najbrž vzrok relativno hitro spreminjanje sestave različnih tipoloških oblik cirkona, ki je lahko izraz vpliva lokalnih izvornih območij ali premajhnega števila raziskanih enot, s katerimi bi lahko razkrili morebitne zakonitosti njihovega spreminjanja.

Ker se je podrobnejša korelacija s tipološkimi oblikami cirkona izkazala za neizrazito, smo skušali ugotoviti, kako bi bilo mogoče z njimi korelirati in razlikovati večje enote, posamezne litostratigrafske člene. Za to smo uporabili diskriminantno analizo, s katero določimo diskriminantne funkcije, ki najbolj ločujejo izdvojene skupine. Diskriminantne funkcije so neodvisne linearne kombinacije merjenih spremenljivk, ki največ prispevajo k ločitvi skupin. Iz diskriminantnih funkcij lahko izpeljemo klasifikacijske funkcije, ki določajo posamezne skupine. Na njihovi osnovi je mogoče napovedati pripadnost enote posamezni skupini ali uvrstiti nove enote v določene skupine.

Diskriminantno analizo smo izvedli za apriorno razvrstitev enot (vzorcev) v pet skupin (1 - Brebovniški člen, 2 - Hobovski člen, 3 - Zalški člen, 4 - Koprivniški člen in 5 - Škofješki člen), ki so določene na osnovi prostorske lege vzorčevanega profila. Izbrali smo analizo s postopnim vključevanjem posameznih spremenljivk v diskriminantni model. V model so bile vključene spremenljivke (tipološke oblike): S8 (0.009), S23 (0.015), P4 (0.009), P2 (0.085), S22 (0.110), S18 (0.152), S7 (0.106), S19 (0.326)

Tabela 2. Razvrstitev enot (vzorcev) v člene, klusterske in diskriminantne skupine
 Table 2. Classification of cases (samples) into the members, cluster and discrimination groups

SAM	MEM	GC	GD	SAM	MEM	GC	GD
*P10/830	1	4	3	*B1/4.5	1	4	5
P10/834	1	1	1	B1/11.0	1	1	1
*P10/850	1	3	3	*B2/10.3	2	1	5
P10/855	1	2	1	B2/4.7	2	4	2
P10/877	1	1	1	Ra2/2.3	3	1	3
*P10/880	1	1	4	Ra2/4.9	3	1	3
P10/909	1	1	1	E/207.3	3		3
P10/930	1	1	1	E/197.5	3	1	3
P10/990	1	4	1	E/173.7	3	1	3
P10/1021	1	3	1	E/149.0	3	4	3
P10/1045	1	3	1	E/119.5	3	4	3
P10/1060	1	3	1	E/93.0	3	2	3
P10/1075	1	1	1	E/69.4	3	2	3
P10/1105	1	1	1	*E/44.4	3	4	4
P10/1115	1	1	1	E/23.3	3	4	3
P10/1140	1	3	1	E/6.3	3	4	5
Pr9/16/10.8	1	3	1	*Kl/7.2	4	1	5
Pr9/16/15.4	1	3	1	*Kl/20.3	4	4	1
Pr9/16/26.0	1	3	1	Kl/37.6	4	1	4
Pr9/16/35.0	1	4	1	Kl/54.7	4	2	4
Pr9/16/41.8	1	4	1	Kl/68.0	4	2	4
Pr9/16/56.7	1	3	1	Kl/79.3	4	1	4
Pr9/16/59.2	1	3	1	Kl/88.9	4	2	4
Pr9/16/64.4	1	3	1	Pr/8.5	5	1	5
Pr9/16/71.3	1	3	1	Pr/17.5	5	2	5
Pr9/16/76.5	1	3	1	Pr/23.3	5	1	5
*Pr9/16/82.0	1	3	3	Ra1/0.7	5	4	5
Pr9/16/93.6	1	2	1	Ra1/6.0	5	1	5

SAM - enota (vzorec); * - nepravilno uvrščena enota (vzorec); MEM - člen (1 - Brebovniški člen, 2 - Hobovski člen, 3 - Zalški člen, 4 - Koprivniški člen in 5 - Škofješki člen); GC - klusterske skupine (1 - 4 neimenovane); GD - diskriminantne skupine (oznake enke kot pri MEM - členih)

SAM - case (sample); * - incorrectly classified case (sample); MEM - member (1 - Brebovnica Member, 2 - Hobovše Member, 3 - Zala Member, 4 - Koprivnik Member, 5 - Škofje Member); GC - cluster groups (1 - 4, unnamed); GD - discrimination groups (symbols the same as for MEM - member)

in S14 (0.326), ki so navedene po postopnem zmanjševanju diskriminacijske moči in podano stopnjo tveganja izločitve (p), določeno na osnovi testa F. Oblike S24, S13, S12, S17, S9 in S20 niso bile vključene v model. Za ločitev med petimi skupinami (litostratigrafskimi členi) so bile določene štiri diskriminantne funkcije, ki s standardiziranimi funkcijskimi in faktorskimi strukturnimi koeficienti kažejo sledeče povezave med njimi in spremenljivkami vključenimi v model. Pri tem navajamo le spremenljivke, katerih faktorski strukturni koeficienti dosegajo ali presegajo vrednost 0.40 in so navedeni v oklepaju. Ti koeficienti so podobni faktorskim utežem pri faktorski analizi in bolj izražajo vsebinsko opredelitev določene diskriminantne funkcije kot standardizirani funkcijski koeficienti.

1. diskriminantna funkcija pojasni 60.9 % razlik med skupinami in je dvopolarna. Na pozitivni pol sta vezani obliki S23 (0.54) in S22 (0.45), na negativnega pa S8 (-0.60).

2. diskriminantna funkcija razloži 21.0 % razlik med skupinami. Pri njej je razvit predvsem negativni krak, katerega obremenjuje večinoma oblika P4 (-0.67).

3. diskriminantna funkcija razlikuje skupine 12.0 % in je asimetrična, s poudarjenim negativnim delom, na katerega je vezana predvsem oblika P2 (-0.55).

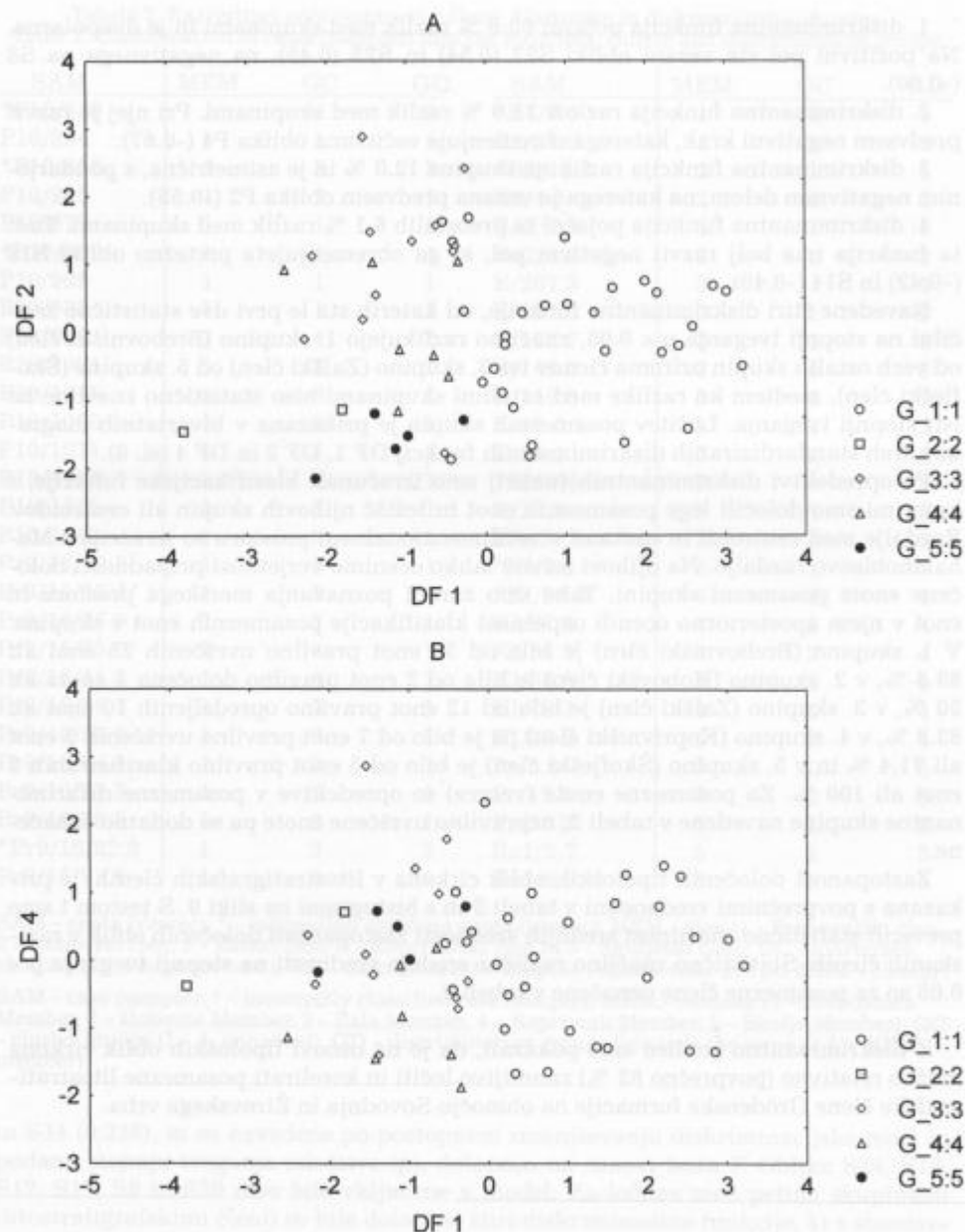
4. diskriminantna funkcija pojasni še preostalih 6.1 % razlik med skupinami. Tudi ta funkcija ima bolj razvit negativni pol, ki ga obremenjujeta pretežno obliki S18 (-0.42) in S14 (-0.40).

Navedene štiri diskriminantne funkcije, od katerih sta le prvi dve statistično značilni na stopnji tveganja $p < 0.05$, značilno razlikujejo 1. skupino (Brebovniški člen) od vseh ostalih skupin oziroma členov ter 3. skupino (Zalški člen) od 5. skupine (Škofješki člen), medtem ko razlike med ostalimi skupinami niso statistično značilne na isti stopnji tveganja. Ločitev posameznih skupin je prikazana v bivariatnih diagramih treh standardiziranih diskriminantnih funkcij DF 1, DF 2 in DF 4 (sl. 8).

Po opredelitvi diskriminantnih funkcij smo izračunali klasifikacijske funkcije, s katerimi smo določili lege posameznih enot in težišč njihovih skupin ali centroidov. Razdalje med centriidi in enotami v večdimenzionalnem prostoru so izražene z Mahalanobisovo razdaljo. Na njihovi osnovi lahko ocenimo verjetnost pripadnosti določene enote posamezni skupini. Tako smo zaradi poznavanja merskega prostora in enot v njem aposteriorno ocenili uspešnost klasifikacije posameznih enot v skupine. V 1. skupino (Brebovniški člen) je bilo od 30 enot pravilno uvrščenih 25 enot ali 83.3 %, v 2. skupino (Hobovski člen) je bila od 2 enot pravilno določena 1 enota ali 50 %, v 3. skupino (Zalški člen) je bilo od 12 enot pravilno opredeljenih 10 enot ali 83.3 %, v 4. skupino (Koprivniški člen) pa je bilo od 7 enot pravilno uvrščenih 5 enot ali 71.4 % in v 5. skupino (Škofješki člen) je bilo od 5 enot pravilno klasificiranih 5 enot ali 100 %. Za posamezne enote (vzorke) so opredelitve v posamezne diskriminantne skupine navedene v tabeli 2, nepravilno uvrščene enote pa so dodatno označene.

Zastopanost določenih tipoloških oblik cirkona v litostratigrafskih členih, je prikazana s povprečnimi vrednostmi v tabeli 3 in s histogrami na sliki 9. S testom t smo preverili statistično značilnost srednjih vrednosti zastopanosti določenih oblik v raziskanih členih. Statistično značilno različne srednje vrednosti na stopnji tveganja $p < 0.05$ so za posamezne člene označene v tabeli 3.

Z diskriminantno analizo smo pokazali, da je na osnovi tipoloških oblik cirkona možno relativno (povprečno 82 %) zanesljivo ločiti in korelirati posamezne litostratigrafske člene Grōdenske formacije na območju Sovodnja in Žirovskega vrha.



Sl. 8. Bivariatna diagrama standardiziranih diskriminativnih funkcij A. DF1 - DF2 in B. DF1 - DF4, ki ločujejo enote (vzorce) litostratigrafskih členov (1 - Brebovniški člen, 2 - Hobovski člen, 3 - Zalški člen, 4 - Koprivniški člen, 5 - Škofješki člen)

Fig. 8. Scatterplot of normalised scores of discriminate functions A. DF1 - DF2 and B. DF1 - DF4 of cases belonging to the lithostratigraphic members (1 - Brebovnica Member, 2 - Hobovše Member, 3 - Zala Member, 4 - Koprivnik Member, 5 - Škofje Member)

Tabela 3. Srednje vrednosti relativne zastopanosti določenih tipoloških oblik cirkona v litostratigafskih členih (v %)

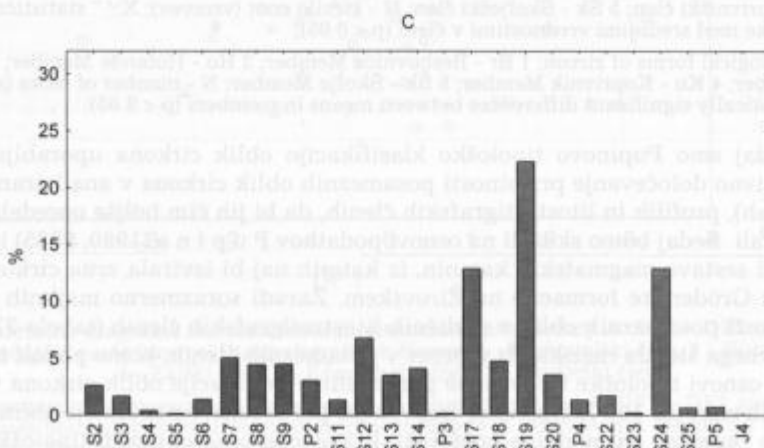
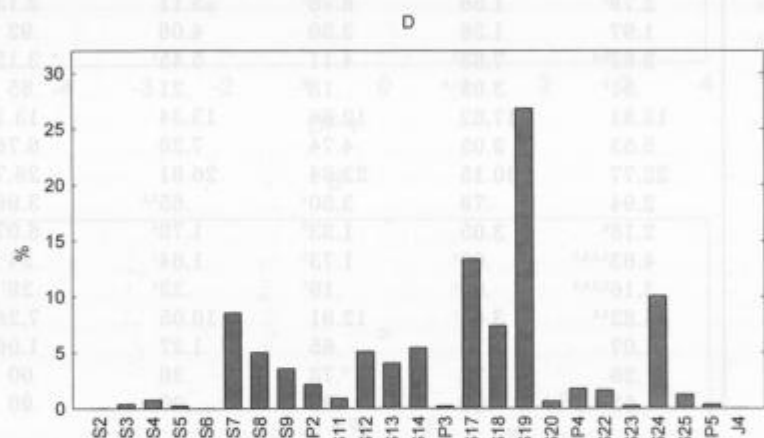
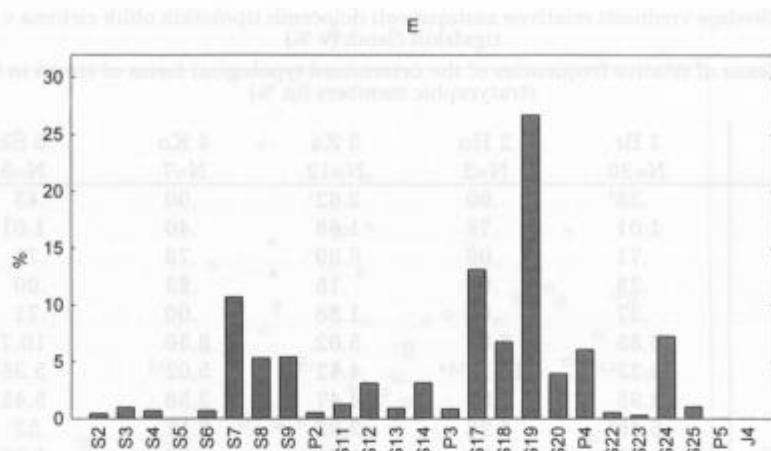
Table 3. Means of relative frequencies of the determined typological forms of zircon in the lithostratigraphic members (in %)

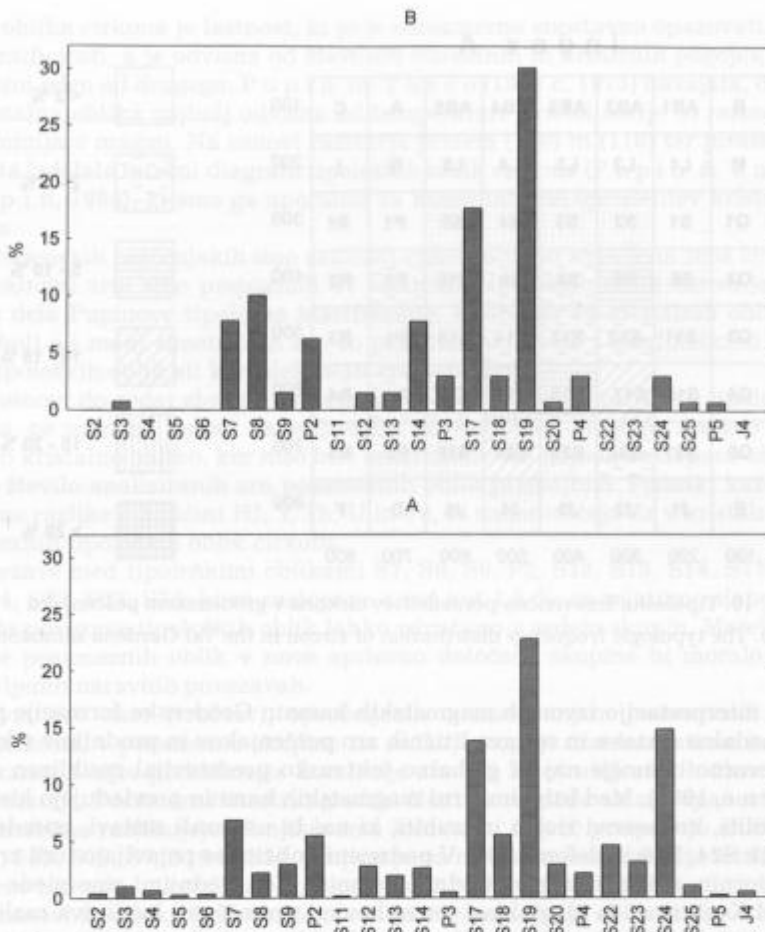
Var	1 Br N=30	2 Ho N=2	3 Za N=12	4 Ko N=7	5 Šk N=5
S2	.38 ¹	.00	2.62 ¹	.00	.43
S3	1.01	.78	1.68	.40	1.01
S4	.71	.00	.39	.78	.71
S5	.28	.00	.15	.23	.00
S6	.37	.00	1.38	.00	.71
S7	6.85	7.83	5.02	8.56	10.71
S8	2.23 ^{2,3,4,5}	10.10 ^{1,3,4}	4.42 ^{1,2}	5.02 ^{1,2}	5.36 ¹
S9	2.95	1.56	4.47	3.56	5.45
P2	5.46 ²	6.28	3.02	2.17	.53 ¹
S11	.18 ^{2,3}	.00	1.34 ¹	.93	1.29 ¹
S12	2.79 ¹	1.56	6.76 ¹	5.11	3.13
S13	1.97	1.56	3.50	4.06	.92
S14	2.63 ^{2,4}	7.83 ¹	4.11	5.45 ¹	3.15
P3	.51 ²	3.05 ^{1,3}	.18 ²	.21	.85
S17	13.81	17.82	12.86	13.34	13.13
S18	5.53	3.05	4.74	7.38	6.76
S19	22.77	30.15	22.34	26.81	26.70
S20	2.94	.78	3.50 ⁴	.65 ^{2,3}	3.96 ⁴
P4	2.18 ³	3.05	1.33 ²	1.78 ³	6.07 ^{1,3,4}
S22	4.63 ^{2,3,4,5}	.00 ¹	1.73 ¹	1.64 ¹	.54 ¹
S23	3.16 ^{2,3,4,5}	.00 ¹	.19 ¹	.23 ¹	.28 ¹
S24	14.82 ^{2,3}	3.05 ¹	12.91	10.05	7.26 ¹
S25	1.07	.78	.65	1.27	1.06
P5	.26	.78	.73	.36	.00
J4	.53	.00	.00	.00	.00

Var - tipološke oblike cirkona; 1 Br - Brebovniški člen; 2 Ho - Hobovski člen; 3 Za - Zalski člen; 4 Ko - Koprivniški člen; 5 Šk - Škofješki člen; N - število enot (vzorcev); X^{1,2} - statistično značilne razlike med srednjimi vrednostimi v členu (p < 0.05);

Var - typological forms of zircon; 1 Br - Brebovnica Member; 2 Ho - Hobovše Member; 3 Za - Zala Member; 4 Ko - Koprivnik Member; 5 Šk - Skofje Member; N - number of cases (samples); X^{1,2} - statistically significant differences between means in members (p < 0.05);

Do sedaj smo Pupinovo tipološko klasifikacijo oblik cirkona uporabljali le za kvantitativno določevanje prisotnosti posameznih oblik cirkona v analiziranih vzorcih (enotah), profilih in litostratigafskih členih, da bi jih čim boljše opredelili, ločili in korelirali. Sedaj bomo skušali na osnovi podatkov P u p i n a (1980, 1985) interpretirati tudi sestavo magmatskih kamnin, iz katerih naj bi izvirala zrna cirkona v peščenjakih Grōdenske formacije na Žirovskem. Zaradi sorazmerno majhnih razlik v zastopanosti posameznih oblik v različnih litostratigafskih členih (tabela 3) in neuravnoteženega števila raziskanih vzorcev v posameznih členih, bomo podali interpretacijo na osnovi tipološke frekvenčne porazdelitve populacije oblik cirkona vseh ovrednotenih enot (sl. 10). Iz tipološke frekvenčne porazdelitve populacije oblik cirkona (sl. 10) so razvidne tri modalne vrednosti, ki nastopajo na območju tipoloških oblik

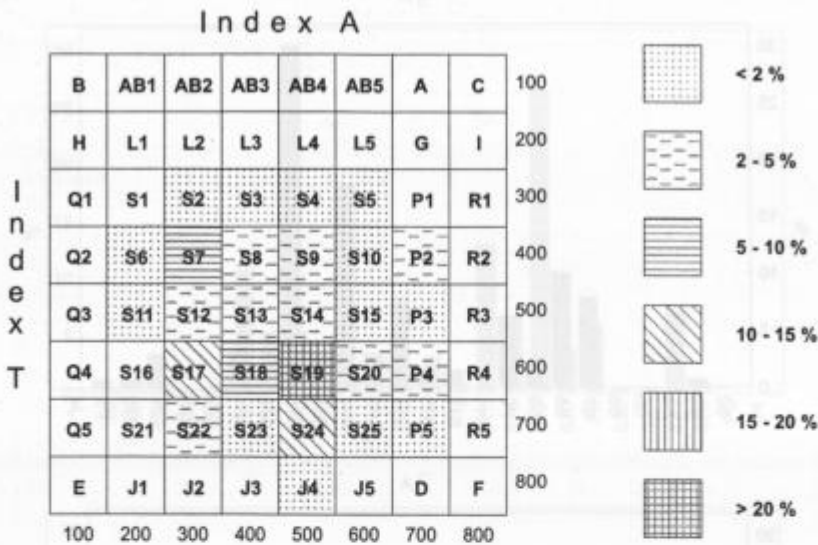




Sl. 9. Frekvenčni histogrami zastopanosti 25 tipoloških oblik cirkona v posameznih litostrati-
 grafskih členih: A. Brebovniški člen, B. Hobovski člen, C. Zalški člen, D. Koprivniški člen, E.
 Škofješki člen

Fig. 9. Frequency histograms of the presence of 25 typologic forms of zircon in the lithostrati-
 graphic members: A. Brebovnica Member, B. Hobovše Member, C. Zala Member, D. Koprivnik
 Member, E. Škofje Member

[S19 (23.80 %) + S24 (12.72 %)], S17 (13.62 %) in S7 (7.05 %). Najbolj je izraženo polje, ki ga določata modalni obliki S19 (23.80 %) in S24 (12.72 %) ter podrejeno S18 (5.61 %) kar naj bi nakazovalo magmatske kamnine orogenih območij nastale iz vroče in suhe magme Ca-alkalne in K-Ca-alkalne sestave. Modalna oblika S17 in delno oblika S18 naj bi označevali kamnine kremenovo dioritne (tonalitne) sestave. Tretja modalna oblika S7 naj bi nakazovala manjšo prisotnost hibridnih, migmatitnih kamnin monzonitne in granodioritne sestave. Manjša zastopanost tipoloških oblik skupine P [P2 (4.11 %), P3 (0.52 %), P4 (2.32 %)] pa naj bi bila značilna za podrejeno prisotnost kamnin alkalne sestave s svojim izvorom iz zemeljskega plašča.



Sl. 10. Tipološka frekvenčna porazdelitev cirkona v grödenskem peščenjaku
 Fig. 10. The typologic frequency distribution of zircon in the Val Gardena sandstone

Zgornjo interpretacijo izvornih magmatskih kamnin Grödenske formacije potrjuje tudi modalna sestava in sestava litičnih zrn peščenjakov in prodnikov v konglomeratih. Izvorno območje naj bi globalno tektonsko predstavljal recikliran orogen (Skaberne, 1995). Med litičnimi zrni magmatskih kamnin prevladujejo kisle predornine: rioliti, kremenovi rioliti in trahiti, ki naj bi ustrezali sestavi, opredeljeni s poljem oblik S24, S19 in deloma S18. V podrejeni količini se pojavljajo tudi zrna bazičnih predornin, spilitov in granitoidnih kamnin. Med slednjimi smo glede na razmerje med K-glinenci in plagioklazi ter njihovimi preraščanji ločili dva različka. V prvem prevladujejo K-glinenci, ortoklaz in mikroklin nad plagioklazi, v drugem pa prevladuje mikropertit in plagioklazi nad K-glinenci, medtem ko je količina kremenova v obeh različkih približno enaka. Glede na strukturo in sestavo oba uvrščamo med granite (Skaberne, 1995).

Sklepi

Grödenska formacija na Žirovskem med Cerknim in Smrečjem je bila zaradi rudnih koncentracij urana in bakra deležna precejšnjega zanimanja geologov. Pri svojem delu smo se srečevali s problemi podrobnejše korelacije, predvsem v spodnjem, uranosnosnem delu Grödenske formacije. Litofacialno korelacijo smo skušali dopolniti s korelacijo na osnovi mineralne sestave lahke in težke frakcije. Med težkimi minerali je cirkon med najbolj zastopanimi komponentami in je prisoten v vseh vzorcih. Zaradi spremenljivosti kristalnih oblik, fizikalnih in kemičnih lastnosti v odvisnosti od pogojev njihovega nastanka in mehanske ter kemične stabilnosti med preperevanjem, transportom in diagenozo, smo cirkon uporabili kot korelacijski mineral. Kri-

stalna oblika cirkona je lastnost, ki jo je sorazmerno enostavno opazovati, opredeliti in kvantificirati, a je odvisna od številnih fizikalnih in kemičnih pogojev, ki pa niso neodvisni eden od drugega. P u p i n in T u r c o (1972 c, 1975) navajata, da je njegova kristalna oblika najbolj odvisna od temperature kristalizacije in razmerja alkalij in aluminija v magmi. Na osnovi razmerja prizem (100) in (110) ter piramid (101) in (210) sta izdelala mrežni diagram tipoloških oblik cirkona (P u p i n & T u r c o, 1972 c; P u p i n, 1980), ki smo ga uporabili za kvantitativno opredelitev kristalnih oblik cirkona.

V grōdenskih peščenjakih smo zasledili euhedralna in zaobljena zrna cirkona. Med euhedralnimi zrnji smo prepoznali 37 različnih tipoloških oblik osrednjega in spodnjega dela Pupinove tipološke klasifikacije, ki obsega 64 kristalnih oblik cirkona. Poleg bolj ali manj simetričnih zrn so prisotna tudi zrna z morfološkimi lastnostmi dveh tipoloških oblik ali kompleksnejši zraščenci.

Na osnovi do sedaj zbranih podatkov o kemični sestavi različnih tipoloških oblik cirkona, ne moremo podati zanesljivejših povezav med kemično sestavo cirkona in njegovo kristalno obliko, ker niso bile analizirane vse najbolj zastopane oblike ali pa je bilo število analiziranih zrn posameznih oblik premajhno. Podatki kažejo tudi na določene razlike v količini Hf, Y, Th, U in Fe, ki nadomeščajo Zr v kristalni strukturi posameznih tipoloških oblik cirkona.

Povezave med tipološkimi oblikami S7, S8, S9, P2, S12, S13, S14, S17, S18, S19, S20, P4, S22, S23, S24, ki so zastopane z več kot 1.5 %, so relativno slabe. Nekoliko trdnješe povezave tipoloških oblik lahko združimo v sedem skupin. Morebitno združevanje posameznih oblik v nove apriorno določene skupine bi moralo sloneti na ugotovljenih naravnih povezavah.

Razvrstitev enot (vzorcev), opredeljenih z zastopanjem posameznih tipoloških oblik cirkona, v posamezne skupine na sedanji stopnji raziskanosti ne kaže na možnost zanesljivejše podrobnejše korelacije znotraj litostratigrafskih členov Grōdenske formacije. Posamezni litostratigrafski členi pa se glede na zastopanost tipoloških oblik značilno razlikujejo. K njihovemu ločevanju največ prispevajo oblike S8, S23, P4, P2, S22, S18, S7, S19 in S14. Z njimi je na raziskovanem ozemlju možno posamezne člene ločevati in korelirati s povprečno 82 % zanesljivostjo.

Na osnovi tipološke frekvenčne porazdelitve populacije oblik cirkona in podatkov P u p i n a (1980, 1985) smo skušali interpretirati sestavo magmatskih kamnin na izvornem območju. Najbolj izraženo polje oblik S19 in S24 naj bi nakazovalo prevladujoč vpliv magmatskih kamnin orogenih območij, ki so kristalizirale iz suhe vroče magne Ca-alkalne in K-Ca-alkalne sestave. Tako interpretacijo potrjujejo tudi rezultati analiz modalne sestave in litičnih zrn v peščenjakih ter prodnikov v konglomeratih (S k a b e r n e, 1995).

Za rešitev nakazanih, a nerešenih vprašanj bi bilo potrebno raziskave tipoloških oblik cirkona nadaljevati.

Zircon in the Val Gardena sandstone from the Žirovski vrh and Sovodnj region, W Slovenia

Summary

In Slovenia the largest continuous belt of clastic rock of the Val Gardena Formation of Permian age extends in the Žiri region between Cerkno and Smrečje belonging

to Idrija - Žiri overthrust structure. Because of occurrences of ore concentrations of uranium and copper the formation has drawn attention of many geologists. M l a k a r (1979 - 1982) geologically mapped the Žiri region and subdivided the Val Gardena Formation into six superposition units A_1 , A_2 , $A_{3/1}$, $A_{3/2}$, B and C to which the character of lithostratigraphic members can be ascribed. They are named by Mlakar A_1 - Br - Brebovnica Member, A_2 - Ho - Hobovše Member, $A_{3/1}$ - Ko - Koprivnik Member, $A_{3/2}$ - Za - Zala Member, B - Šk - Škofje Member and C - Do - Dobračeva Member. Thickness of the Val Gardena Formation locally changes from 200 to 1750 m and is the greatest in the region of Žirovski vrh. The beds underlying the Val Gardena Formation consist of dark grey clastic rocks of attributed Carboniferous age. Their upper part might be of Lower Permian age. The overlying beds are the Upper Permian carbonate rocks.

Geologists working in the Val Gardena Formation, especially in the lower uranium bearing part (Brebovnica Member), had problems with detailed correlation. We tried to improve the lithofacial correlation by mineral composition of light and heavy fraction. Zircon was chosen as discrimination mineral among the minerals present for many reasons. The crystal forms, physical and chemical properties of zircon vary depending on its crystallisation conditions. The mineral is mechanically and chemically very resistant during weathering, transport, and diagenesis. It is one of the most frequent components in the relatively quickly changeable suite of heavy minerals and is present in all samples. The crystal form of zircon is a property that is relatively easy to observe, determine, and quantify, but it is dependent of numerous physical and chemical conditions, which are more or less interdependent from each other. P u p i n and T u r c o (1972c, 1975) pointed out that the crystal forms of zircon depend the most of temperature and the ratio between alkalis and Al in magma. They constructed a reticular diagram of typological classification according to the ratio of developed prisms (100), (110), and pyramids (101), (210) of zircon crystals, which was used for determination of the frequencies of the forms of zircon.

In the Val Gardena sandstone the zircon grains are euhedral and rounded. On examined euhedral grains of zircon 37 typological forms were determined from the middle and lower part of the Pupin's typological classification which comprises 64 different forms. Grains with properties of two typological forms and complex intergrowths are found beside more or less symmetrical ones.

Data on chemical composition of different typological forms collected till now do not allow reliable conclusion on relation between the chemical composition of zircon and its crystal forms. Nevertheless, the chemical data show some differences in the content of Hf, Y, Th, U, and Fe substituting Zr in the crystal structure between types of zircon.

For the quantitative evaluation only the typological forms S7, S8, S9, P2, S12, S13, S14, S17, S18 S19, S20, P4, S22, S23, S24 having the relative frequencies greater than 1.5 % in the entire zircon form population were considered. The correlation between different types of zircon is relatively low. Some higher correlation of the typological forms clustered into seven groups. If one would want to apply a combination two or more typological forms as new larger a priori defined groups, they should base on the established natural connections.

Clusters of cases (samples) defined by the relative frequencies of the typological forms of zircon does not show a possibility for more detailed and confident correlation within the lithostratigraphic members of the Val Gardena Formation on the basis of the available data. However, the lithostratigraphic members of the Val Gardena

Formation are statistically different on the $p < 0.05$ level. The typological forms S8, S23, P4, P2, S22, S18, S7, S19 and S14 make the most significant contribution to their discrimination. The lithostratigraphic members can be discriminated and correlated with the mean certainty of 82 %.

At the end, we tried to interpret the composition of igneous rocks in the source area according to the relative frequencies of the crystal forms of zircon population in the Val Gardena sandstone. The outstanding field of the most frequent zircon types S19, S24, and data from Pupin (1980, 1985) indicate the prevailing influence of orogenic type igneous rocks of Ca-alkaline and K-Ca-alkaline compositions. The modal, lithic grains and pebbles composition of the Val Gardena sandstone and conglomerate confirmed such interpretation (Skaberne, 1995).

For answers of the indicated unsolved questions further typological investigations of zircon in the Val Gardena sandstone would be needed.

Zahvala

Zahvaljujem se kolegom Simonu Pircu, Ladislavu Placerju in Bojanu Ogorelcu za koristne pripombe, ki so pripomogle k izboljšavi rokopisa. Za tehnično pomoč velja moja zahvala Vladimirju Segalli, Miranu Udovču in Mirjam Vrabec. Raziskave je finančno omogočilo Ministrstvo za znanost in tehnologijo R Slovenije.

Literatura

- Alinat, M., Pupin, J. P. & Turco, G. 1979: Le zircon dans les roches de la série métamorphique de „L'Anticlinal“ de Tulle (Corrèze, Massif Central français). Implications pétrogénétiques. - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 59, 25-40, Zürich.
- Alper, A. & Poldervaart, A. 1957: Zircons from the Animas stock and associated rocks, New Mexico. - Econ. Geol., 52, 952-971, El Paso.
- Awash, N. 1961: Authigenic tourmaline and zircon in the Vindhyan formations of Sone Valley, Mirzapur District, Uttar Pradesh, India. - J. Sediment. Petrol., 31, 482-484, Tulsa.
- Blatt, H., Middleton, G. V. & Murray, C. R. 1980: Origin of sedimentary rocks. 2nd ed., - Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, N. J., 782 pp.
- Budkovič, T. 1980: Sedimentološka kontrola uranove rude na Žirovskem vrhu. - Geologija, 23/2, 221-226, Ljubljana.
- Benisek, A. & Finger, F. 1993: Factors controlling the development of prism faces in granite zircons: a microprobe study. - Contrib. Mineral. Petrol., 114, 441-451, Heidelberg.
- Byerly, G. R., Markovich, J. V. & Malcuit, R. J. 1975: Use of Fourier shape analysis in zircon petrographic studies. - Bull. Geol. Soc. Amer., 86, 956-958, Boulder.
- Caruba, R. 1978: Morphologie des zircons synthétiques. - Can. Mineral., 16, 315-323, Ottawa.
- Caruba, R., Baumer, A. & Turco, G. 1975: Nouvelles synthèses hydrothermales du zircon: substitutions isomorphiques; relation morphologie - milieu de croissance. - Geochim. Cosmochim. Acta, 39, 11-26, Oxford.
- Davis, G. L., Hart, S. R. & Tilton, G. R. 1968: Some effects of contact metamorphism on zircon ages. - Earth Planet. Sci. Letters, 5, 27-34, Amsterdam.
- Farges, F. 1994: The structure of metamict zircons: a temperature-dependent EXAFS study. - Phys. Chem. Minerals, 20, 504-514, Berlin.
- Gastil, R. G., DeLisle, M. & Morgan, J. 1967: Some effects of progressive metamorphism on zircons. - Bull. Geol. Soc. Am., 78, 879-906, Boulder.
- Hutton, C. O. 1950: Studies of heavy detrital minerals. - Bull. Geol. Soc. Am., 61, 635-716, Boulder.
- Kresten, P., Fels, P. & Berggren, G. 1975: Kimberlitic zircons - A possible aid in prospecting for kimberlites. - Mineral. Dep., 10, 47-56, Berlin.
- Köhler, H. 1970: Die Änderung der Zirconmorphologie mit dem Differentiations-grad eines Granits. - N. Jb. Mineral. Mh., 9, 405-420, Stuttgart.

- Kostov, I. 1973: Zircon morphology as a crystallogenic indicator. - *Kristall und Technik*, 8, 11-19, Berlin.
- Lukacs, E. & Florjančić, A. P. 1974, Uranium ore deposits in the Permian sediments of Northwest Yugoslavia. - Formation of Uranium Ore Deposits, Proceedings of a Symposium, Athens, 6-10 May 1974, International Atomic Energy Agency, Vienna, 313-329.
- Marshall, B. 1967: The present status of zircon. - *Sedimentology*, 9, 119-136, Oxford.
- Mlakar, I. 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. - *Geologija*, 12, 5-72, Ljubljana.
- Mlakar, I. 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1985: Geološki faktorji kontrole Hg, Cu in U mineralizacije. - Arhiv IGGG, Ljubljana (neobjavljeno).
- Murthy, M. V. N. & Siddiquie, H. N. 1964, Studies of some zircons from some garnetiferous sillimanite gneisses (Khondalites) from Orissa and Andhra Pradesh, India. - *J. Geol.*, 72, 123-128, Chicago.
- Omaljev, V. 1965: Ležište uranijuma Žirovski vrh. - *Nuklearna energija*, 3, Beograd.
- Omaljev, V. 1967 a: Razvoj gredenskih slojeva i uranove mineralizacije u ležištu urana Žirovski vrh. - *Radovi IGRI*, 3, 33-65, Beograd.
- Omaljev, V. 1967 b: Korelacija slojeva u ležištu Žirovski vrh. - *Radovi IGRI*, 3, 125-149, Beograd.
- Placer, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. - *Geologija*, 24/1, 27-60, Ljubljana.
- Poldervaart, A. 1956: Zircon in rocks. 2. Igneous rocks. - *Am. J. Sci.*, 254, 433, New Haven.
- Protic, M., Radošević, S. & Grad, K. 1972: Terrigene Permablagerungen als uranföhrende Sedimente in Slowenien. - Proceedings of the 2nd International Symposium on the Mineral Deposits of the Alps, *Geologija*, 15, 77-90, Ljubljana.
- Pupin, J. P. 1980: Zircon and granite petrology. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207-220, Heidelberg.
- Pupin, J. P. 1985: Magmatic zoning of Hercynian granitoids in France based on typology. - *Schweiz Mineral Petrogr. Mitt.*, 65, 29-56, Zürich.
- Pupin, J. P. & Turco, G. 1972 a: Une typologie originale du zircon accessoire. - *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.*, 95, 348-359, Paris.
- Pupin, J. P. & Turco, G. 1972 b: Application des données morphologiques du zircon accessoire en pétrologie endogène. - *C. R. Acad. Sci., Paris, D*, 275, 799-802, Paris.
- Pupin, J. P. & Turco, G. 1972 c: Le zircon accessoire en géothermométrie. - *C. R. Acad. Sci., Paris, D*, 274, 2121-2124, Paris.
- Pupin, J. P. & Turco, G. 1975: Typologie de zircon accessoire dans les roches plutoniques dioritiques, granitiques et syénitiques. Facteurs essentiels déterminant les variations typologiques. - *Pétrologie I*, 2, 139-159, Paris.
- Pupin, J. P., Bonin, B., Tessier, M. & Turco, G. 1978: Rôle de l'eau sur les caractères morphologiques et la cristallisation du zircon dans les granites. - *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 20, 721-725, Paris.
- Ristić, M. & Markov, C. 1971: Mineraloško-geohemijske odlike, sredina taloženja, indikator orudnjenja i način postanka ležišta urana Žirovski vrh u SR Sloveniji. - *Radovi IGRI*, 3, 1-34, Beograd.
- Saxena, S. K. 1966: Evolution of zircons in sedimentary and metamorphic rocks. - *Sedimentology*, 6, 493-502, Oxford.
- Skaberne, D. 1995: Sedimentacijski in postsedimentacijski razvoj gródenske formacije med Cerknim in Žirovskim vrhom. - Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, I. del, 500 pp., II. del, 192 pp. + 46 pril., Ljubljana.
- Strumberger, V. 1986 a: Korelacija sive gródenske formacije na podlagi mineraloških lastnosti cirkona. Vrednotenje in eksploatacija uranovih nahajališč. - Referati 2. jugoslovanskega posvetovanja o jedrskih surovinah, Škofja Loka, 19.-21. junija 1986, 201-216, Škofja Loka.
- Strumberger, V. 1986 b: Poročilo o korelaciji litoloških členov gródenske formacije na osnovi mineraloško geokemičnih lastnosti mineralov teške frakcije. - Arhiv IGGG, Ljubljana (neobjavljeno).
- Turco, G. & Pupin, J. P. 1982: Age et métamorphisme: des facteurs intervenant sur la coloration, le zonage, les „surcroissances“ des zircons. - 9^e Réunion Ann. Sc. de la Terre, 612, Paris.
- Vavra, G. 1990: On the kinetics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 106, 90-99, Heidelberg.
- Vitana, P. W. 1957: Studies of zircon types in the Ceylon Precambrian complex. - *J. Geol.*, 65, 117-128, Chicago.
- Wyatt, M. 1954: Zircons as provenance indicators. - *Am. Mineralogist*, 39, 983-990, Washington.

Structural meaning of the Sava folds

Strukturni pomen Posavskih gub

Ladislav Placer

Geološki zavod Slovenije
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Key words: boundary Austroalpine - Dinarides - Tisa unit, Sava folds, Slovenia
Ključne besede: meja Avstroalpin - Dinaridi - enota Tisa, Posavske gube, Slovenija

Abstract

The Sava folds are situated in the triangle between the W-E striking **Periadriatic tectonic zone**, the NW-SE **Idrija tectonic zone**, and the WSW-ENE **Mid-Hungarian tectonic zone**. The forming of folds is associated with shaping of the intersecting area between two important tectonic zones called the **Idrija - Mid-Hungarian trans-section zone** which is characterized by a typical parquet structure and by an absence of dominant direction of shear displacements. In this way in the triangular segment between the Idrija and Mid-Hungarian tectonic zones called by us the **Sava compressive wedge** a field of N-S directed increased normal tensions was formed that resulted into the folding of the W-E oriented Sava folds. Owing to folding the compressive wedge shortened in the N-S direction for about 20 km which led to the shift of the Periadriatic tectonic zone to the south, and to its narrowing.

The beginning of intense folding of Sava folds could not be more precisely determined as being younger than Miocene, or presumably Pliocene. The compression is associated with folding and uplift of the compressive wedge and the forming of the antecedent valley of the Sava river between the Ljubljana and Krško basins. This means the process of compression was at work also in the Quaternary, and could be hypothetically active even at present.

Kratka vsebina

Posavske gube so vmeščene v trikotnik med **Periadriatsko tektonsko cono** v smeri W-E, **Idrijsko tektonsko cono** v smeri NW-SE in **Srednjemadžarsko tektonsko cono** v smeri WSW-ENE. Nastanek gub je povezan z izoblikovanjem presečišča med Idrijsko in Srednjemadžarsko tektonsko cono, imenovanega **Idrijsko-Srednjemadžarska presečna cona** z značilno parketno zgradbo brez dominantne smeri strižnih premikov. Tako se je v trikotnem segmentu med Idrijsko in Srednjemadžarsko tektonsko cono, imenovanem **Savski kompresijski klin**, ustvarilo polje povečanih normalnih napetosti v smeri N-S, ki je povzročilo nastanek Posavskih gub v smeri W-E. Zaradi gubanja se je kompresijski klin v smeri N-S skrčil za okoli 20 km, kar se je odrazilo z usločitvijo Periadriatske tektonske cone proti jugu in z njenim zoženjem.

Začetka intenzivnega gubanja Posavskih gub ne moremo natančneje določiti, vsekar pa je mlajše od miocena in ga domnevno postavljamo v pliocen, kompresijo povezujemo z gubanjem in z dviganjem kompresijskega klina ter nastankom antecedentne doline reke Save med Ljubljansko in Krško kotlino. To pomeni, da je proces komprimacije trajal še v kvartarju in bi bil hipotetično lahko dejaven še danes.

Introduction

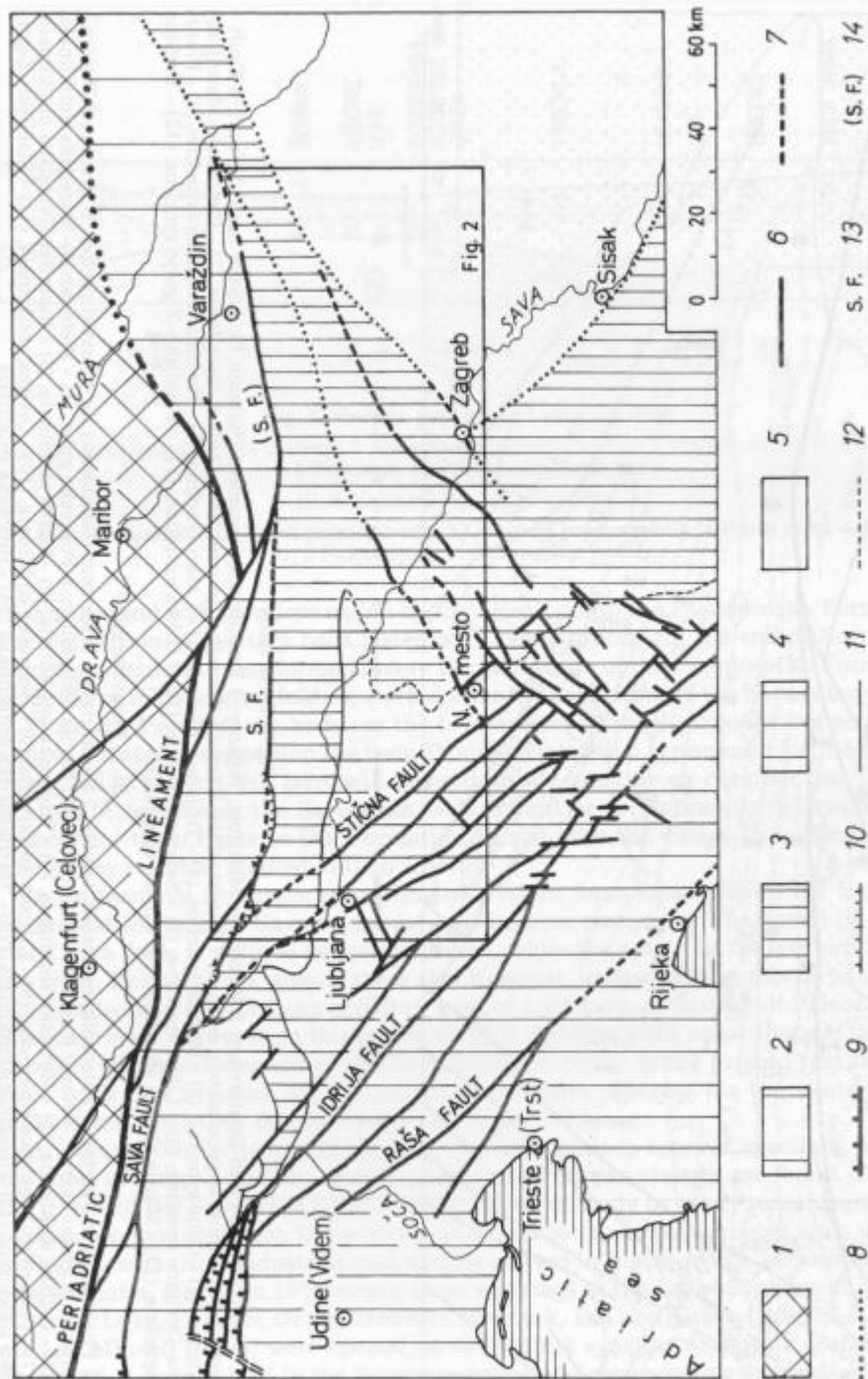
Between the Southern Alps and the External Dinarides along the middle course of the Sava river in Slovenia (fig. 1) a belt of folded beds is situated that was called by *Winkler* (1923) the Sava folds. Earlier *Kossmat* (1913) used for this feature the term System of Sava folds. Characteristics of this belt are west-east striking folds with the wavelength of several hundreds of meters to ten kilometers and more, but with the amplitude of the largest hardly surpassing two kilometers. In guidebooks to the Basic geologic map 1:100,000 several folds are listed. The more important are the Celje, Motnik, Laško, Planina-Desinice, Senovo, Bizeljsko-Zágorje, Brezina and Brdovec synclines and Pletovarje-Macelj, Trojane, Rudenica-Ivanjica, Litija, Orlica and Marija Gorica anticlines (fig. 2). The boundaries of Sava folds are not sharp. They extend westwards to the Ljubljana basin, in the east to Medvednica and Kalnik, in the north to Kamnik-Savinja Alps and eastern extension of Karavanke, and in the south they gradually fade out in External Dinarides south of Sava. Geologically they include Mesozoic beds of the Slovenian basin, Paleozoic and Mesozoic beds of the External Dinarides, Mesozoic beds of the Southern Alps and Tertiary beds of the Pannonian basin. The rocks of the Slovenian basin are attributed in the present article to the Internal Dinarides; this problem is, however, not the object of this treatise, so also a different attribution is possible. This problem is dealt with in the paper on tectonic subdivision of the considered territory (*Placer*, 1998, this journal). In the structural sense the Sava folds consist from the bottom upwards of three structural levels. The first level is constituted of formationally not yet treated Carboniferous-Permian clastics and Middle Permian clastics of the Val Gardena Formation that were deposited on the first mentioned beds discordantly, and in places also of Triassic Werfen rocks. The second structural level that is overthrust in the form of a large nappe, or several nappes, constitute the Permian, Triassic, Jurassic and Cretaceous beds that are developed in carbonate and clastic facies. A part of Jurassic and Cretaceous beds belong to the pelagic facies of the Slovenian basin. The third structural level is formed by the disconformably deposited, loosely cemented clastic and carbonate rocks of Tertiary age. *Kuščer* (1967) on the ground of works of older researchers, among which *Bittner* (1884) was the most important, and of his own observations meaningfully distinguished the Socka Formation with coal, marine clay called sivica, that he compared to Kiscell Formation, Govce Formation, Laško Formation and the Sarmatian beds. Locus typicus of the Socka Formation is Socka in Slovenian Styria where *Jelen et al.* (1992) attributed it to Eocene age. The Socka Formation in Sava folds should have been deposited according to investigations during Middle or Late

Fig. 1. Neotectonic sketch map of the relationship between Eastern Alps and Dinarides

1 Eastern Alps; 2 Southern Alps; 3 Internal Dinarides; 4 External Dinarides; 5 Tisa unit; 6 Fault; 7 Fault - covered or approximately located; 8 Fault - covered and most approximately located; 9 Reverse fault, thrust; 10 Thrust of the Kamnik-Savinja Alps over Sava fault; 11 Thrust border of the Internal Dinarides; 12 Approximate sedimentation border of the Internal Dinarides; 13 Save fault - Celje fault after *Buser* (1978, 1979); 14 Sava fault - supposed line

Sl. 1. Neotektonska skica stičnega območja Vzhodnih Alp in Dinaridov

1 Vzhodne Alpe; 2 Južne Alpe; 3 Notranji Dinaridi; 4 Zunanji Dinaridi; 5 Enota Tisa; 6 Prelom; 7 Prelom - prekrit ali približno lociran; 8 Prelom - prekrit in grobo lociran; 9 Reverzni prelom, nariv; 10 Nariv Kamniško-Savinjskih Alp čez Savski prelom; 11 Narivna meja Notranjih Dinaridov; 12 Približna meja sedimentacije Notranjih Dinaridov; 13 Savski prelom - Celjski prelom po *Buserju* (1978, 1979); 14 Savski prelom - domnevna trasa



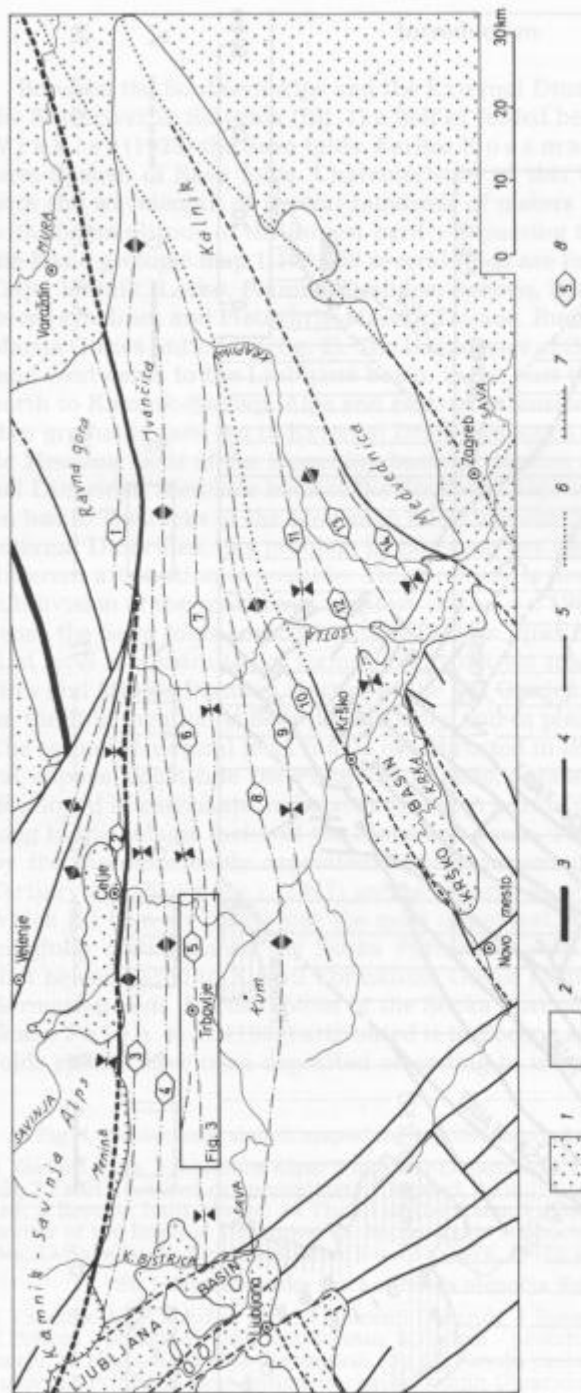


Fig. 2. Sava folds

1 Pliocquaternary and Quaternary; 2 Paleozoic, Mesozoic, Tertiary; 3 Periadiatric lineament (Balaton 1.); 4 Sava fault; 5 Fault covered and most approximately defined; 7 Thrust of the Kamnik-Savinja Alps over Sava fault; 8 Posavske gube: (1) - Pletovarje-Macelj anticline, (2) - Celje syncline, (3) - Motnik syncline, (4) - Trojanske anticline, (5) - Laško syncline, (6) - Rudnica-Ivančica anticline, (7) - Planina-Desinice syncline, (8) - Litija anticline, (9) - Senovo syncline, (10) - Orlica anticline, (11) - Bizeljsko-Zgorje syncline, (12) - Brezina syncline, (13) - Marija Gorica anticline, (14) - Brdovec syncline

Sl. 2. Posavske gube

1 Pliokvartar in kvartar; 2 Paleozoik, mezozoik, terciar; 3 Periadiatrijski lineament (Balatonski 1.); 4 Savski prelom; 5 Prelom: 6 Prelom - prekrit in grobo lociran; 7 Nariv Kamniško-Savinjskih Alp čez Savski prelom; 8 Posavske gube: (1) - Pletovarje-Maceljska antiklinala, (2) - Celjska sinklinala, (3) - Motniška sinklinala, (4) - Trojanska antiklinala, (5) - Laška sinklinala, (6) - Rudniško-Ivanjska antiklinala, (7) - Planinsko-Desiniška sinklinala, (8) - Litjska antiklinala, (9) - Senovška sinklinala, (10) - Orliška antiklinala, (11) - Bizeljsko-Zgorjska sinklinala, (12) - Brezinska sinklinala, (13) - Marijagoriška antiklinala, (14) - Brdovška sinklinala

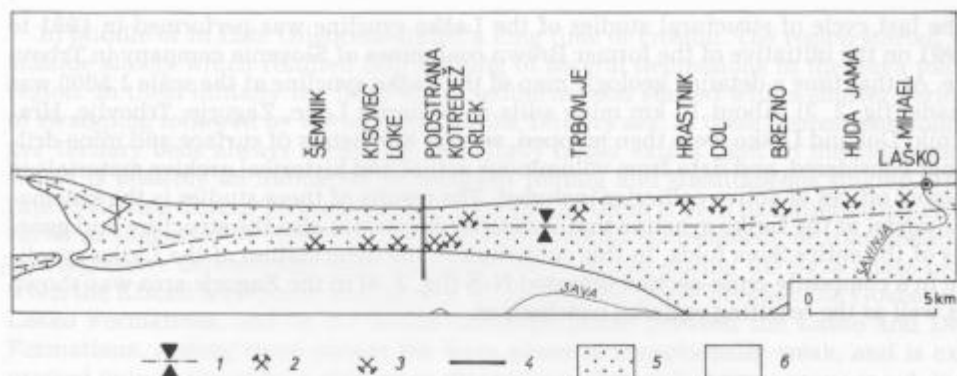


Fig. 3. Western part of the Laško syncline

1 Laško syncline; 2 Active colliery; 3 Abandoned colliery; 4 Cross - section on Fig. 4; 5 Tertiary; 6 Paleozoic and Mesozoic basement

Sl. 3. Zahodni del Laške sinklinale

1 Laška sinklinala; 2 Delujoči premogovnik; 3 Opušteni premogovnik; 4 Profil na sl. 4; 5 Terci-ar; 6 Paleozojska in mezozojska podlaga

Oligocene, and was therefore called by the Jelen's group the Pseudosočka Formation. The deposition of Tertiary beds lasted with interruptions till the end of Sarmatian. The nappe structure was formed before the deposition of the Pseudosočka Formation. In the Sava folds intense folding started after the deposition of the Sarmatian beds.

Since the Pseudosočka beds are the best developed in the Trbovlje region, according to a Kuščer's suggestion the term Trbovlje Formation is proposed for them by us. In the following text this term will be used. In the same line we consider that for unification of terms also the Sarmatian beds should be formationally determined. We propose for them the term Dol Formation named after the village Dol near Hrastnik where they could be studied in their totality.

In professional literature separating of western Sava folds west of the Ljubljana basin, and the eastern Sava folds east of it became customary. The extent of the eastern Sava folds is defined as just described, while the extent of the western folds is not clear. Most authors, among them also Kossmat, understand by this term the Polhov Gradec and Škofja Loka territory west of Ljubljana consisting of Paleozoic and Mesozoic beds. However, in this region no W-E trending folds occur that are the recognizable structural element of the Sava folds. Therefore in the present text the term Sava folds is a synonym for the eastern Sava folds, whereas for the western Sava folds we consider they do not exist in the structural sense.

At present the Tertiary beds occur in the Sava folds in cores of synclines, while in the cores of larger anticlines the Carboniferous-Permian clastics are found. The Tertiary beds of the Sava folds have been the object of study by many researchers owing to their economic interest. In the Trbovlje Formation an important coal seam up to 30 m thick occurs. Non industrial coal mining started in places in the 18th century already, and later, mostly in 19th century, mine workings in the Laško syncline at Šemnik, Kisovec, Loke, Zagorje, Orlek, Trbovlje, Hrastnik, Dol and Laško (Brezno, Huda jama and Mihael) (fig. 3) were opened, in the Motnik syncline at Motnik, Zabukovica, Štore and Pečovnik, and in the Senovo syncline at Senovo and in a few other places.

The last cycle of structural studies of the Laško syncline was performed in 1981 to 1991 on the initiative of the former Brown coal mines of Slovenia company in Trbovlje. At that time a detailed geologic map of the Laško syncline at the scale 1:5000 was made (fig. 2, 3). About 10 km mine adits in collieries Loke, Zagorje, Trbovlje, Hrastrnik, Dol and Laško were then mapped, several kilometers of surface and mine drillings considered, and data from voluminous actual and historical archive materials in survey offices of active collieries included. The results of these studies is the kinematic model of the Laško syncline that indirectly illustrates also the structure and genesis of the entire Sava folds. In this contribution the deformation of the Laško syncline in a composite cross-section oriented N-S (fig. 3, 4) in the Zagorje area was shown as well as the resulting regional conclusions.

Genesis of the actual structure of collieries in the Zagorje area

It became clear already after the first analyses of genesis of the Laško syncline that the deformations in Tertiary beds reflect the structure of older deformations in the basis of Tertiary. Therefore mapping of a broad belt of Mesozoic and Paleozoic beds was necessary as well as the reconstruction of circumstances before the deposition of the Oligocene beds. It turned out that the apparently so differing structures of individual coal deposits in the Laško syncline are a result of structural predisposition and different space relations between more or less ductile rocks in the pre-Tertiary basement, and not of different deformation styles.

Fig. 4 shows the genesis of the Laško syncline in the Zagorje area that contains the coal deposits at Kisovec, Loke, Podstrana, Kotredež and Orlek (fig. 3). The general situation before the deposition of the Trbovlje beds in the region of later Laško syncline is shown by cross-section in fig. 4a. On it the first and the second structural levels of the Sava folds are shown, separated by a well expressed obliquely cut thrust line against which lean from the north southwards gradually younger stratigraphic members of the second structural level from the Middle Permian clastics of the Val Gardena Formation in the north to Norian-Rhaetian Main Dolomite and Dachstein Limestone in the south. The nappe unit is of heterogeneous internal structure that is bivalent in the considered area. In the south occur in the base some Middle Triassic layered rocks, while the largest part of it consists of Middle Triassic, Upper Triassic and Lower Jurassic non bedded or indistinctly bedded dolomite and limestone with some discordantly deposited Upper Cretaceous limestone. In the north the nappe unit consists first of Middle Permian clastics of the Val Gardena Formation, followed by predominantly layered carbonate rocks of the Bellerophon and Werfen Formations, and dolomite of the Mendola Formation, and finally of abundant sequence of clastics of the Pseudozilja Formation of Ladinian and Cordevolian age (Kolar - Jurkovšek & Placer, 1987; Placer & Kolar - Jurkovšek, 1990) that originally, according to the fossil locality at the Celje castle (Teller, 1889) were attributed in their totality to the Langobardian age. On Triassic beds lie erosional remnants of discordantly deposited Cretaceous limestone. The Pseudozilja beds were consequently deposited near shore, parallel to the carbonate threshold, which is an extraordinary phenomenon from the geomechanic point of view. The lateral passage from the carbonate to clastic facies is seen in the Ravenska vas area.

The cross-section in fig. 4a is simplified to the measure as to enable understanding of deformational kinematics.

In Middle or in Late Oligocene ended a long time of erosion. The region started to subside slowly which resulted into forming of several depressions in the Sava folds region. In them initially the fresh water sedimentation started with a shorter period of swamping followed by the incursion of the Tertiary sea. In these depressions younger Tertiary beds always occupy an essentially larger extent than do the older ones which is possibly an indication of incipient folding and simultaneous sinking. The rate of sinking during Tertiary was not uniform. At times it even had alternating character as suggested by alternating marine and brackish environment, or transgressive and regressive depositional sequences with interruptions during the Sava phase between the Kiscell and Govce Formations, in the Styrian phase between the Govce and Laško Formations, and in the Moldavian-Attic phase between the Laško and Dol Formations. Among these phases the Sava phase is exceptionally weak, and is expressed only in places by a dispersion discordance. Somewhat more pronounced, but still dispersive, is the Styrian discordance, while the Moldavian-Attic is the strongest, displaying locally as the only one a clear angular component.

The situation at the end of deposition of Miocene beds in the region of later Laško syncline is shown in fig. 4b. At the first look it is obvious that the center of subsidence, and the design of the hinge of the Laško syncline were formed in the area of Pseudozilja Formation near the carbonate threshold, so that its south limb consists of pre-vailling non bedded carbonate beds, while the north limb of clastics of a higher degree of ductility.

After the Sarmatian times started an intense compression of the region that resulted into the uplift of the territory and thrust of the southern part of the basin on its northern half. This is the Novi Dol thrust, as named by Gregorač (1975) and commented by Kuščer & Mitrevski (1979). It follows from the detailed reconstruction of genesis of entire basin that the length of displacement of the thrust mass along this thrust eastwards amounts at Laško to 2.5 kilometers, while it becomes westward shorter and shorter, so that it is in the Zagorje area only a few tens of meters, at most 100 meters. The effect of this thrust at Zagorje is shown in fig. 4c.

The mentioned displacement along the Novi Dol thrust is an indication of a temporally limited phase of compression. Then probably followed a time of stagnation and repeated compression. Alternation of compression and stagnation is the virtual component in the explanation of the genesis of the Sava folds. At the end of this chapter it will be seen that the scenario could have been different, with the same succession of events, however.

Regardless of these dilemmas it is possible to conclude from the deformational analysis of the entire Laško syncline that during the second phase of compression the area was first gently folded in asymmetric folds (fig. 4d). Then along the just formed predisposed zone that was directed parallel to the layers of the Trbovlje Formation in the south limb of the newly folded syncline the thrust plane was formed at which the north limb of the syncline was thrust for 1500 to 2000 m southwards on its southern limb (fig. 4e). The Trbovlje Formation with coal seam was thrust towards the south on the southerly lying carbonate threshold. At that the thrust front disintegrated into a number of nappes; the largest among them is the Kisovec horse (K). The considered overthrust from north to south is developed in the entire Laško syncline and is known as the Hrastnik thrust, after the town of Hrastnik. It was named by Gregorač (1975).

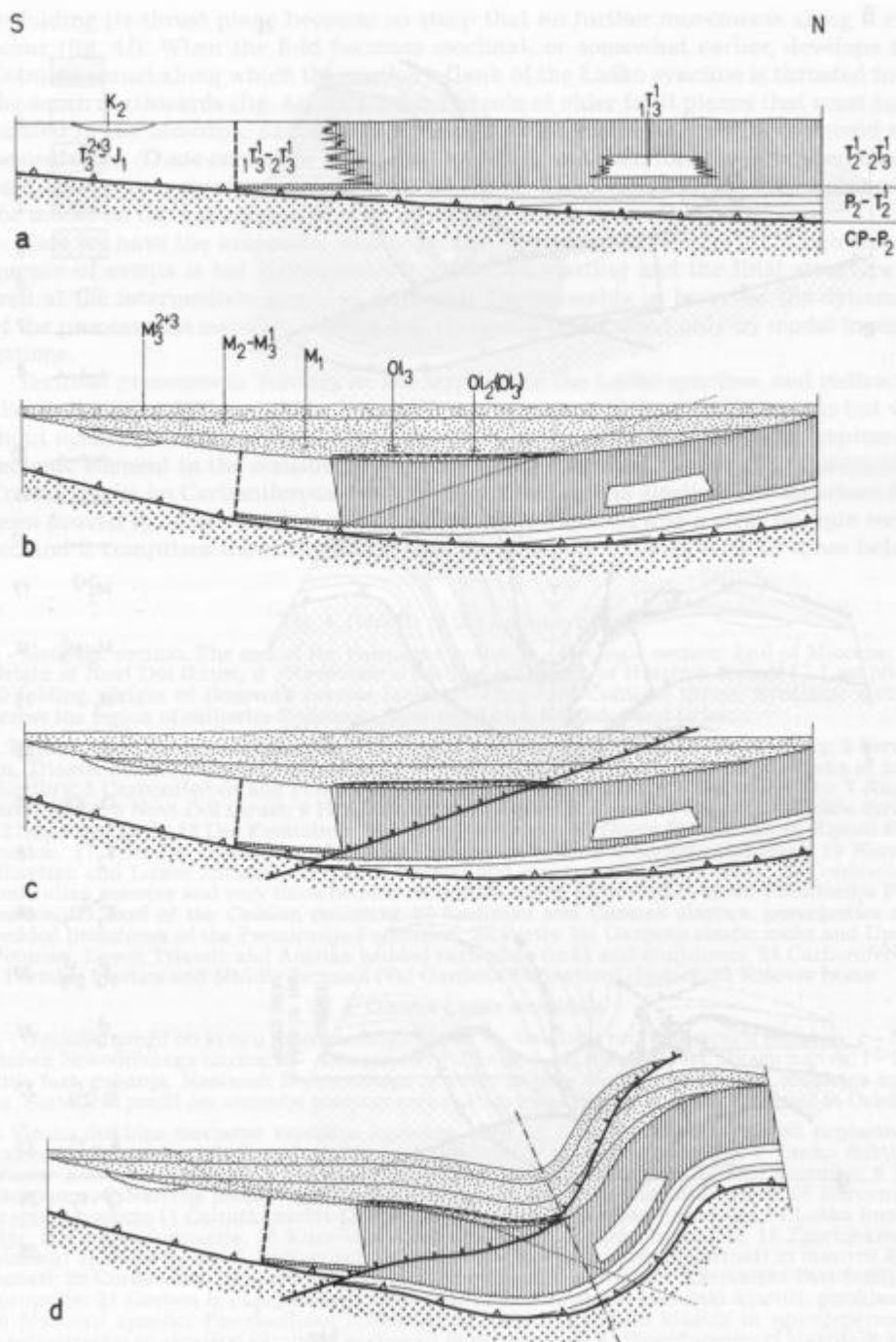
The displacement along the Hrastnik thrust was probably followed by a phase of stagnation which was replaced by repeated intense folding (fig. 4f) with various re-

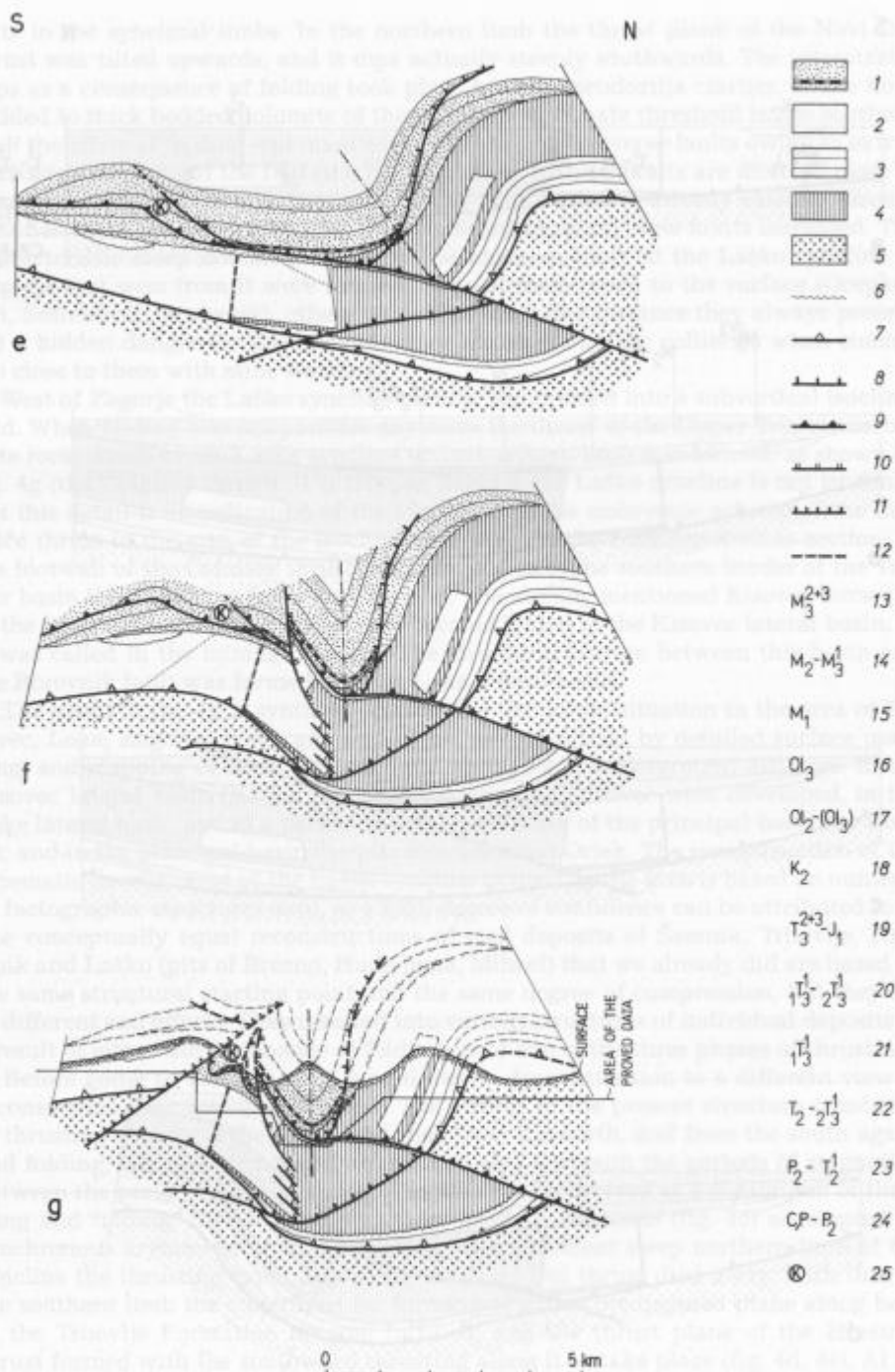
sults in the synclinal limbs. In the northern limb the thrust plane of the Novi Dol thrust was tilted upwards, and it dips actually steeply southwards. The intrastratal slips as a consequence of folding took place here in Pseudozilja clastics. In the non-bedded to thick bedded dolomite of the southern carbonate threshold in the southern limb the effect of folding was manifested by forming of reverse faults owing to extrusions from the core of the fold (the Borovnik fault). These faults are directed close to nonexistent layer planes, or they present the reactivation of already existent discontinuities. With progressing folding the displacement along these faults increased. The characteristic steep dolomite horses in the southern limb of the Laško syncline at Zagorje and west from it were formed; some of them reach to the surface (Ocepkov vrh, Smrekovec, Borovnik), others do not. In the latter instance they always presented a hidden danger for unexpected water inrushes into the collieries when coming too close to them with mine workings.

West of Zagorje the Laško syncline became compressed into a subvertical isoclinal fold. When folding was not possible any more the thrust of the Upper Triassic carbonate rocks south of the Laško syncline on its southern limb was formed, as shown by fig. 4g (the Čolnišče thrust). It is true, at Zagorje the Laško syncline is not isoclinal, but this detail is an indication of the formation of the embryonic scheme of the Čolnišče thrust in the area of the isoclinal fold, beyond the considered cross-section. In the footwall of the Čolnišče thrust in Tertiary beds of the southern border of the Tertiary basin the perithrust folds were formed. The already mentioned Kisovec horse (K) at the front of the Hrastnik thrust now became folded to the Kisovec lateral basin, as it was called in the mining practice. The structural feature between this basin and the Borovnik fault was formed into the Loke lateral basin.

The profil in fig. 4g is synthetic, combining the actual situation in the area of Kisovec, Loke, Zagorje, Podstrana and Orlek, as established by detailed surface mapping, and mapping of mine workings and surface and underground drillings. In the Kisovec lateral basin (K) the pits of Podstrana and Kisovec were developed, in the Loke lateral basin and in a part of the southern flank of the principal basin the Loke pit, and in the principal basin the pits Kotredež and Orlek. The reconstruction of the kinematic development of the Laško syncline in the Zagorje area is based on numerous factographic structural data, so a high degree of confidence can be attributed to it. The conceptually equal reconstructions of coal deposits of Šemnik, Trbovlje, Hrastnik and Laško (pits of Brezno, Huda jama, Mihael) that we already did are based on the same structural starting point and the same degree of compression, but they led to different end effects. They resulted into various structures of individual deposits as a result of either the dominance of folding, or of one of the three phases of thrusting.

Before going to conclusions, I would like to draw attention to a different view of reconstruction, as announced earlier. The genesis of the present structure consisting of thrusting first from the south, and then from the north, and from the south again, and folding, can be kinematically explained also without the periods of stagnation between the periods of compression. The idea can be derived as a continuum of thrusting and folding, first by thrusting from south northwards (fig. 4c) accompanied by synchronous asymmetric folding (fig. 4d). At a sufficient steep northern limb of the syncline the thrusting capability along the Novi Dol thrust died away. With this, in the southern limb the conditions for forming of a new predisposed plane along beds of the Trbovlje Formation became fulfilled, and the thrust plane of the Hrastnik thrust formed with the southward thrusting along it to take place (fig. 4d, 4e). At simultaneous thrusting and folding the Hrastnik thrust can be active as long as owing





to folding its thrust plane becomes so steep that no further movements along it can occur (fig. 4f). When the fold becomes isoclinal, or somewhat earlier, develops the Čolnišče thrust along which the southern flank of the Laško syncline is thrust from the south northwards (fig. 4g). In all this the role of older fault planes that must have existed in the Mesozoic nappe before the deposition of the Tertiary beds should not be neglected. These cannot be established in detail, and therefore the described model cannot be very consistent with the real situation. The original dip of thrust planes in the model on fig. 4 is consistent with analysis of the factographic data.

Here we have the kinematic reconstruction of a tectonic process for which the sequence of events is not questionable nor are the starting and the final structure as well as the intermediate stages of evolution. Questionable is, however, the dynamics of the process that could be studied and its theory understood only by model investigations.

Tectonic processes in Tertiary on the territory of the Laško syncline, and indirectly also in the Sava folds, could be arranged in a sequence of consecutive events but without accurate dating of them. The oldest and at the same time the most impressive tectonic element in the considered territory is the extended nappe unit of prevailing Triassic rocks on Carboniferous-Permian and Val Gardena clastics. The structure has been proved by numerous tectonic windows, semiwindows and a clear oblique section, and it comprises the entire Sava folds. Its existence extends back to times before

Fig. 4. Genesis of the Laško syncline

a - Geologic section. The end of the Paleogene hiatus; b - Geologic section. End of Miocene; c - Origin of Novi Dol thrust; d - Asymmetric folding; e - Origin of Hrastnik thrust; f - Last phase of folding. Origin of Borovnik reverse fault; g - Origin of Čolnišče thrust. Synthetic section across the region of collieries Podstrana, Kisovec, Loke, Kotredež and Orlek

1 Tertiary clastic rocks of high ductility, coal; 2 Triassic massive rocks of low ductility; 3 Permian, Triassic and Cretaceous bedded rocks of medium ductility; 4 Triassic clastic rocks of high ductility; 5 Carboniferous and Permian clastic rocks of high ductility; 6 Unconformity; 7 Nappe basal plane; 8 Novi Dol thrust; 9 Hrastnik thrust; 10 Borovnik reverse fault; 11 Čolnišče thrust; 12 Supposed fault; 13 Dol Formation; 14 Laško Formation; 15 Govce Formation; 16 Kiscell Formation; 17 Trbovlje Formation; 18 Upper Cretaceous bedded limestone and marl; 19 Norian, Rhaetian and Lower Jurassic very thick bedded and massive carbonate rocks; 20 Cordevolian and Julian massive and very thick bedded carbonate rocks. Counterpart of the Pseudozilja Formation; 21 Reef of the Cassian dolomite; 22 Ladinian and Carnian clastics, pyroclastics and bedded limestones of the Pseudozilja Formation; 23 Partly Val Gardena clastic rocks and Upper Permian, Lower Triassic and Anisian bedded carbonate rocks and mudstones; 24 Carboniferous - Permian clastics and Middle Permian (Val Gardena Formation) clastics; 25 Kisovec horse

Sl. 4. Geneza Laške sinklinale

a - Geološki profil ob koncu paleogenskega hiata; b - Geološki profil ob koncu miocena; c - Nastanek Novodolskega nariva; d - Asimetrično gubanje; e - Nastanek Hrastniškega nariva; f - Zadnja faza gubanja. Nastanek Borovniškega reverznega preloma; g - Nastanek Čolniškega nariva. Sintetični profil čez območje premogovnikov Podstrana, Kisovec, Loke, Kotredež in Orlek

1 Visoko duktilne terciarne klastične kamnine, premog; 2 Nizko duktilne triasne neplastnate kamnine; 3 Srednje duktilne plastnate permske, triasne in kredne kamnine; 4 Visoko duktilne triasne klastične kamnine; 5 Visoko duktilne karbonske in permske klastične kamnine; 6 Diskordanca; 7 Narivna ploskev pokrova; 8 Novodolski nariv; 9 Hrastniški nariv; 10 Borovniški reverzni prelom; 11 Čolniški nariv; 12 Domnevni prelom; 13 Dolska formacija; 14 Laška formacija; 15 Govška formacija; 16 Kiscellska formacija; 17 Trboveljska formacija; 18 Zgornjekredni plastnat apnenec in lapor; 19 Norijski, retijski in spodnjejurski debeloplastnati in masivni karbonati; 20 Cordevolski in julski masivni in debeloplastnati karbonati. Ekvivalent Pseudoziljske formacije; 21 Greben iz cassijanskega dolomita; 22 Ladinjski in karnijski klastiti, piroklastiti in plastnati apnenec Pseudoziljske formacije; 23 Delno gródenski klastiti in zgornjepermski, spodnjetriasni in anizijski plastnati karbonati in meljevci; 24 Karbonskopermski klastiti in klastiti Gródenske formacije; 25 Kisovška luska

Middle or Late Oligocene. The internal structure of this nappe is not understood sufficiently to allow discussions on the directions of thrusting. There is even the possibility of existence of several nappes.

The second important event is the deposition of Oligocene and Miocene sediments characterized by rhythmicity that is predisposed by the Sava, Styrian and Moldavian-Attic discordances of which each consecutive was stronger and more distinct.

Folding of the Sava folds continued after Sarmatian since these beds are included into folding.

The terminal part of deformations of the considered region is connected with a weak neotectonic reactivation of certain NW-SE striking faults. All compressive deformations after Miocene, from folding to NW-SE striking faults, formed at orientation of the principal maximal axis of regional tension state in the approximate N-S direction.

Previous investigations and comparison with results of regional studies

Now, after knowing the newest schematic views of the structure and genesis of the Laško syncline, the previous studies should be reviewed. The first integral overview of geology of the Laško syncline and its surroundings was presented by Bittner (1884). The structure of the Sava folds was understood by Bittner as a simple sequence of folded and interrupted by discordances Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic beds, and in the same way also by Teller (1907) who used Bittner's data for construction of the Celje-Radeče sheet of the basic geologic map of Austro-Hungarian monarchy. The idea of the nappe structure was first expressed by Winkel (1923). He assumed an extended nappe of carbonate rocks of the External Dinarides being thrust northwards on the Sava folds region. In this frame he considered the carbonate rocks threshold that is an equivalent of the Pseudozilja Formation a part of the External Dinarides, and the Pseudozilja beds themselves a part of the outer zone of the Southern Alps. Kušćer (1967) who investigated in detail the surroundings of Zagorje resumed Bittner's and Teller's concept on the non-problematic succession of Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic beds in the Sava folds.

During the mapping for the Basic geologic map of Yugoslavia at 1:100,000 new divergences of opinions arouse. The essential part of the Sava folds territory is covered by three sheets of the basic geologic map, Ljubljana, Celje and Rogatec, and they were interpreted by different authors. The result are two different tectonic concepts. The central part of the Sava folds, comprising also the central part of the Laško syncline, was investigated on the Celje sheet by Buser (1978, 1979). He established at the beginning of Helvetian, at the time of the Styrian phase, first folding of the territory, and then forming of extensive overthrust faults. The Sava folds themselves were folded to their final shape in Pliocene. The overthrusting should have been directed from north southwards; he did not mentioned the thrusting distances (fig. 5a). The proofs for the age of overthrusting he found in wedging out of thrust planes at the Styrian discordance. In spite of extensive overthrust structure Buser considered that the Sava folds continuously pass to the External Dinarides. A similar standpoint was advocated also by Ančić & Juriša (1985a, 1985b) who mapped the sheet Rogatec east of the Celje sheet. The idea of forming of the overthrusts in Helvetian should be refused owing to the absence of folded beds below the Styrian discordance. According to our observations, this discordance is of dispersion type, and on

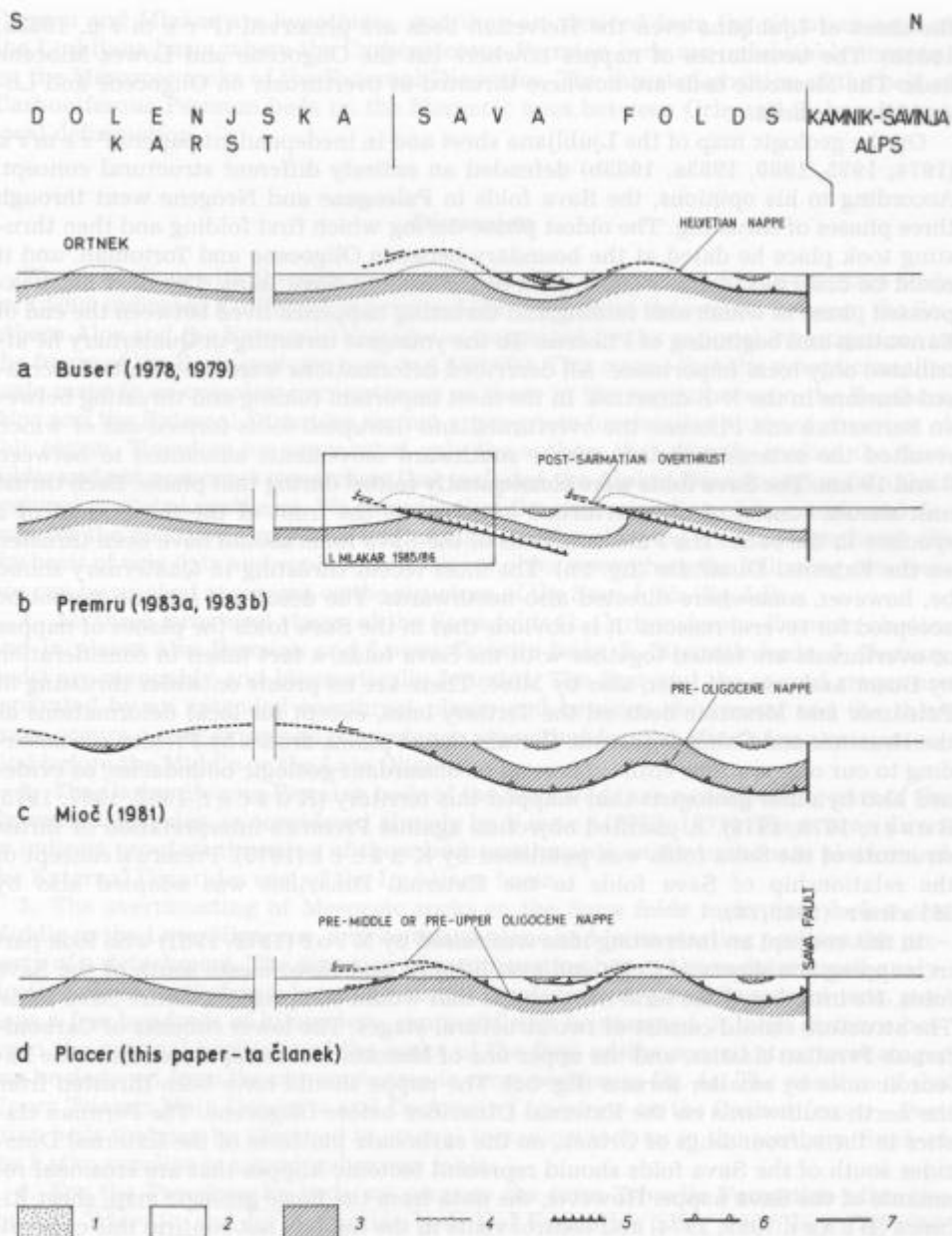


Fig. 5. Schematic presentation of hypotheses on the structure of Sava folds
 1 Tertiary; 2 Mesozoic; 3 Upper Paleozoic; 4 Unconformity; 5 Overthrust; 6 Nappe basal plane;
 7 Fault

Sl. 5. Shematski prikaz hipotez o zgradbi Posavskih gub
 1 Terciar; 2 Mezozoik; 3 Zgornji paleozoik; 4 Diskordanca; 5 Nariv; 6 Narivna ploskev pokrova;
 7 Prelom

the sheet of Ljubljana even the Helvetian beds are preserved (P r e m r u, 1983a, 1983b). The boundaries of nappes nowhere cut the Oligocene and Lower Miocene beds. The Mesozoic beds are nowhere thrustured at overthrusts on Oligocene and Lower Miocene beds.

On the geologic map of the Ljubljana sheet and in independent papers P r e m r u (1974, 1975, 1980, 1983a, 1983b) defended an entirely different structural concept. According to his opinions, the Sava folds in Paleogene and Neogene went through three phases of thrusting. The oldest phase during which first folding and then thrusting took place he dated at the boundary between Oligocene and Tortonian, and it could be observed in the western part of the eastern Sava folds. The next most expressed phase in which also folding and thrusting happened lived between the end of Sarmatian and beginning of Pliocene. To the youngest thrusting in Quaternary he attributed only local importance. All described deformations were the result of increased tensions in the N-S direction. In the most important folding and thrusting between Sarmatian and Pliocene the overturned and disrupted folds formed out of which resulted the extended thrusts whose southward movements amounted to between 8 and 19 km. The Sava folds were consequently folded during that phase. Each thrust unit should consist of an overturned anticline in the front of the thrust, and of a syncline in the back. The Paleozoic beds of the Sava folds should have been thrustured on the External Dinarides (fig. 5b). The most recent thrusting in Quaternary should be, however, somewhere directed also northwards. The described scheme cannot be accepted for several reasons. It is obvious that in the Sava folds the planes of nappes or overthrusts are folded together with the Sava folds, a fact taken in consideration by Buser and, as seen later, also by Mioč. There are no proofs on wider thrusting of Paleozoic and Mesozoic beds on the Tertiary ones, except for local deformations as the Hrastnik and Čolnišče thrusts. Certain thrust plains drawn by Premru are according to our observations entirely normal or discordant geologic boundaries, as evidenced also by other geologists that mapped this territory (K u š č e r, 1962, 1967, 1975; B u s e r, 1978, 1979). A justified objection against Premru's interpretation of thrust structure of the Sava folds was published by K u š č e r (1975). Premru's concept of the relationship of Sava folds to the External Dinarides was adapted also by M l a k a r (1985/86).

In this concept an interesting idea was raised by M i o č (1976, 1981) who took part in mapping the sheets of Celje and also Ribnica and Novo mesto south of the Sava folds. He introduced the term Sava nappe that would comprise the entire Sava folds. The structure should consist of two structural stages. The lower consists of Carboniferous-Permian clastics, and the upper one of Mesozoic rocks separated from the Paleozoic ones by smaller thrusts (fig. 5c). The nappe should have been thrustured from the north southwards on the External Dinarides before Oligocene. The Permian clastics in the surroundings of Ortnek, on the carbonate platform of the External Dinarides south of the Sava folds should represent tectonic klippees that are erosional remnants of the Sava nappe. However, the data from the Basic geologic map, sheet Ribnica (B u s e r, 1969, 1974) and control visits in the field do not confirm this concept. The Middle Permian beds are overlain here discordantly by Lower Triassic and younger beds so that the idea of tectonic klippees is groundless. Besides, these beds lie predominantly in valleys, and represent simply erosional windows. It is a fact that up to the present nobody has ever proved or seen east of Ljubljana basin a thrust of Carboniferous-Permian clastics on the Mesozoic beds of the External Dinarides. The Carboniferous-Permian clastics lie consistently below them. The constructions by Mioč,

Premru and Mlakar are hypothetic, and they are derived from the situation west of the Ljubljana basin where the Carboniferous-Permian beds are indubitably thrust on the Mesozoic rocks of the External Dinarides. The thrust position of the belt of Carboniferous-Permian beds on the Mesozoic ones between Orle and Gabrovka is a local deformation.

Discussion

We try to show with the present contribution that detailed studies in the Sava folds on 1:5000 indicated a different structure of the territory at the contact between the Southern Alps and the External Dinarides as suggested by the regional investigations in the frame of the Basic geologic map on 1:100,000. This means that the synoptic smaller scale maps in so complex circumstances as those in the region between the Southern Alps and the External Dinarides are not appropriate for detailed study of structure of this region. Therefore we commented only the authors that directly studied the Sava folds, and not numerous researchers that included the Alpine-Dinaric region into their regional or global syntheses. We consider that the understanding of key structural details for the mentioned region is still insufficient for allowing a serious synthesis. On the basis of new data and confirmed results of older researchers the following conclusions can be reached at present on the structure of the Sava folds (fig. 5d):

1. All three structural stages of the Sava folds (1. Carboniferous-Permian clastics and in places also Permian and Lower Triassic beds, 2. Mesozoic beds, 3. Tertiary beds) are mappably and kinematically founded. The first and the second stages are separated by an extended overthrust plane, and between the second and the third stage occurs a well expressed discordance plane that formed after a long erosion period before the Middle or the Late Oligocene.

2. The Carboniferous-Permian beds of the Sava folds are a constituting part of the External Dinarides, as considered already by B u s e r (1978, 1979). There is no direct or indirect proof on thrusting of these beds southwards on the carbonate platform of the External Dinarides east of the Ljubljana basin.

3. The overthrusting of Mesozoic rocks in the Sava folds took place before the Middle or the Late Oligocene, and its thrust plane had in its starting position the property of a detachment. The direction of overthrusting has not been determined analytically yet. Nevertheless a large horizontal displacement, possibly several tens, perhaps a few hundreds of kilometers, can justifiably be assumed. A large distance between the original positions of the rocks of the first and the second structural stages can be deduced from the circumstances in cross-section in fig. 4a. The position of the Upper Triassic Main Dolomite and Dachstein Limestone on the Carboniferous - Permian beds that can be observed in several tectonic windows in the southern flank of the Laško syncline is a good indication for it.

4. For the Pseudosocka beds we propose the term **Trbovlje Formation** after the town of Trbovlje, and for Sarmatian beds **Dol Formation** after the village Dol near Hrastnik. The typical profiles of the Trbovlje and Dol Formations will have yet to be selected and described.

5. If looking at the Sava folds from a broader angle, already at the first glance an unusual correspondence between the regional geometry of neotectonic deformations of the considered region, and the extension of the Sava folds can be established (fig. 1, 2). They are, as a matter of fact, placed in a triangle between the neotectonically

active tectonic zones, the Periadriatic tectonic zone in the north, the Idrija tectonic zone in southwest, and the Mid-Hungarian tectonic zone in south-southeast, as schematically shown in fig. 6. The network of neotectonic faults on fig. 1 is taken from the sheets of the Basic geologic map of Yugoslavia on 1:100,000, and for the region of the Sava folds the results of the author's research were taken in consideration. Before proceeding, a few terms used in the text should be defined. The term **Periadriatic tectonic zone** was used by Jelen et al. (1997) for deformations that are genetically associated with shear displacements along the Periadriatic lineament. In the kinematic sense here is considered the belt between the Periadriatic lineament and the Sava fault that forms the southern boundary of this zone. The Sava fault is understood in the sense of a unique fault plane that relies its classic course in the upper Sava valley, the Celje fault and the accurately still undetermined course east of Celje (Placer, 1996) towards the Šoštanj fault that passes near Velenje, fig. 2, and then between Ravna gora and Ivančica towards east-northeast. The criteria of neotectonic activity are deformations as described by researchers of the Jelen's group. The characteristics of the Periadriatic tectonic zone is its southward bending in the region of the Sava folds. The **Mid-Hungarian tectonic zone** comprises the WSW-ENE oriented faults about between Orlica and southeast foot of Medvednica, and is understood in the sense of Csontos et al. (1992). The criterion of neotectonic activity of this zone are deformed axes of the Sava folds shown in fig. 2 and the Quaternary tectonic activity as described by Prelogović & Cvijanović (1976). The Mid-Hungarian tectonic zone leans on the Periadriatic tectonic zone northeast of Kalnik. The **Idrija tectonic zone** comprises the dominant faults in the northwestern part of the External Dinarides in the NW-SE direction, approximately between the Raša and Stična faults according to Buser (1976). Its central structure is the Idrija fault. The criterion for neotectonic activity along these faults is of morphostructural nature. The Idrija tectonic zone consists of two parts that are separated by the Idrija fault. In the northeastern, or its inner part (a on fig. 6), the faults lean at the rim of the zone on the Sava fault, while between the latter and the Idrija fault they more or less pinch out within the overthrust of the eastern Julian Alps. In the southwestern or outer part (b on fig. 6) in the region of the western Julian Alps the faults of this zone, comprising the Idrija fault, transform from wrench into oblique reverse faults according to a scheme described among others also by Carulli et al. (1990). In the region of the Sava folds, within the mentioned triangle the faults striking NW-SE and WSW-ENE cut the Tertiary sedimentary rocks to an insignificant degree, or do not cut them at all.

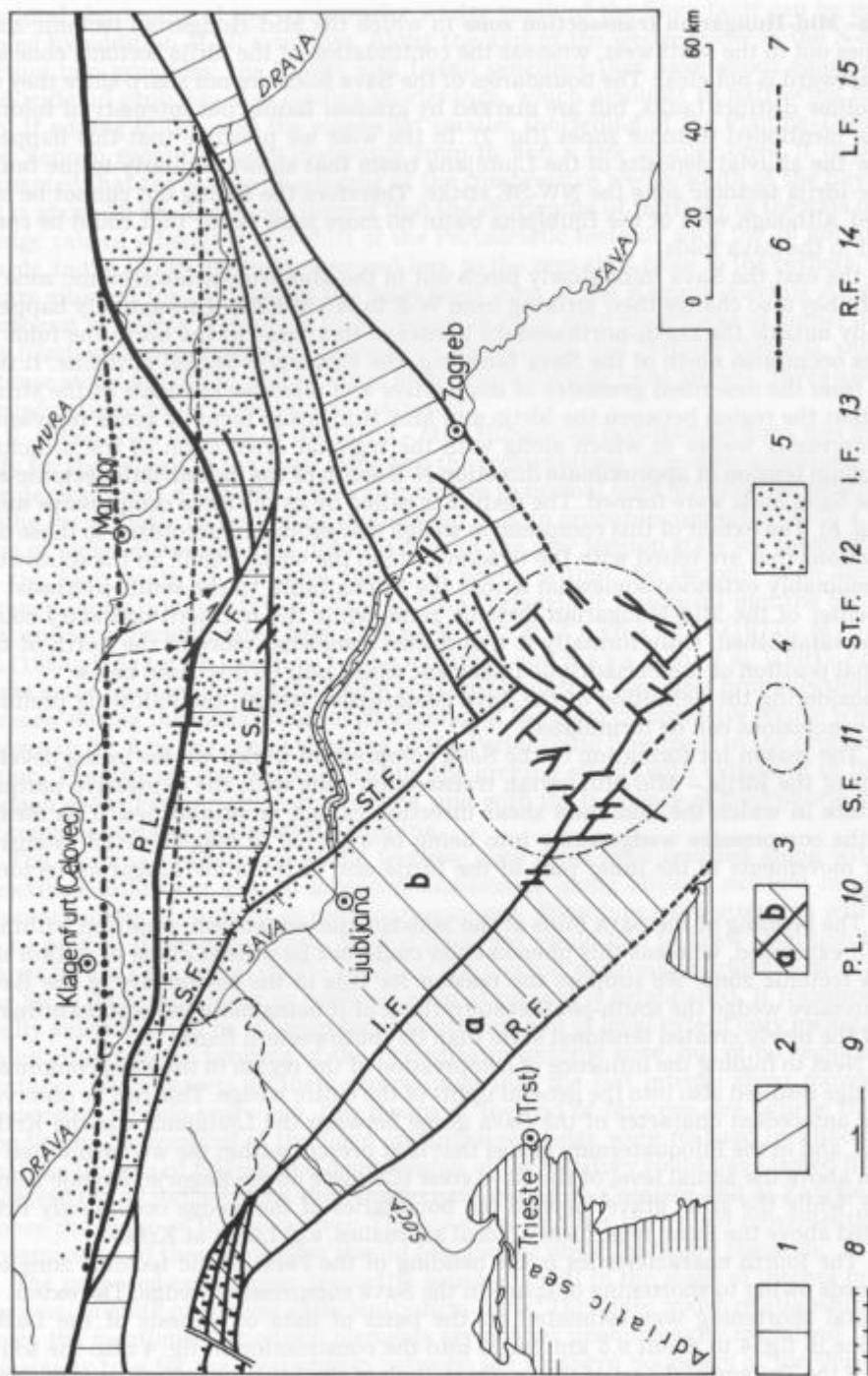
The inner part of the Idrija and Mid-Hungarian tectonic zones cut in the extended

Fig. 6. Sketch of the supposed Sava compressive wedge extension

1 Periadriatic tectonic zone; 2 Mid-Hungarian tectonic zone; 3 Idrija tectonic zone, a - outer part, b - inner part; 4 Idrija-Mid-Hungarian transsection zone; 5 Sava compressive wedge; 6 Primary position of the Periadriatic lineament; 7 Primary position of the Sava fault; 8 Sava gorge; 9 Primary position of the Labot (Lavant) fault; 10 Periadriatic lineament; 11 Sava fault; 12 Stična fault; 13 Idrija fault; 14 Raša fault; 15 Labot (Lavant) fault

Sl. 6. Skica domnevnega obsega Savskega kompresijskega klina

1 Periadriatska tektonska cona; 2 Srednjemadžarska tektonska cona; 3 Idrijska tektonska cona, a - zunanji del, b - notranji del; 4 Idrijsko-Srednjemadžarska presečna cona; 5 Savski kompresijski klin; 6 Prvotna lega Periadriatskega lineamenta; 7 Prvotna lega Savskega preloma; 8 Savska soteska; 9 Prvotna lega Labotskega preloma; 10 Periadriatski lineament; 11 Savski prelom; 12 Stiški prelom; 13 Idrijski prelom; 14 Raški prelom; 15 Labotski prelom



Idrija- Mid-Hungarian transection zone in which the Mid-Hungarian tectonic zone pinches out in the southwest, whereas the continuation of the Idrija tectonic zone south-eastward is not clear. The boundaries of the Sava folds are not sharp since they do not follow distinct faults, but are marked by gradual fading out intensity of folding in the mentioned tectonic zones (fig. 2). In the west we presume that this happens below the alluvial deposits of the Ljubljana basin that shows similarly to the faults of the Idrija tectonic zone the NW-SE strike. Therefore the fading out cannot be observed, although west of the Ljubljana basin no more folds occur that could be compared to the Sava folds.

In the east the Sava folds slowly pinch out in the Mid-Hungarian tectonic zone in which they also change their striking from W-E to WSW-ENE. This actually happens already outside the north-northwestern border of this zone. In the north the folds in places occur also north of the Sava fault, e.g. the Pletovarje-Macelj anticline. It follows from the described geometry of disjunctive and plicative elements of the structure that the region between the Idrija and Mid-Hungarian tectonic zones represents a compressive wedge in which along with the regional orientation of the principal maximum tension of approximate direction N-S south of the Periadriatic tectonic zone the Sava folds were formed. The feature is called by us the **Sava compressive wedge** (fig. 6). The extent of this compressive wedge was estimated according to those deformations that are relied with the tension state in the wedge itself. In the southwest it presumably extended somewhat across the Stična fault, in the south-southeast to the center of the Mid-Hungarian tectonic zone, while the northern boundary could not be established. Only formally it was drawn somewhat more to the north of the original position of the Periadriatic lineament which will be discussed below.

Considering the definition of the Sava compressive wedge, the following preliminary conclusions can be formulated:

A. The reason for formation of the Sava compressive wedge we see in the development of the Idrija - Mid-Hungarian transection zone with the expressive parquet structure in which the dominant shear direction cannot be established. This means that the compressive wedge came into being in a period of stagnation of intensive shear movements in the inner part of the Idrija and in the Mid-Hungarian tectonic zones.

B. The bending of the Sava folds at the Mid-Hungarian tectonic zone and within it is well expressed, whereas this phenomenon could not be proved along or within the Idrija tectonic zone. We suppose the reason for this in the asymmetry of the Sava compressive wedge the south-southeastern flank of it being more exposed to influences of the newly created tensional state than its southwestern flank.

C. Next to folding the influence of compression of the region in the Sava compressive wedge resulted also into the general uplift of the entire wedge. This can be observed in the antecedent character of the Sava gorge between the Ljubljana and the Krško basins, and in the Plioquaternary gravel that is at present within the wedge uplifted to 450 m above the actual level of the Sava river (Čolnišče above Zagorje, Završje below Kum), while the same gravel beyond the boundaries of the wedge occurs only little uplifted above the Sava, regardless of local anomalies, e.g. Libna at Krško.

D. The fourth characteristics is the bending of the Periadriatic tectonic zone southwards owing to shortening of space in the Sava compressive wedge. The extent of the total shortening was estimated on the basis of data on genesis of the Laško syncline in fig. 4 to about 6.5 km. Since into the construction in fig. 4 also the south limb of the Trojane and part of the northern limb of the Litija anticlines are included,

the total shortening of the compressive wedge south of the Sava fault can be determined by addition of all synclines. Along the axis of the wedge occur in the N-S direction two synclines: the Tuhinj and Laško synclines that have about equal sizes, and suffered probably also similar shortenings, which amounts to narrowing for 13 km. If adding to this also the somewhat smaller shortening of the Planina-Desenice and Senovo synclines more eastwards from it, and a few smaller ones, it could be estimated that the largest shortening of the compressive wedge south of the Sava fault is about 20 km. It follows thereof that the shortening of territory in the axis of the wedge caused a bending and shift of the Periadriatic tectonic zone for 20 km southwards, in the flanks gradually less and less, to the zero shift close to the corners. These are situated for the level of the Sava fault west of the Kamnik-Savinja Alps and northeast of Kalnik. Folding is more intense in areas with more rocks of higher ductility (Carboniferous-Permian, Val Gardena, Pseudozilja and Tertiary clastics), and less intense at the top of the wedge where Mesozoic carbonate beds prevail. There also the Periadriatic tectonic zone became narrower.

E. Along with forming of the Idrija - Mid-Hungarian transection zone was necessary for the genesis of the Sava folds also the reorientation of tension conditions from the dextral shear character, over transpressive to normal ones oriented perpendicular to the Periadriatic tectonic zone in direction N-S, in probable connection with a rotation of wider dimensions. As deformations of the new tension state we consider next to the folds south of the Sava fault and partly within the tectonic zone also the wrench faults oriented NW-SE that cut the Periadriatic lineament and the Sava fault, and were recapitulated from data by Mioč & Žnidarčič (1977), Mioč et al. (1983), Polinski & Eisbacher (1992) and Krystyn et al. (1994). Among them is the most important the Labot (Lavant) fault that was most probably designed already during the initial stage of shortening of the Sava compressive wedge which is shown in fig. 6 by the initial shearing of the Periadriatic lineament in the original position. The process can be explained by the arching effect, with extension in the direction of the Periadriatic tectonic zone, and with the influence of the Pohorje massif of competent rocks on the strike-slipping.

The bending of the Periadriatic tectonic zone must have resulted along with the described influences also to inherited movements along already existent mechanic discontinuities of tectonic or sedimentary origin. Therefore more attention will have to be paid to these phenomena. At this point we would like to draw attention to the paper by Jelen et al. (1997) in which the dextral progressive transpression along the Sava fault that ought to continue even at present is established. If transpression really exists it could be of secondary importance and of local extent only owing to arching effects of the bending of the Periadriatic tectonic zone, but of no regional importance. With respect to their ascertaining that the last intense shear movements occurred 6 million years ago, this means at the end of Miocene, we believe that the conditions for forming of the Sava compressive wedge were realized in Pliocene, so that the process of folding and compression of the territory could have lasted into the Quaternary, as indicated by Plio-Quaternary gravel on Čolnišče and at Završje, high above the gorge of the Sava river. The question whether the recent movements are a continuation of these processes should become the object of future research.

The proposed neotectonic geometric scheme is still in the stage of intense investigations, in spite of several sufficiently firm facts. Therefore many relationships between the mentioned structural elements are not yet unequivocally explained. This is especially true for the relationship between the southern boundary of the Periadria-

tic tectonic zone, resp. the Sava fault and the Mid-Hungarian tectonic zone, that is studied by Jelen's group in a broader geotectonic context, and for the question of genesis of the Idrija-Mid-Hungarian transsection zone.

Strukturni pomen Posavskih gub

Uvod

Med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi leži ob srednjem toku reke Save v Sloveniji (sl. 1) pas nagubanih kamnin, ki ga je *W i n k l e r* (1923) poimenoval Posavske gube, že prej pa je *K o s s m a t* (1913) za isto strukturo uporabil izraz Savski sistem gub. Značilnost tega pasu so gube potekajoče v smeri zahod-vzhod, z valovno dolžino od nekaj sto metrov do deset kilometrov in več, amplituda pri največjih pa doseže največ dva kilometra. V tolmačih Osnovne geološke karte 1:100.000 je navedenih več gub; pomembnejše so Celjska, Motniška, Laška, Planinsko-Desiniška, Senovška, Bizeljsko-Zgorska, Brezinska in Brdoveška sinklinala ter Pletovarsko-Maceljska, Trojanska, Rudeniško-Ivanjiška, Litijska, Orliška in Marijagoriška antiklinala (sl. 2). Meje Posavskih gub niso ostre, na zahodu segajo do Ljubljanske kotline, na vzhodu do Medvednice in Kalnika, na severu do Kamniško-Savinjskih Alp in vzhodnega podaljška Karavank, na jugu pa počasi zamrejo v Zunanjih Dinaridih južno od Save. V geološkem smislu vključujejo mezozojske kamnine Slovenskega bazena, paleozojske in mezozojske kamnine Zunanjih Dinaridov, mezozojske kamnine Južnih Alp ter terciarne kamnine Panonskega bazena. Kamnine Slovenskega bazena prištevamo v tem članku k Notranjim Dinaridom, vendar to vprašanje ni predmet te razprave, zato dopuščamo tudi drugačno uvrstitev. S tem problemom se ukvarjamo v prispevku o tektonski rajonizaciji obravnavanega ozemlja (*P l a c e r*, 1998, ta revija). V strukturnem smislu sestojijo Posavske gube od spodaj navzgor iz treh strukturnih etaž. Prvo tvorijo formacijsko še neobdelani karbonskopermski klastiti in srednjepermski klastiti Grödenske formacije, ki so na prve odloženi diskordantno ter ponekod tudi werfenske kamnine. Drugo strukturno etažo, ki je na prvo narinjena v obliki obsežnega pokrova ali več pokrovov, tvorijo permske, triasne, jurske in kredne kamnine, razvite v karbonatnih in klastičnih faciesih. Del jurskih in kredne plasti pripadajo pelagičnemu fasiesu Slovenskega bazena. Tretja strukturna etaža je iz diskordantno odloženih, slabo vezanih, klastičnih in karbonatnih kamnin terciarne starosti. *K u š č e r* (1967) je na podlagi del starejših raziskovalcev, od katerih je najpomembnejši *B i t t n e r* (1884) in lastnih opazovanj smiselno ločil Soteško formacijo s premogom, morsko glino - sivico, ki jo je primerjal s Kiscelsko formacijo, Govško formacijo, Laško formacijo in sarmatske plasti. Locus tipicus Soteške formacije je kraj Socka na Slovenskem Štajerskem, kjer so *J e l e n* et al. (1992) ugotovili, da je eocenske starosti. Soteška formacija v Posavskih gubah pa naj bi po dosedanjih raziskavah nastala v srednjem ali zgornjem oligocenu, zato jo Jelenova skupina imenuje Pseudosoteška formacija. Sedimentacija terciarnih plasti je s prekinitvami trajala do konca sarmata. Krovna zgradba se je izoblikovala pred odložitvijo Pseudosoteške formacije. Posavske gube so se pričele intenzivno gubati po odložitvi sarmatskih plasti.

Ker so pseudosoteške plasti najlepše razvite na območju Trbovelj, predlagamo zanje, po Kuščerjevi sugestiji, termin Trboveljska formacija. V nadaljevanju bomo uporabljali ta izraz. Podobno menimo, da je zaradi poenotenja potrebno formacijsko

opredeliti tudi sarmatske plasti, zato zanje predlagamo termin Dolska formacija po kraju Dol pri Hrasniku, kjer bi jih mogli v celoti raziskati.

V strokovni literaturi se je uveljavilo ločevanje na Zahodne Posavske gube, zahodno od Ljubljanske kotline in na Vzhodne Posavske gube, vzhodno od tod. Medtem ko je obseg Vzhodnih Posavskih gub definiran kot smo ga opisali, je obseg Zahodnih nejasen. Večina avtorjev razume, tako kot Kossmat, pod tem terminom Polhograjsko in Škofjeloško ozemlje zahodno od Ljubljane, zgrajeno iz paleozojskih in mezozojskih kamnin, vendar na tem območju ni v smeri W-E potekajočih gub, ki so spoznavni strukturni element Posavskih gub. Zato je v tem prispevku termin Posavske gube sinonim za Vzhodne Posavske gube, medtem ko za Zahodne menimo, da v strukturnem smislu ne obstajajo.

Danes nastopajo terciarne plasti Posavskih gub v jedrih sinklinal, medtem ko v jedrih večjih antiklinal izdajajo karbonskopermski klastiti. Terciarne kamnine Posavskih gub so zaposlovale že mnoge raziskovalce zaradi ekonomskih vzrokov, saj se v Trboveljski formaciji nahaja pomemben sloj rjavega premoga, ki doseže debelino do 30 m. Neindustrijsko odkopavanje premoga se je ponekod pričelo že v 18. stoletju, sčasoma, pretežno v 19. st., pa so se razvili rudarski obrati v Laški sinklinali v Šemniku, Kisovcu, Lokah, Zagorju, Orleku, Trbovljah, Hrastniku, Dolu in Laškem (Brezno, Huda jama in Mihael) (sl. 3), v Motniški sinklinali v Motniku, Zabukovici, Štorah in Pečovniku, v Senovski sinklinali v Senovem in še ponekod. Zadnji ciklus strukturnih raziskav Laške sinklinale je bil opravljen v letih od 1981 do 1991 na pobudo takratnega podjetja Rudniki rjavega premoga Slovenije v Trbovljah. Tedaj smo izdelali detajlno geološko karto Laške sinklinale v merilu 1:5000 (sl. 2, sl. 3). Skartirali smo okoli 10 km rovov v rudnikih Loke, Zagorje, Trbovlje, Hrastnik, Dol in Laško, obdelali nekaj kilometrov površinskih in jamskih vrtin ter obsežno aktualno in zgodovinsko arhivsko gradivo v jamomernicah obstoječih rudnikov. Rezultat teh raziskav je kinematski model Laške sinklinale, ki posredno pojasnjuje tudi zgradbo in genezo celotnih Posavskih gub. V tem prispevku smo prikazali deformacijo Laške sinklinale v kombiniranem profilu v smeri N-S (sl. 3, sl. 4) na območju Zagorja in regionalne zaključke, ki iz tega sledijo.

Geneza sedanje zgradbe premogišč na območju Zagorja

Že pri prvih analizah geneze Laške sinklinale je postalo jasno, da so deformacije v terciarnih kamninah odsev zgradbe in starejših deformacij v podlagi terciarja. Zato je bilo treba skartirati tudi široko ozemlje mezozojskih in paleozojskih kamnin ter rekonstruirati razmere pred pričetkom sedimentacije oligocenskih skladov. Pokazalo se je, da je na videz tako različna zgradba posameznih premogišč v Laški sinklinali posledica strukturnega predrisa in različnih prostorskih odnosov med bolj in manj duktilnimi kamninami v podlagi terciarja, ne pa različnih stilov deformiranja.

Na sl. 4 je prikazana geneza Laške sinklinale na območju Zagorja, ki vključuje premogišča v Kisovcu, Lokah, Podstrani, Kotredežu in Orleku (sl. 3). Splošne razmere tik pred odložitvijo trboveljskih plasti na prostoru kasnejše Laške sinklinale ponazarja profil na sl. 4a. V njem sta vidni prva in druga strukturna etaža Posavskih gub, ki ju loči izrazit krovni poševni rez, na katerega se od severa proti jugu naslanjajo vedno mlajši stratigrafski členi druge strukturne etaže od srednjeperskih klastitov Grödenske formacije na severu do noriško retijskega glavnega dolomita in dachsteinskega apnenca na jugu. Krovna enota ima heterogeno notranjo zgradbo, ki je na opi-

sanem območju zgrajena bivalentno. Na jugu je v podlagi nekaj srednjetriasnih plastnatih kamnin, pretežni del pa je iz srednjetriasnega, zgornjetriasnega in spodnjetrojskega neplastnatega ali slabo plastnatega dolomita in apnenca z nekaj diskordantno odloženega zgornjekrednega apnenca. Na severu pa je krovna enota sestavljena najprej iz srednjeperskih klastitov Grödenske formacije, nato pretežno iz plastnatih karbonatov Belerofonske in Werfenske formacije in dolomita Mendolske formacije ter končno iz obsežne skladovnice klastitov Psevdoziljske formacije ladinijske in cordevolske starosti (Kolar - Jurkovšek & Placer, 1987; Placer & Kolar - Jurkovšek, 1990), ki so bili prvotno po najdišču fosilov na celjskem gradu (Teller, 1889) uvrščeni v celoti le v langobardsko dobo. Na triasnih kamninah ležijo erozijske krpe diskordantno odloženega krednega apnenca. Psevdoziljske plasti so se torej odlagale blizu obale, vzporedno ob karbonatnem pragu, kar je v geomehanskem smislu izjemen pojav. Lateralni prehod iz karbonatnega v klastični facies je viden na območju Ravenske vasi.

Profil na sl. 4a je poenostavljen toliko, kolikor je potrebno za razumevanje kinematike deformiranja.

V srednjem ali v zgornjem oligocenu se je končalo dolgo obdobje erozije. Območje se je pričelo polagoma pogrezati, zaradi česar je na območju Posavskih gub nastalo nekaj depresij, v katerih se je najprej uveljavila sladkovodna sedimentacija s krajšim obdobjem zamocvirjenja, nakar je vanje vdrla terciarno morje. V teh depresijah zavzemajo mlajše terciarne plasti vedno bistveno večjo površino od starejših, kar kaže morda na začetke gubanja in hkratno pogrezanje. Grezanje skozi terciar ni bilo enakomerno, včasih je imelo celo nasprotni predznak, saj se menjavata morsko in brakično okolje, oziroma transgresijski in regresijski nizi sedimentacije s prekinitvami v savski fazi med Kiscelsko in Govško formacijo, v štajerski fazi med Govško in Laško formacijo in v moldavsko-atiški fazi med Laško in Dolsko formacijo. Od teh faz je savska izjemno šibka in se izraža le ponekod z disperzijsko diskordanco. Nekoliko izrazitejša, vendar še vedno disperzijska, je štajerska diskordanca, medtem ko je moldavsko-atiška najmočnejša in ima ponekod edina tudi jasno kotno komponento.

Stanje ob koncu sedimentacije miocenskih plasti na prostoru kasnejše Laške sinklinale kaže sl. 4b. Že na prvi pogled je očitno, da je jedro grezanja, oziroma zasnova temena Laške sinklinale, nastalo na območju Psevdoziljske formacije blizu karbonatnega praga, tako da je njeno južno krilo pretežno iz neplastnatih karbonatov, severno pa iz klastitov z višjo stopnjo duktilnosti.

Po sarmatski dobi je nastopilo intenzivno stiskanje prostora, ki se je odrazilo v dvigu ozemlja in v narivu južne polovice bazena na severno polovico. Po Novem Dolu je to Novodolski nariv, ki ga je poimenoval Gregorč (1975), komentirala pa Kuščer & Mitrevski (1979). Iz detajlne rekonstrukcije geneze celotnega bazena vemo, da znaša dolžina premika narinjene grude ob tem narivu na vzhodu pri Laškem okoli dva kilometra in pol, proti zahodu je premik vedno manjši, na območju Zagorja pa znaša le še nekaj deset metrov do največ 100 m. Učinek tega nariva v Zagorju kaže sl. 4c.

Omejen premik ob Novodolskem narivu kaže na časovno omejeno obdobje komprimacije. Tej je verjetno sledilo obdobje stagnacije in ponovno komprimacija. Menjavanje komprimacije in stagnacije je virtualna komponenta razlage geneze Posavskih gub, ob koncu tega poglavja bomo videli, da bi bilo lahko tudi drugače, vendar pri enakem zaporedju dogodkov.

Ne glede na dileme moremo iz analize deformacije celotne Laške sinklinale ugotoviti, da se je v drugi fazi komprimacije območje najprej rahlo asimetrično nagubalo

(sl. 4d), nato pa se je ob novonastali predisponirani coni, ki je potekala po plasteh Trboveljske formacije v južnem krilu novonastale sinklinale, formirala narivna ploskev ob kateri se je severno krilo sinklinale narinilo za 1500 m do 2000 m proti jugu na njeno južno krilo (sl. 4e). Trboveljska formacija s premogom se je narinila proti jugu na južni karbonatni prag. Pri tem je čelo nariva razpadlo na več lusk; največja med njimi je Kisovška luska (K). Obravnavani nariv od severa proti jugu je razvit v celotni Laški sinklinali in je poznan kot Hrastniški nariv po kraju Hrastnik. Poimenoval ga je Gregorč (1975).

Premiku ob Hrastniškem narivu je verjetno sledila faza stagnacije in nato ponovno intenzivno gubanje (sl. 4f), ki se je v krilih sinklinale različno odražalo. V severnem krilu se je narivna ploskev Novodolskega nariva postavila pokonci in vpada danes strmo proti jugu. Medplastni zdrsi zaradi gubanja so se tu dogajali v psevdofilskih klastitih. V južnem krilu pa se je v neplastnatem do debeloplastnatem zrnatem dolomitu južnega karbonatnega praga manifestiral učinek gubanja z nastankom reverzih prelomov zaradi izrivanja v jedru gube (Borovniški prelom). Ti ležijo blizu lege neobstoječih plastnic, ali pa gre morebiti za reaktivacijo že obstoječih diskontinuitet. Z nadaljnjim gubanjem se je premik ob teh prelomih še povečal. Nastale so značilne strme dolomitne luske v južnem krilu Laške sinklinale v Zagorju in zahodno od tod, od katerih segajo nekatere do površja (Ocepkov vrh, Smrekovec, Borovnik), druge pa ne. V slednjem primeru so te vedno predstavljale skrito nevarnost za nenadejane vdore vode v jamske prostore, če so se jim z rudarskimi deli preveč približali.

Zahodno od Zagorja se je Laška sinklinala stisnila v subvertikalno izoklinalno gubo. Ko gubanje ni bilo več mogoče se je izoblikoval nariv zgornjetriasnih karbonatov južno od Laške sinklinale na njeno južno krilo kot kaže sl. 4g (Čolniški nariv). V Zagorju Laška sinklinala sicer ni izoklinalna, vendar ta podrobnost kaže le na to, da je embrionalna zasnova Čolniškega nariva nastala izven obravnavanega profila na območju izoklinalne gube. V talninski grudi Čolniškega nariva so v terciarnih plasteh južnega roba terciarne kadunje nastale obnarivne gube. Že omenjena Kisovška luska (K) s čela Hrastniškega nariva se je sedaj nagubala v Kisovško stransko kadunjo, kot so jo poimenovali v rudarski praksi. Struktura med to kadunjo in Borovniškim prelomom pa se je izoblikovala v Loško stransko kadunjo.

Profil na sl. 4g je sintetičen in združuje sedanje razmere na območju Kisovca, Lok, Zagorja, Podstrane in Orleka, ugotovljene na podlagi detajlnega površinskega kartiranja, kartiranja rudarskih del ter površinskih in jamskih vrtin. V Kisovski stranski kadunji (K) sta bili jami Podstrana in Kisovec, v Loški stranski kadunji in v delu južnega krila glavne kadunje je bila jama Loke, v glavni kadunji sta se razvili jami Kotredež in Orlek. Rekonstrukcija kinematskega razvoja Laške sinklinale na območju Zagorja temelji na številnih strukturnih faktografskih podatkih, tako da moremo govoriti o kinematski rekonstrukciji visoke stopnje verjetnosti. Smiselno enake rekonstrukcije premogišč v Šemniku, Trbovljah, Hrastniku in Laškem (Brezno, Huda jama, Mihael), ki smo jih že opravili, imajo enako strukturno izhodišče, enako stopnjo komprimacije, vendar različne končne efekte. Ti se izražajo z različno zgradbo posameznih premogišč, ki je nastala ali z dominacijo gubanja ali ene od treh faz narivanja.

Preden preidemo na zaključke naj opozorimo na drugačen vidik rekonstrukcije, ki smo ga že napovedali. Genezo sedanje strukture ali narivanje najprej z juga, nato s severa in ponovno z juga ter gubanje je mogoče kinematsko razložiti tudi brez obdobja stagnacije med obdobji komprimacije. Idejo je mogoče izpeljati kot kontinuum narivanja in gubanja in sicer najprej narivanje od juga proti severu (sl. 4c) in hkratno asimetrično gubanje (sl. 4d). Pri dovolj strmem severnem krilu sinklinale zamre spo-

sobnost narivanja ob Novodolskem narivu. S tem se v južnem krilu ustvarijo pogoji za nastanek nove predisponirane ploskve po plasteh Trboveljske formacije in formira se narivna ploskev Hrastniškega nariva, ob kateri pride do narivanja od severa proti jugu (sl. 4d, 4e). Ob hkratnem narivanju in gubanju živi Hrastniški nariv toliko časa, dokler se zaradi gubanja njegova narivna ploskev toliko ne usloči, da premikanje ob njej ni več mogoče (sl. 4f). Ko postane guba izoklinalna, ali pa nekoliko prej, se razvije Colniški nariv, ob katerem je južno krilo Laške sinklinale narinjeno od juga proti severu (sl. 4g). Pri vsem tem ne smemo zanemariti vloge starejših prelomnih ploskev, ki so gotovo obstajale v mezozojskem pokrovu pred pričetkom usedanja terciarnih plasti. Teh ne moremo podrobno poznati, zaradi česar predstavljeni model ne more biti povsem v skladu z naravnimi razmerami. Prvotni vpad narivnih ploskev v modelu na sl. 4 je usklajen z analizo faktografskih podatkov.

Pred seboj imamo torej kinematsko rekonstrukcijo nekega tektonskega dogajanja, katerega zaporedje dogodkov ni sporno, sporna nista tudi izhodiščna in končna zgradba in vmesne stopnje razvoja. Sporna pa je dinamika dogajanja, ki bi jo bilo mogoče proučevati in ji dati teoretično podlago le z modelnimi raziskavami.

Tektonska dogajanja v terciarju na območju Laške sinklinale in posredno tudi Posavskih gub, je mogoče razvrstiti v lestvico zaporednih dogodkov, medtem ko se njihove natančnejše starosti še ne da določiti. Najstarejši in hkrati najmarkantnejši tektonski element na obravnavanem ozemlju je obsežna krovna enota iz pretežno triasnih kamnin na karbonskopermskih in grödenskih klastitih, ki je dokazana s številnimi tektonskimi okni, polokni in izrazitim poševnim rezom ter zavzema celotne Posavske gube. Nastala je pred srednjim ali zgornjim oligocenom. Notranja zgradba pokrova še ni dovolj proučena, da bi lahko razpravljali o smeri narivanja, obstoja pa tudi možnost, da je pokrovov več.

Drugi pomemben dogodek je sedimentacija oligocenskih in miocenskih sedimentov, za katere je značilna ritmičnost, ki je podana s savsko, štajersko in moldavsko-atiško diskordanco, od katere je vsaka naslednja močnejša in bolj izrazita.

Gubanje Posavskih gub se je dogajalo po sarmatu, ker so te plasti vključene v gubanje.

Sklepni del deformiranja obravnavanega prostora je povezan s šibko neotektonsko oživitvijo nekaterih prelomov v smeri NW-SE. Vse deformacije stiskanja prostora po miocenu od gubanja do prelomov NW-SE so nastale pri orientaciji glavne maksimalne osi regionalnega napetostnega stanja približno v smeri N-S.

Dosedanje raziskave in primerjava z rezultati regionalnih raziskav

Sedaj ko poznamo najnovejši shematski pogled na zgradbo in genezo Laške sinklinale, se je potrebno ozreti na dosedanje raziskave. Prvi je celovit pregled geološke zgradbe Laške sinklinale in njenega obrobja podal B i t t n e r (1884). Zgradbo Posavskih gub sta tako Bittner kot pozneje T e l l e r (1907), ki je za izdelavo osnovne geološke karte avstro-ogrške monarhije v merilu 1:75.000, list Celje-Radeče, uporabil Bittnerjeve podatke, razumela kot običajno zaporedje nagubanih in z diskordancami prekinjenih paleozojskih, mezozojskih in kenozojskih kamnin. Idejo o krovni zgradbi je prvi izrazil W i n k l e r (1923), vendar je sklepal na obsežni pokrov karbonatnih kamnin Zunanjih Dinaridov narinjen proti severu na območje Posavskih gub, tako da je karbonatni prag, ki je ekvivalent Psevdoziljske formacije smatral za del Zunanjih Dinaridov, same psevdofiljske plasti pa je prišteval k Južnim Alpam oziroma

njihovi Zunanji coni. K u š č e r (1967), ki je detajlno obdelal okolico Zagorja, je povzel Bittnerjevo in Tellerjevo idejo o neproblematičnem zaporedju paleozojskih, mezozojskih in kenozojskih skladov v Posavskih gubah.

Pri kartiranju v okviru Osnovne geološke karte Jugoslavije v merilu 1:100.000, pa je prišlo do novih razhajanj. Bistveni del ozemlja Posavskih gub prekrivajo trije listi Osnovne geološke karte in sicer Ljubljana, Celje in Rogatec, ki so jih interpretirali različni avtorji; rezultat sta dva različna tektonska koncepta. Osrednji del Posavskih gub, oziroma osrednji del Laške sinklinale, je na listu Celje obdelal B u s e r (1978, 1979) in ugotovil, da se je v helvetiju v času štajerske faze ozemlje najprej nagubalo, nato pa so nastali obsežni krovni narivi. Same Posavske gube naj bi se dokončno nagubale v pliocenski dobi. Narivanje naj bi bilo usmerjeno od severa proti jugu; dolžine narivanja ni omenil (sl. 5a). Starost krovnega narivanja je dokazoval z izklinjanjem narivnic ob štajerski diskordanci. Kljub obsežni narivni zgradbi Buser meni, da Posavske gube neproblematično prehajajo v Zunanje Dinaride. Enako stališče je zagovarjal tudi A n i č i ć & J u r i š a (1985a, 1985b), ki je kartiral list Rogatec vzhodno od lista Celje. Misel, da bi krovni narivi nastali v helvetiju je treba zavriniti, saj pod štajersko diskordanco ni nagubanih plasti. Po naših opazovanjih je ta diskordanca disperzijska, na listu Ljubljana pa so helvetske plasti po P r e m r u j u (1983a, 1983b) celo ohranjene. Meje pokrovov nikjer ne sekajo oligocenskih in spodnjemio-censkih plasti. Mezozojske plasti niso nikjer ob krovnih narivih narinjene na oligocenske in spodnjemio-censke.

Na listu Ljubljana in v samostojnih razpravah je P r e m r u (1974, 1975, 1980, 1983a, 1983b) zagovarjal povsem drugačen koncept zgradbe. Posavske gube so po njem v paleogenu in neogenu doživele tri faze narivanja. Starejša faza, v kateri je prišlo najprej do gubanja in nato do narivanja je nastala na meji med oligocenom in tortonom, vidna pa naj bi bila v zahodnem delu Vzhodnih Posavskih gub. Naslednja najbolj izrazita faza, v kateri se je tudi uveljavilo gubanje in narivanje, je živela med koncem sarmata in začetkom pliocena. Najmlajše narivanje v kvartarju naj bi imelo le lokalni pomen. Vse opisane deformacije naj bi nastale zaradi povečanih napetosti v smeri N-S. V najpomembnejši fazi gubanja in narivanja med sarmatom in pliocenom so nastale prevrnjene in pretrgane gube, iz katerih so se razvili obsežni narivi s premikom proti jugu, katerih dolžino je ocenil na 8 do 19 km. Posavske gube naj bi se torej nagubale v tej fazi. Vsaka narivna enota naj bi bila zgrajena iz prevrnjene antiklinale v čelu nariva in sinklinale v začetju. Paleozojske plasti Posavskih gub pa naj bi bile narinjene na Zunanje Dinaride (sl. 5b). Najmlajše narivanje v kvartarju naj bi bilo ponekod usmerjeno tudi proti severu. Opisani shemi ne moremo pritrditi zaradi več vzrokov. V Posavskih gubah je očitno, da so narivne ploskve pokrovov ali narivov nagubane skupaj s Posavskimi gubami, kar sta upoštevala Buser in kot bomo videli tudi Mioč. Nikjer nimamo dokazov o obsežnejšem narivanju paleozojskih in mezozojskih plasti na terciarne, razen pri lokalnih deformacijah kot sta npr. Hrastniški in Čolniški nariv. Nekatere narivne ploskve, ki jih riše Premru, so po naših opazovanjih povsem normalne ali diskordančne geološke meje, kar potrjujejo tudi drugi geologi, ki so to območje kartirali (K u š č e r, 1962, 1967, 1975; B u s e r, 1978, 1979). Upravičen ugovor proti Premrujevi interpretaciji narivne zgradbe Posavskih gub je objavil K u š č e r (1975). Premrujev koncept odnosa Posavskih gub do Zunanjih Dinaridov je povzel tudi M l a k a r (1985/86).

V tem kontekstu je zanimiva ideja M i o č a (1976, 1981), ki je sodeloval pri kartiranju lista Celje pa tudi Ribnica in Novo mesto južno od Posavskih gub. Uvedel je termin Savski pokrov, ki naj bi zajemal celotne Posavske gube. Sestavljen naj bi bil iz

dveh strukturnih etaž. Spodnja naj bi bila iz karbonskopermskih klastitov, zgornja pa iz mezozojskih kamnin, ki so od paleozojskih ločene z manjšimi narivi (sl. 5c). Pokrov naj bi bil narinjen od severa proti jugu na Zunanje Dinaride, nastal pa naj bi pred oligocenom. Permski klastiti v okolici Ortneka na karbonatni platformi Zunanjih Dinaridov južno od Posavskih gub naj bi predstavljali tektonske krpe, ki so erozijski ostanki Savskega pokrova. Vendar podatki Osnovne geološke karte, list Ribnica (B u s e r, 1969, 1974) in kontrolnih ogledov na terenu tega ne potrjujejo, saj tukaj na srednjeperskih plasteh ležijo diskordantno odložene spodnjetriasne in mlajše plasti, tako da je ideja o tektonskih krpah brez osnove, poleg tega pa ležijo te plasti pretežno v dolinah in preprosto predstavljajo erozijska okna. Dejstvo je, da nihče doslej ni vzhodno od Ljubljanske kotline dokazal ali videl nariva karbonskopermskih klastitov na mezozojske sklade Zunanjih Dinaridov, temveč ležijo karbonskopermski klastiti dosledno pod njimi. Konstrukcije Mioča, Premruja in Mlakarja so hipotetične in izhajajo iz razmer zahodno od Ljubljanske kotline, kjer so karbonskopermske plasti nedvomno narinjene na mezozojske kamnine Zunanjih Dinaridov. Narivna lega pasu karbonskopermskih plasti na mezozojskih med Orlami in Gabrovko predstavlja lokalno deformacijo.

Razprava

S tem prispevkom skušamo pokazati, da so detajlne raziskave v Posavskih gubah v merilu 1:5000 nakazale drugačno zgradbo ozemlja na stiku med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi, kot so jo dale regionalne raziskave v okviru Osnovne geološke karte v merilu 1:100.000. To pomeni, da pregledne karte v tako zamotanih razmerah, kot je prostor med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi niso primerne za poglobljen študij zgradbe tega prostora. Zato smo tudi komentirali le tiste avtorje, ki so neposredno raziskovali Posavske gube, ne pa tudi številnih raziskovalcev, ki so alpsko-dinarski prostor vključevali v regionalne in globalne sinteze, saj menimo, da je poznavanje ključnih strukturnih detajlov z omenjenega prostora še premajhno, da bi lahko izdelali resnejšo sintezo. Na podlagi novih podatkov in potrjenih ugotovitev starejših raziskovalcev lahko v tem trenutku o zgradbi Posavskih gub zaključimo naslednje (sl. 5d):

1. Vse tri strukturne etaže Posavskih gub (1. karbonskopermski klastiti ter ponekod tudi permski in spodnjetriasni skladi, 2. mezozojske plasti, 3. terciarne plasti) so kartografsko in kinematsko utemeljene. Prva in druga sta ločeni z obsežno krovno narivno ploskvijo, med drugo in tretjo pa je izrazita diskordančna ploskev, ki je nastala po dolgem obdobju erozije pred srednjim oziroma zgornjim oligocenom.

2. Karbonskopermske plasti Posavskih gub so sestavni del Zunanjih Dinaridov, tako kot je menil že B u s e r (1978, 1979). O narivanju teh plasti proti jugu na karbonatno platformo Zunanjih Dinaridov vzhodno od Ljubljanske kotline ni nobenega neposrednega ali posrednega dokaza.

3. Krovno narivanje mezozojskih kamnin v Posavskih gubah je nastalo pred srednjim ali zgornjim oligocenom, njegova krovna narivna ploskev pa je imela v izhodiščni legi lastnost ločilne ploskve (decollement, detachment). Smer narivanja še ni analitično ugotovljena. Kljub strokovno še neugotovljeni smeri narivanja pa upravičeno domnevamo na velik horizontalni premik, ki bi utegnil znašati več deset, morda več sto kilometrov. Na veliko prvotno medsebojno oddaljenost kamnin prve in druge strukturne etaže je mogoče sklepati po razmerah v profilu na sl. 4a. Lega zgornjetriasnega glavnega dolomita in dachsteinskega apnenca na karbonskopermskih skladih,

ki jo je mogoče opazovati v nekaj tektonskih oknih v južnem krilu Laške sinklinale, je dober dokaz za to.

4. Za psevdosoteške plasti predlagamo termin **Trboveljska formacija** po kraju Trbovlje, za sarmatske plasti pa **Dolska formacija** po kraju Dol pri Hrastniku. Tako naj bi imeli v Laški sinklinali Trboveljsko, Kiscellsko, Govško, Laško in Dolsko formacijo. Tipična profila Trboveljske in Dolske formacije bo treba še določiti in opisati.

5. Če pogledamo na Posavske gube s širšega zornega kota, opazimo že na prvi pogled nenavadno skladnost med regionalno geometrijo neotektonskih deformacij obravnavanega prostora in razprostranjenostjo Posavskih gub (sl. 1, sl. 2). Te so pravzaprav vmeščene v trikotnik med neotektonsko aktivne tektonske cone in sicer Periadriatsko tektonsko cono na severu, Idrijsko tektonsko cono na jugozahodu in Srednjemadžarsko tektonsko cono na jugo-jugovzhodu, kar je shematsko prikazano na sl. 6. Mreža neotektonskih prelomov na sl. 1 je povzeta po listih Osnovne geološke karte Jugoslavije 1:100.000, za območje Posavskih gub pa smo upoštevali podatke lastnih raziskav. Preden nadaljujemo naj nekoliko podrobneje definiramo uporabljene termine. Izraz **Periadriatska tektonska cona** so uporabili Jelen et al. (1997) za deformacije, ki so genetsko povezane s strižnimi premiki ob Periadriatskem lineamentu. V kinematskem smislu prištevamo sem pas med Periadriatskim lineamentom in Savskim prelomom, ki je južna meja te cone. Savski prelom razumemo v smislu enotne prelomne ploskve, ki povezuje njegovo klasično traso v Zgornjesavski dolini, Celjski prelom in natančno še nedoločeno traso vzhodno od Celja (Placer, 1996) do Šoštanjkega preloma, ki poteka mimo Velenja, sl. 2, nato pa med Ravno goro in Ivančico proti vzhodu-severovzhodu. Kriteriji neotektonske aktivnosti so deformacije, kot jih opisujejo raziskovalci Jelenove skupine. Značilnost Periadriatske tektonske cone je, da je na območju Posavskih gub usločena proti jugu. **Srednjemadžarska tektonska cona** zajema prelome v smeri WSW-ENE približno med Orlico in jugovzhodnim podnožjem Medvednice in jo razumemo v smislu Csontos et al. (1992). Kriterij neotektonske aktivnosti te cone so deformirane osi Posavskih gub, prikazane na sl. 2 in kvartarna tektonska aktivnost kot jo podajata Prelogović & Cvijanović (1976). Srednjemadžarska tektonska cona se naslanja na Periadriatsko tektonsko cono severovzhodno od Kalnika. **Idrijska tektonska cona** vključuje dominantne prelome v severozahodnem delu Zunanjih Dinaridov v smeri NW-SE, približno med Raškim in Stiškim prelomom po Buserju (1976). Njena osrednja struktura je Idrijski prelom. Kriterij neotektonske aktivnosti ob teh prelomih je morfostrukturne narave. Idrijska tektonska cona je sestavljena iz dveh delov, ki ju loči Idrijski prelom. V severovzhodnem ali njenem notranjem delu (b na sl. 6) se prelomi ob robu cone naslanjajo na Savski prelom, med temi in Idrijskim prelomom pa se bolj ali manj izklinjajo znotraj pokrova Vzhodnih Julijskih Alp. V jugozahodnem ali zunanem delu (a na sl. 6) se na območju Zahodnih Julijskih Alp prelomi te cone skupaj z Idrijskim transformirajo iz zmičnih v poševne reverzne prelome po shemi, ki jo med drugimi podajajo Carrulli et al. (1990). Na prostoru Posavskih gub znotraj omenjenega trikotnika prelomi smeri NW-SE in WSW-ENE le v neznatni meri ali pa sploh ne sekajo terciarnih sedimentnih kamnin.

Notranji del Idrijske in Srednjemadžarska tektonska cona se sekata v obsežni **Idrijsko-Srednjemadžarski presečni coni** v kateri se izklinja Srednjemadžarska tektonska cona proti jugozahodu medtem ko je nadaljevanje Idrijske tektonske cone proti jugovzhodu nejasno. Meje Posavskih gub niso ostre, ker ne potekajo po določenih prelomih, temveč se intenzivnost gubanja v omenjenih tektonskih conah postopoma manjša (sl. 2). Na zahodu domnevamo, da se to dogodi pod aluvialnimi naplavina-

mi Ljubljanske kotline, ki ima tako kot prelomi Idrijske tektonske cone smer NW-SE, zato samega zamiranja ne moremo opazovati, vendar vzhodno od Ljubljanske kotline ni več gub, ki bi jih lahko vzporejali s Posavskimi.

Na vzhodu se Posavske gube polagoma izklinijo v Srednjemadžarski tektonski coni, v kateri spremenijo tudi smer od W-E proti WSW-ENE, kar pa se pravzaprav zgodi že zunaj severo-severozahodne meje te cone. Na severu se gube ponekod pojavljajo tudi severno od Savskega preloma, npr. Pletovarsko-Maceljska antiklinala. Iz opisane geometrije disjunktivnih in plikativnih elementov zgradbe moremo sklepati, da predstavlja območje med Idrijsko in Srednjemadžarsko tektonsko cono kompresijski klin, v katerem so se pri regionalni orientaciji glavne maksimalne napetosti približno v smeri N-S južno od Periadriatske tektonske cone izoblikovale Posavske gube. Imenujemo ga **Savski kompresijski klin** (sl. 6). Obseg kompresijskega klina smo določili na podlagi tistih deformacij, ki jih povežemo z napetostnim stanjem v samem klinu. Na jugozahodu je domnevno segal nekaj čez Stiški prelom, na jugo-jugovzhodu do srede Srednjemadžarske tektonske cone, severne meje pa ni mogoče določiti. Zgolj formalno smo jo potegnili nekaj severneje od prvotne lege Periadriatskega lineamenta, o čemer bomo spregovorili nekoliko pozneje.

Glede na definicijo Savskega kompresijskega klina moremo postaviti naslednje preliminarne sklepe:

A. Vzrok za izoblikovanje Savskega kompresijskega klina vidimo v nastanku Idrijsko-Srednjemadžarske presečne cone z izrazito poudarjeno parketno zgradbo, v kateri ne moremo določiti dominantne strižne smeri. To pomeni, da se je kompresijski klin razvil v obdobju stagnacije intenzivnejših strižnih premikov v notranjem delu Idrijske in v Srednjemadžarski tektonski coni.

B. Zavijanje Posavskih gub ob Srednjemadžarski tektonski coni in znotraj nje je izrazito, medtem ko tega pojava ob ali v Idrijski tektonski coni nismo mogli dokazati. Menimo, da leži vzrok v asimetriji Savskega kompresijskega klina, saj je njegovo jugo-jugovzhodno krilo bolj izpostavljeno vplivom novonastalega napetostnega stanja kot jugozahodno krilo.

C. Poleg gubanja se je vpliv stiskanja prostora v Savskem kompresijskem klinu izrazil tudi v splošnem dviganju celotnega klina, kar opazujemo v antecedentnem značaju Savske soteske med Ljubljansko in Krško kotlino in v plikvartarnemrodu, ki je danes znotraj klina dvignjen do 450 m nad današnji nivo reke Save (Čolnišče nad Zagorjem, Završje pod Kumom), medtem ko je isti prod izven kompresijskega klina v splošnem le malo dvignjen nad Savo, če izvzamemo lokalne anomalije, npr. Libna pri Krškem.

D. Četrta značilnost je usločitev Periadriatske tektonske cone proti jugu zaradi skrčenja prostora v Savskem kompresijskem klinu. Velikost celotnega skrčka smo ocenili na podlagi podatkov geneze Laške sinklinala na sl. 4, ki znaša okoli 6,5 km. Ker je v konstrukcijo na sl. 4 vključeno tudi južno krilo Trojanske in del severnega krila Litijske antiklinala, je mogoče celotni skrček kompresijskega klina južno od Savskega preloma določiti s seštevkom vseh sinklinal. Po osi klina nastopata v smeri N-S dve sinklinali: Tuhinjska in Laška, ki sta približno podobnih dimenzij in imata verjetno tudi podobna skrčka, kar pomeni zožitev za 13 km. Če pa temu prištejemo še skrček Plainsko-Desiniške in Senovške sinklinala nekoliko vzhodneje od tod, ki ni tolikšen in še nekaj manjših, menimo, da znaša največji skrček kompresijskega klina južno od Savskega preloma okoli 20 km. Iz tega sledi, da je zoženje prostora v osi klina povzročilo usločitev in pomik Periadriatske tektonske cone za 20 km proti jugu, v bokih pa postopoma manj do ničelnega premika v bližini oglišč. Ti se za nivo Savskega preloma

nahajata zahodno od Kamniško-Savinjskih Alp in severovzhodno od Kalnika. Gubanje je intenzivnejše tam, kjer je več kamnin visoke duktilnosti (karbonskopermski, gródenski, psevdofilski in terciarni klastiti), manj intenzivno pa je v vrhu klina, kjer prevladujejo mezozojski karbonati. Zožila se je tudi Periadriatska tektonska cona.

E. Za nastanek Posavskih gub je bila poleg formiranja Idrijsko-Srednjemadžarske presečne cone potrebna tudi preusmeritev napetostnih pogojev od desnih strižnih preko transpresivnih k normalnim pravokotno na Periadriatsko tektonsko cono v smeri N-S, ki je verjetno povezana z rotacijo širših razsežnosti. Kot deformacije novega napetostnega stanja obravnavamo poleg gub južno od Savskega preloma in delno znotraj tektonske cone tudi zmične prelome v smeri NW-SE, ki sekajo Periadriatski lineament in Savski prelom in so povzeti po podatkih Miočca & Žnidarčiča (1977), Miočca et al. (1983), Polinskega & Eisbacherja (1992) in Krysytyna et al. (1994). Med temi je najpomembnejši Labotski prelom, ki je bil po vsej verjetnosti zasnovan že v začetnem stadiju krčenja Savskega kompresijskega klina, kar je na sl. 6 prikazano z inicialnim prestrigom Periadriatskega lineamenta v prvotni legi. Proces je mogoče razložiti z ločnim efektom, oziroma raztezanjem v smeri Periadriatske tektonske cone in z vplivom Pohorskega masiva kompetentnih kamnin na zmikanje.

Upogib Periadriatske tektonske cone je poleg opisanih moral povzročiti tudi nasledstvene premike ob že obstoječih mehanskih diskontinuitetah tektonskega in sedimentnega izvora, zato bo treba temu dogajanju posvetiti več pozornosti. Ob tej priliki naj opozorimo na prispevek Jelena et al. (1997), kjer ugotavljajo desno progresivno transpresijo ob Savskem prelomu, ki naj bi trajala še danes. Če transpresija obstoja bi lahko imela le sekundarni pomen in krajevni obseg zaradi ločnih učinkov usločenja Periadriatske tektonske cone ne pa regionalnega pomena. Glede na njihovo ugotovitev, da se je zadnje intenzivno strižno premikanje dogajalo pred 6 milijoni leti, torej ob koncu miocena, menimo, da so se pogoji za nastanek Savskega kompresijskega klina ustvarili v pliocenu, sam proces gubanja in stiskanja prostora, pa je, oziraje se na pliokvartarni prod visoko nad sotesko reke Save na Čolnišču in pri Završju, mogel trajati še v kvartarju. Vprašanje ali so recentni premiki nadaljevanje teh procesov bi moralo postati predmet bodočih raziskav.

Predlagana neotektonska geometrijska shema je, kljub nekaterim dovolj trdnim dejstvom, še vedno v fazi intenzivnih raziskav. Zato vse relacije med omenjenimi strukturnimi elementi še niso enoznačno pojasnjene. Zlasti to velja za odnos med južno mejo Periadriatske tektonske cone, oziroma Savskim prelomom in Srednjemadžarsko tektonsko cono, ki ga raziskuje Jelenova skupina v širšem geotektonskem kontekstu, in za vprašanje geneze Idrijsko-Srednjemadžarske presečne cone.

Zahvala

Za skrben pregled članka in pripombe se zahvaljujem dr. Franciju Cimermanu in dr. Špeli Goričan. Obenem se zahvaljujem Prof. dr. Simonu Pircu za prevod v angleščino.

References

- A ničić, B. & Juriša, M. 1985a: Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, List Rogatec (Basic geological map of Yugoslavia, 1:100.000, sheet Rogatec). Zvezni geološki zavod, Beograd.
- A ničić, B. & Juriša, M. 1985b: Tolmač lista Rogatec, Osnovna geološka karta SFRJ,

1:100.000 (Guidebook of sheet Rogatec, Basic geological map of Yugoslavia, 1:100.000). Zvezni geološki zavod, Beograd, pp 76.

Bittner, A. 1884: Die Tertiär-Ablagerungen von Trifail und Sagor. - Jb. geol. R.A., 34/3, 433-596, Wien.

Buser, S. 1969: Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, List Ribnica (Basic geological map of Yugoslavia, 1:100.000, sheet Ribnica). Zvezni geološki zavod, Beograd.

Buser, S. 1974: Tolmač lista Ribnica, Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000 (Guidebook of sheet Ribnica, Basic geological map of Yugoslavia, 1:100.000). Zvezni geološki zavod, pp 60.

Buser, S. 1976: Tektonska zgradba južnozahodne Slovenije (Tektonischer Aufbau Südwest - Sloweniens). 8. jugosl. geol. kongres, Bled 1974, 3, 45-57, Ljubljana.

Buser, S. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, List Celje (Basic geological map of Yugoslavia, 1:100.000, sheet Celje). Zvezni geološki zavod, Beograd.

Buser, S. 1979: Tolmač lista Celje, Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000 (Guidebook of sheet Celje, Basic geological map of Yugoslavia, 1:100.000). Zvezni geološki zavod, Beograd, pp. 72.

Carulli, G.B., Nicolich, R., Rebez, A. & Slejko, D. 1990: Seismotectonics of the Northwest External Dinarides. - Tectonophysics, 179, 11-25.

Csontos, L., Nagymarosy, A., Kovacs, M. & Horvath, F. 1992: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. - Tectonophysics, 208, 221-241.

Gregorac, V. 1975: Geološke in hidrogeološke razmere na območju jame Hrastnik. Diplomsko delo, manuskript, Arhiv Univerze v Ljubljani.

Jelen, B., Aničić, B., Brežigar, A., Buser, S., Cimerman, F., Drobne, K., Monostori, M., Kedves, M., Pavšič, J. & Skaberne, D. 1992: Model of positional relationships for Upper Paleogene and Miocene strata in Slovenia. I.U.G.S. - S.O.G. Miocene Columbus Project, 71-72, Portonovo (Ancona), Abstracts.

Jelen, B., Márton, E., Fodor, L., Baldi, M., Car, J., Rifelj, H., Skaberne, D. & Vrabec, M. 1997: Paleomagnetic, Tectonic and Stratigraphic Correlation of Tertiary Formations in Slovenia and Hungary along the Periadriatic and Mid-Hungarian Tectonic Zone (Preliminary Communication). - Geologija, 40, 325-331, Ljubljana.

Kolar-Jurkovšek, T. & Placer, L. 1987: Ladinijsko-karnijska mikrofavna iz psevdodziljskih plasti Posavskih gub (Microfauna from the Pseudozilian beds /Ladinian-Carnian/ of the Sava folds area /NW Yugoslavia). - Geol. vjestnik, 40, 53-64, Zagreb.

Kossmat, F. 1913: Die adriatische Umrandung in der alpinen Faltenregion. - Mitt. Geol. Ges., VI, 61-165, Wien.

Krystyn, L., Lein, R., Schlaf, J. & Bauer, F.K. 1994: Über ein neues obertriadisch-jurassisches Intraplattformbecken in den Südkarawanken. - Jubiläumsschrift 20 Jahre Geol. Zusammenarbeit Österreich-Ungarn, 2, 409-416, Wien.

Kuščer, D. 1962: Psevdodziljski skladi v okolici Zagorja (Pseudozilian beds from the Zagorje area). - Geologija, 7, 67-69, Ljubljana.

Kuščer, D. 1967: Zagorski terciar (Tertiary Formations of Zagorje). - Geologija, 10, 5-85, Ljubljana.

Kuščer, D. 1975: Ali so Posavske gube zgrajene iz krovnih narivov? (Gibt es in den Sava-Falten Deckenüberschiebungen?). - Geologija, 18, 215-222, Ljubljana.

Kuščer, D. & Mitrevski, G. 1979: Geologija mejnega območja med jamama Hrastnik in Dol (Geology of the Area between the Coal mines Hrastnik and Dol). - Rudarsko-metalurški zbornik, 26, 2/3, 167-178, Ljubljana.

Mioč, P. 1976: Prilog poznavanju tektonskih odnosa granične cone istočnih Posavskih bora i dinarskog šelfa (Contribution to the knowledge of the tectonic relations of the boundary zone of the eastern Sava folds and Dinaric shelf). Sekc. za prim. geol. geof. i geok. JAZU, II, Znanst. skup 1975, Ser. A, 5, 223-228, Zagreb.

Mioč, P. 1981: Tektonski odnosi savske navlake prema susjednim jedinicama u Sloveniji te njena veza sa širim jugoslavenskim područjem. - Nafta, 32, 543-547, Zagreb.

Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1977: Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, List Slovenj Gradec (Basic geological map of Yugoslavia, 1:100.000, sheet Slovenj Gradec). Zvezni geološki zavod, Beograd.

Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1983: Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, List Ravne na Koroškem (Basic geological map of Yugoslavia, 1:100.000, sheet Ravne na Koroškem). Zvezni geološki zavod, Beograd.

Mlakar, I. 1985/86: Prispevek k poznavanju geološke zgradbe Posavskih gub in njihovega južnega obroba (A contribution to the knowledge of the geological structure of the Sava folds and their southern border). - Geologija, 28/29, 157-182, Ljubljana.

Placer, L. & Kolar-Jurkovšek, T. 1990: O starosti psevdodziljskih skladov v vzhodnih Posavskih gubah (The age of the Pseudozilian beds in the east part of the Savafolds). - Rudarsko-metalurški zbornik, 4, 529-534, Ljubljana.

Placer, L. 1996: O premiku ob Savskem prelomu (Displacement along the Sava fault). - Geologija, 39, 283-287, Ljubljana.

Placer, L. 1998: Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between

en Southern Alps and External Dinarides. - *Geologija*, 41, Ljubljana.

Polinski, R. & Eisbacher, G.H. 1992: Deformation partitioning during polyphase oblique convergence in the Karawanken Mountains, southeastern Alps. - *Jour. Struc. Geol.*, 14/10, 1203-1213.

Prelogovič, E. & Cvijanović, D. 1976: Kvartarne tektonske deformacije i seizmogene zone Hrvatske (Quartärtektonische Deformationen und seismogene Zonen Kroatiens). 8. jugosl. geol. kongres, Bled 1974, 3, 175-190, Ljubljana.

Premru, U. 1974: Triadni skladi v zgradbi osrednjega dela Posavskih gub (Trias im geologischen Bau der mittleren Sava-falten). - *Geologija*, 17, 261-297, Ljubljana.

Premru, U. 1975: Posavske gube so zgrajene iz narivov (Die Sava-Falten sind aus Überschiebungen gebildet). - *Geologija*, 18, 223-229, Ljubljana.

Premru, U. 1980: Geološka zgradba osrednje Slovenije (Geologic structure of Central Slovenia). - *Geologija*, 23/2, 226-278, Ljubljana.

Premru, U. 1983a: Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, List Ljubljana (Basic geological map of Yugoslavia, 1:100.000, sheet Ljubljana). Zvezni geološki zavod, Beograd.

Premru, U. 1983b: Tolmač lista Ljubljana, Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000 (Guidebook of sheet Ljubljana, Basic geological map of Yugoslavia). Zvezni geološki zavod, Beograd, pp 75.

Teller, F. 1889: Daonella Lommeli in den Pseudo-Gailthalerschiefern von Cilli. - *Verh. geol. R.A.*, 1, 210-211, Wien.

Teller, F. 1907: Geologische Karte der österr.-ung. Monarchie, 1:75.000, Gruppe 93, Cilliratschach, Wien.

Winkler, A. 1923: Ueber den Bau der östlichen Südalpen. - *Mitt. Geol. Ges.*, XVI, 1-272, Wien.

Trinčeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

Keywords: Dinarides, Eastern Alps, Southern Alps, External Dinarides, Slovenia, Karawanken Mountains, Tertiary Alps, Julian Alps, Zoranji Dinaridi, Slovenia

Abstract

In the paper the issue of macroscopic deciphering of the tectonic system between the Southern Alps and the External Dinarides is dealt. The primary point lies on problems of deciphering the nature of the Periadriatic thrust border of the Southern Alps from area east of the Ljubljana basin, and the relationship of the topography of the External Dinarides to the basin.

North of the Periadriatic thrust in the Southern Alps, north of the Periadriatic Dinarides within the Dinarides that are considered the Southern Alps and External and Internal Dinarides. The Southern Alps lie between the Periadriatic Dinarides and the Karawanken basin. A special position in the Southern Alps has the Periadriatic thrust zone between the Southern Dinarides and the Alps. East the Southern Alps are bounded by the External Dinarides and the Adriatic or Apennine Dinarides. Both units are displaced with respect to the Southern Alps by 30-40°. External Dinarides lie in turning the border between the Southern Alps and the External and Internal Dinarides, and between the External and Internal Dinarides exists a transposed area that is characterized as the domain of sigmoidal of the southernmost border of the pelagic development of the Internal Dinarides during the Miocene. The Periadriatic basin consists of strata that were formed from parts of the palaeogeographical units of Alps and Dinarides. The Karawanken thrust passes east of the Ljubljana basin into the Mid-Transalpine zone.

Keywords

Keywords in Slovenian: Dinaridi, Karavanki, južne Alpe, zunanji Dinaridi, Slovenija, Karavanken Gori, Tertiarna Alpa, Julijske Alpe, Zoranji Dinaridi, Slovenija

Keywords in German: Dinariden, Karawanken, Südalpen, Äußere Dinariden, Slowenien, Karawankengebirge, Tertiäre Alpen, Julische Alpen, Zoranji Dinariden, Slowenien

Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides

Prispevek k makrotektonski rajonizaciji mejnega ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi

Ladislav Placer

Geološki zavod Slovenije,
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Key words: tectonics, Eastern Alps, Southern Alps, External Dinarides, Slovenia
Ključne besede: tektonika, Vzhodne Alpe, Južne Alpe, Zunanji Dinaridi, Slovenija

Abstract

In the paper the bases for macrotectonic dismembering of the border region between the Southern Alps and the External Dinarides are given. The gravity point lies on problems of establishing the course of the Southalpine thrust border, or the **Southalpine front** west and east of the Ljubljana basin, and the relationship of the nappe units of the External Dinarides to this border.

North of the Periadriatic lineament lie the **Eastern Alps**. South of the Periadriatic lineament extend the **Dinarides** that are subdivided into **Southern Alps** and **External and Internal Dinarides**. The Southern Alps lie between the Periadriatic lineament and the Southalpine front. A special position in the Southern Alps has the Periadriatic tectonic zone between the Periadriatic lineament and the Sava fault. The Southern Alps are thrust on the **External Dinarides** and the **Adriatic or Apulian foreland**. Both units are declined with respect to the Southern Alps for 30-45°. **External Dinaric front** is forming the border between the Adriatic or Apulian foreland and External Dinarides, and between the External and Internal Dinarides exists a transitional area that is characterized as the domain of migration of the southwestern border of the pelagic development of the Internal Dinarides during the Mesozoic. The **Pannonian basin** consists of terrains that were formed from parts of the megastructural units of Alps and Dinarides. The Southalpine front passes east of the Ljubljana basin into the Mid-Transdanubian zone.

Kratka vsebina

V članku so podane osnove makrotektonske rajonizacije ozemlja na meji med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. Težišče članka je razprava o problemih določitve trase Južnoalpske narivne meje ali **Južnoalpske meje** zahodno in vzhodno od Ljubljanske kotline in odnos krovnih enot Zunanjih Dinaridov do te meje.

Severno od Periadriatskega lineamenta so **Vzhodne Alpe**. Južno od Periadriatskega lineamenta so Dinaridi, ki jih delimo na **Južne Alpe** ter **Zunanje in Notranje Dinaride**. **Južne Alpe** ležijo med Periadriatskim lineamentom in Južnoalpsko mejo. Posebno mesto v Južnih Alpah ima Periadriatska tektonska cona med Periadriat-

skim lineamentom in Savskim prelomom. Južne Alpe so narinjene na Zunanje Dinaride in **Jadransko** ali **Apulijsko predgorje**. Obe enoti sta nasproti Južnim Alpam zamaknjeni za 300-450. Mejo med Jadranskim ali Apulijskim predgorjem in Zunanjimi Dinaridi tvori **Zunanjedinarska meja**, med Zunanjimi in Notranjimi Dinaridi pa obstaja prehodno območje, ki označuje predel migracije jugozahodne meje pelagičnega razvoja Notranjih Dinaridov tekom mezozoika. **Panonski bazen** je sestavljen iz terranov, ki so nastali iz delov megastrukturnih enot Alp in Dinaridov. Južnoalpska meja se vzhodno od Ljubljanske kotline nadaljuje v Srednjetransdanubijsko cono.

Introduction

The formal geotectonic subdivision of the territory on the contact of Eastern Alps and Dinarides into the Eastern Alps, Southern Alps, External and Internal Dinarides, Adriatic or Apulian foreland and the Pannonian basin (fig. 1) was built up gradually by generations of geologists starting with the famous K o s s m a t's (1913) treatise on the folded hinterland of the Adriatic Sea. The boundary between the Eastern and the Southern Alps is not questionable since it passes along the Periadriatic lineament and the Ljutomer fault as the probable extension of the Balaton lineament. Both terms signify the same disjunctive unit that is cut by the Labot (Lavanttal) fault. Also the Pannonian subsidence does not represent an unsolvable problem although its limits cannot be clearly defined. Out of the embarrassment helps the distribution of the Tertiary sedimentary beds; therefore the term Pannonian basin is applied. Serious troubles arise, however, when we try to delimit the Southern Alps from the External and Internal Dinarides, and to separate the latter two units. The proposal for tectonic subdivision shown in fig. 1 was made by using the data of the Basic geologic map of Yugoslavia 1:100,000, B u s e r's Geologic map of Slovenia 1:250,000, in print, Geologic map of Slovenia 1:500,000 (B u s e r & D r a k s l e r, 1993), and the results of recent investigations, as listed in the contents.

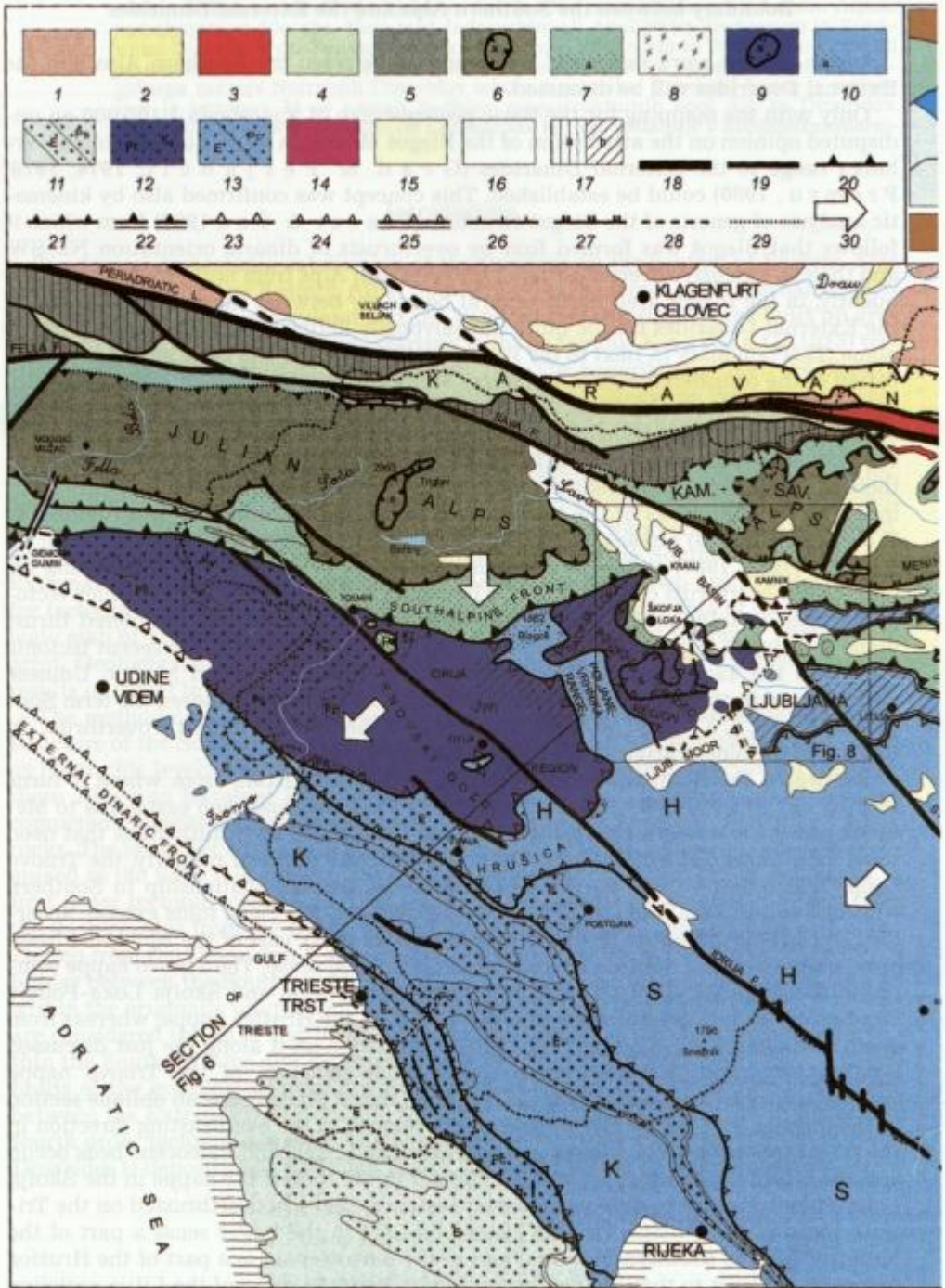
The methodology for the proposed tectonic dismembering is based on the nappe structure of the Southern Alps and External Dinarides, on tectonic elements of various hierarchic levels, and on sedimentologic criteria. The nappe structure of the Southern Alps and External Dinarides is derived from the detachment plane between competent Mesozoic, mostly carbonate rocks, and incompetent Paleozoic clastic rocks. The latter act as a soft bed to the nappe units. The detachment plane was recognized in the Sava folds and in the Upper Savinja valley in the area of Podolševa. A first order tectonic element is considered the Periadriatic lineament that separates the Eastern Alps from the Dinarides and the faults bounding the Tisa unit east of the Zagreb from the Dinarides. A second order tectonic element is the Southalpine thrust border between the Southern Alps and the External Dinarides. This line was formed within the originally unique sedimentation domain. The third order tectonic elements are considered the Sava and Idrija fault and the borders of extended nappe units within the Southern Alps and External Dinarides. The Dinaric directed faults NW-SE, faults of the middlehungarian direction WSW-ENE and the external dinaric border between the External Dinarides and the Adriatic, or Apulian foreland are termed the fourth order tectonic elements. The boundary between the External and the Internal Dinarides is depositional, and such is also the border of the Pannonian basin.

Boundary between the Southern Alps and the External Dinarides

In the present work especially the boundary between the Southern Alps and the External Dinarides will be discussed.

Only with the mapping for the Basic geologic map of Yugoslavia 1:100,000 an undisputed opinion on the attribution of the Blegoš Mountain as part of the Poljane-Vrhnika range to the External Dinarides (G r a d & F e r j a n ĉ i ĉ, 1974, 1976; P r e m r u, 1980) could be established. This concept was confirmed also by kinematic analysis of genesis of the Blegoš structure (P l a c e r & Č a r, 1997) from which it follows that Blegoš was formed first by overthrusts of dinaric orientation NE-SW, and then by extensive overthrusting of the Southern Alps from north to south. Consequently, in the Blegoš area the structural boundary between the Southern Alps and the External Dinarides can be quite unequivocally defined, since it follows a thrust plane. This boundary is, next to the Periadriatic lineament, the most important dislocation of the considered region. Its course west of Blegoš is relatively clearly defined: in the north of it extend the deeper marine deposits of the Slovenian basin, and on the southern side the carbonate beds of the Trnovo nappe. The lithologic difference of the two units is distinctly visible in the area of Blegoš westwards to Tolmin. West of there the boundary can be followed according to structural criteria, as here are come in contact similar rocks of the two mentioned units. This boundary was defined by K o s s m a t (1913) already as the line Kobarid-Stol-Cerkno, and more in detail by B u s e r (1986, 1987) on the sheet Tolmin and Udine (Videm). A special meaning for proving the overthrust character of this boundary have the Ponikve and Senica tectonic klippe at Tolmin. The further westward continuation of the considered thrust plane is resumed from S l e j k o et al. (1986) who has drawn it to the recent tectonic graben in the Tagliamento valley between Gemona (Gumin) and Moggio Udinese (Mužac), and farther southwestwards. For this boundary they proposed the term Southalpine front. C a r u l l i et al. (1990) proposed the term Periadriatic overthrust. In this paper the older variant is used since it is more distinct.

Eastwards the Southalpine front can be followed to Kranj from where it turns sharply towards south-southwest to east of Škofja Loka, and then eastwards to Medvode along the western rim of the Ljubljana basin. Here start difficulties that need some more extended explanations. To understand the problem properly, the Trnovo nappe which is a part of the External Dinarides, and its relationship to Southern Alps and to the Sava folds should be considered first. The Sava folds extend, according to the new definition (P l a c e r, 1998, this journal), east of the Ljubljana basin only, while west of it they do not exist in the structural sense. The Trnovo nappe comprises the Trnovski gozd with Banjšice, Idrija-Žiri region and Škofja Loka-Polhov Gradec region. It is overthrust from NE to SW on the Hrušica nappe, whereas from north southwards the Southern Alps are overthrust on it along the just discussed Southalpine front. It follows from the internal structure of the Trnovo nappe (M l a k a r, 1969; P l a c e r, 1973, 1981) that its thrust plane forms an oblique section in the manner that the youngest rocks are developed in the overthrusting direction in the thrust front above the Vipava valley, where Cretaceous and Paleocene beds occur, and the oldest Carboniferous-Permian clastics in the root of the nappe in the Škofja Loka-Polhov Gradec region. In the latter instance, they are overthrust on the Triassic rocks of the Poljane-Vrhnika ranges that are in the larger sense a part of the Mesozoic beds of southern Slovenia, and in the narrower sense a part of the Hrušica nappe. In contrast to that lie the Carboniferous-Permian rocks of the Litija anticline



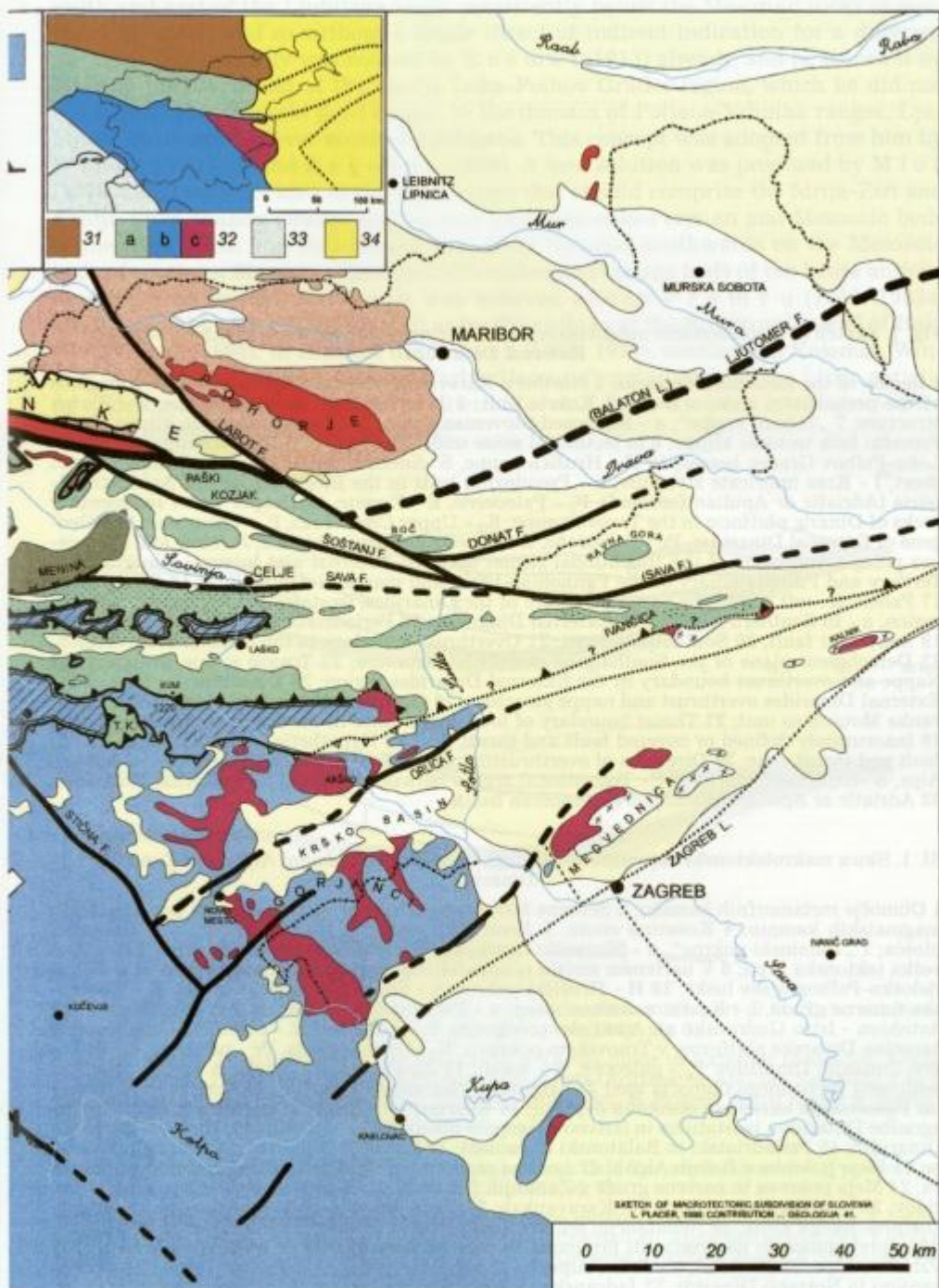




Fig. 1. Sketch of macrotectonic subdivision the bordering region between Southern Alps and External Dinarides

1 Region of the metamorphic rocks; 2 Northern Karavanke Mountains (Drava range); 3 Regions of the periadriatic igneous rocks; 4 Košuta unit; 5 Javornik unit; 6 Julian nappe, a - Zlatna structure; 7 „Tolmin nappe“, a - Supposed Slovenian basin, P - Ponikve tectonic klippe, T.K. - Preveški hrib tectonic klippe; 8 In tectonical sense undefined region; 9 Trnovo nappe, a - Škofja Loka-Polhov Gradec horses; 10 H - Hrušica nappe, S - Snežnik thrust sheet, K - Komen thrust sheet, I - Kras imbricate structure, a - Pseudozilja beds in the Blegoš region; 11 Autochthon - Istria (Adriatic or Apulian foreland), P_c - Paleocene, E - Eocene; 12 Deeper water sedimentary rocks of Dinaric platform in the Trnovo nappe, K₂ - Upper Cretaceous, P_c - Paleocene; 13 Paleogene of External Dinarides, P_c - Paleocene, E - Eocene; 14 Upper Triassic, Jurassic and Cretaceous pelagic sediments of the transitional region between External and Internal Dinarides; 15 Tertiary and Pliocquaternary of the Pannonian basin and marginal depressions; 16 Quaternary; 17 Paleozoic, soft bed of the nappe structure of the Dinarides, isostatic and supplantic uplifted region, a - In Southern Alps, b - In External Dinarides; 18 Periadriatic and Balaton lineaments; 19 Important fault; 20 Southalpine front; 21 Overthrust boundary in the Southern Alps region; 22 Detachment plane of the Southalpine overthrust structure; 23 Trnovo nappe boundary; 24 Nappe and overthrust boundary in the External Dinarides region; 25 Detachment plane of the External Dinarides overthrust and nappe structure; 26 Overthrust boundary in the North Karavanke Mountains unit; 27 Thrust boundary of local importance in the Sava compressive wedge; 28 Inaccurately defined or covered fault and thrust line; 29 Hypothetic fault and thrust line or fault and thrust zone; 30 Direction of overthrusting; 31 Eastern Alps; 32 Dinarides, a - Southern Alps, b - External Dinarides, c - Transitional region between External and Internal Dinarides; 33 Adriatic or Apulian foreland; 34 Pannonian basin

Sl. 1. Skica makrotektonske rajonizacije mejnega ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi

1 Območje metamorfni kamnin; 2 Severne Karavanke (Dravski niz); 3 Območja periadriatskih magmatskih kamnin; 4 Košutina enota; 5 Javorniška enota; 6 Julijski pokrov, a - Zlatanska plošča; 7 „Tolminski pokrov“, a - Slovenski bazen, P - Ponikvanska tektonska krpa, T.K. - Preveška tektonska krpa; 8 V narivnem smislu neopredeljeno območje; 9 Trnovski pokrov, a - Škofjeloško-Polhograjske luske; 10 H - Hrušiški pokrov, S - Snežniška narivna gruda, K - Komenška narivna gruda, I - Kraški naluskani prag, a - Psevdoziljske plasti na območju Blegoša; 11 Avtohton - Istra (Jadransko ali Apulijsko predgorje), P_c - paleocen, E - eocen; 12 Globljevodne kamnine Dinarске platforme v Trnovskem pokrovu, K₂ - zgornja kreda, P_c - paleocen; 13 Paleogen Zunanjih Dinaridov, P_c - paleocen, E - eocen; 14 Zgornjetriasnji, jurski in kredni pelagični sedimenti prehodnega območja med Zunanji in Notranji Dinaridi; 15 Terciar in pliokvartar Panonskega bazena in obrobni depresij; 16 Kvartar; 17 Paleozoik, mehka posteljica krovne zgradbe Dinaridov, izostatično in izrивно dvignjeno območje, a - V Južnih Alpah, b - V Zunanjih Dinaridih; 18 Periadriatski in Balatonski lineament; 19 Pomemben prelom; 20 Južnoalpska meja; 21 Meja pokrova v Južnih Alpah; 22 Ločilna ploskev Južnih Alp; 23 Meja Trnovskega pokrova; 24 Meja pokrova in narivne grude v Zunanjih Dinaridih; 25 Ločilna ploskev Zunanjih Dinaridov; 26 Narivna meja v Severnih Karavankah; 27 Nariv krajevnega pomena znotraj Savskega kompresijskega klina; 28 Nenatančno določena ali prekrita prelomnica in narivnica; 29 Hipotetična prelomnica in narivnica ali prelomna in narivna cona; 30 Smer krovne narivanja; 31 Vzhodne Alpe; 32 Dinaridi, a - Južne Alpe, b - Zunanji Dinaridi, c - Prehodno območje med Zunanji in Notranji Dinaridi; 33 Jadransko ali Apulijsko predgorje; 34 Panonski bazen

south and east of the Ljubljana basin consistently below the Mesozoic rocks of southern Slovenia, and so without a single direct or indirect indication for a different position. This anomaly was noticed by *K o s m a t* (1913) already, and he solved it by limiting the overthrust of the Škofja Loka-Polhov Gradec region, which he did not compare to the Trnovski gozd nappe, to the domain of Poljane-Vrhnika ranges, Ljubljana Moor and Golovec south of Ljubljana. This concept was adopted from him by *W i n k l e r* (1923) and *R a k o v e c* (1956). A new solution was proposed by *M i o č* (1976, 1981) with his idea of the Sava nappe that should comprise the Idrija-Žiri and Škofja Loka-Polhov Gradec regions and Carboniferous-Permian and Mesozoic beds of the Sava folds, and that should have been thrust southwards on the Mesozoic beds of southern Slovenia. That the Carboniferous-Permian beds of the Litija anticline were overthrust southwards was believed also by *P r e m r u* (1980, 1983a, 1983b) and *M l a k a r* (1987) as well as by the authors of the Structural model of Italy (*B i g i* et al., 1990). In contrast did *B u s e r* (1978, 1979), similarly to *K o s s m a t*, *W i n k l e r* and *R a k o v e c*, consider that the Carboniferous-Permian beds of the Litija anticline underlie the Mesozoic beds of southern Slovenia. With our pilot investigations we came to the same conclusion as *B u s e r*.

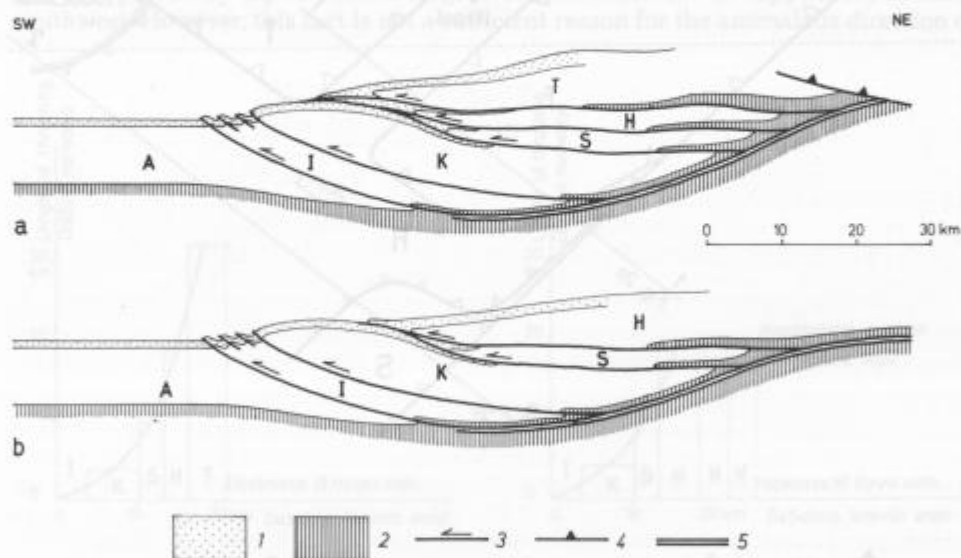


Fig. 2. Idealized section through the nappe structure of northwestern part of the External Dinarides (Modified after *P l a c e r j u*, 1981, fig. 7)

1 Eocene flysch; 2 Carboniferous-Permian beds; 3 Thrust plane in External Dinarides; 4 Southalpine front; 5 Detachment plane; **A** Autochthon - Istria (Adriatic or Apulian foreland); **I** Kras imbricate structure, Thrust front of the External Dinarides; **K** Komen thrust sheet; **S** Snežnik thrust sheet; **H** Hrušica nappe; **T** Trnovo nappe

Sl. 2. Idealiziran profil krovne zgradbe severozahodnega dela Zunanjih Dinaridov (Prirejeno po *P l a c e r j u*, 1981, sl. 7)

1 Eocenski fliš; 2 Karbonskopermske plasti; 3 Narivna ploskev v Zunanjih Dinaridih; 4 Južnoalpska meja; 5 Ločilna ploskev; **A** Avtohton - Istra (Jadransko ali Apulijsko predgorje); **I** Kraški naluskani prag, Narivno čelo Zunanjih Dinaridov; **K** Komenska narivna gruda; **S** Snežniška narivna gruda; **H** Hrušiški pokrov; **T** Trnovski pokrov

It follows from the position of the Carboniferous-Permian beds west and east of the Ljubljana basin that these beds in central Slovenia take part of two distinct tectonic units. Those in the west belong to the Trnovo nappe, and those in the east lie below the Mesozoic beds of south Slovenia, i.e. below the Hrušica nappe and the thrust units east of it. In order to understand the problem of structure of central Slovenia in the sense of this concept, we should take a closer look at the nappe structure of southwest Slovenia (Placer, 1981, fig. 7a) that is shown in a simplified version in fig. 2 and 3.

It follows from the relationship between the Trnovo and Hrušica nappes, fig. 2a, that the Carboniferous-Permian beds of the Trnovo nappe in the northeast part of the cross-section overlie analogous beds of the Hrušica nappe. Since the cross-section has been constructed from data on the position, internal structure, thickness and length of nappe units and overthrust distance, the conclusion can be reached, as in

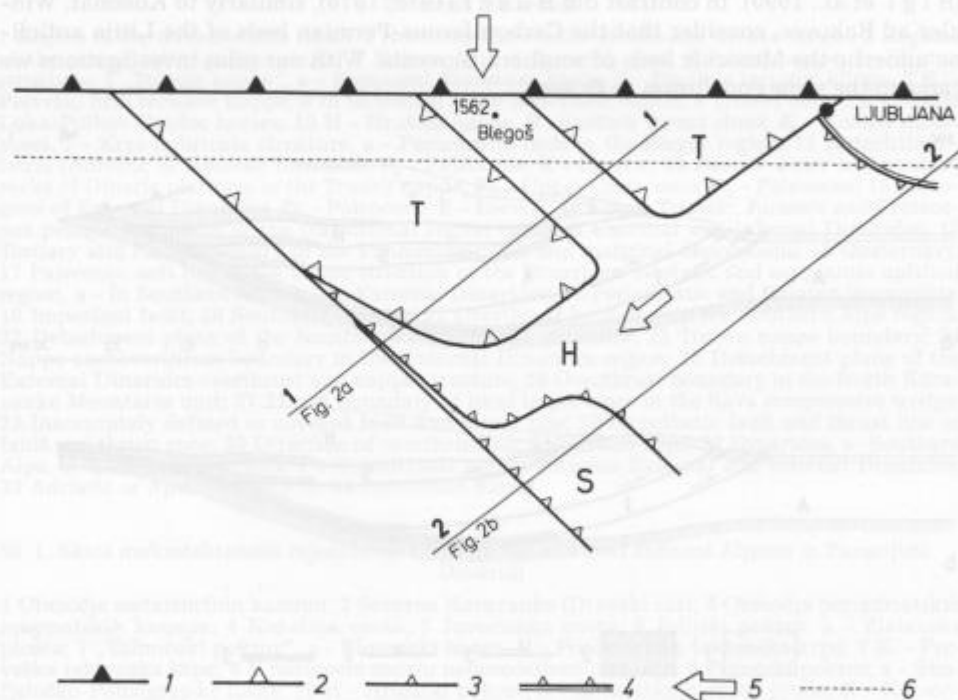


Fig. 3. Relationship between the Trnovo nappe and the Southalpine front

1 Southalpine front; 2 Trnovo nappe boundary; 3 Hrušica nappe and Snežnik thrust sheet boundary; 4 Detachment plane in External Dinarides; 5 Direction of overthrusting; 6 Border of accompanying deformations at the Southalpine front; T Trnovo nappe; H Hrušica nappe; S Snežnik thrust sheet.

Sl. 3. Razmerje med Trnovskim pokrovom in Južnoalpsko mejo

1 Južnoalpska meja; 2 Meja Trnovskega pokrova; 3 Meja Hrušiškega pokrova in Snežniške narivne grude; 4 Ločilna ploskev v Zunanjih Dinaridih; 5 Smer krovnega narivanja; 6 Meja spremljajočih deformacij ob Južnoalpski meji; T Trnovski pokrov; H Hrušiški pokrov; S Snežniška narivna gruda.

the former alinea, that the Carboniferous-Permian beds of the Škofja Loka-Polhov Gradec region overlie the Mesozoic rocks of south Slovenia as well as the Carboniferous-Permian beds of the Litija anticline east of the Ljubljana basin. These lie consistently below the carbonate sedimentary nappe of southern Slovenia. Since we deduce the nappe structure of the External Dinarides from a unique detachment plane, it is possible to conclude the very complicated shape of this plane that forms the boundary between the Carboniferous-Permian of the Litija anticline that in places include also the Val Gardena beds, and east of Kum also the Werfenian and Middle Triassic beds, and the Mesozoic beds. Therefore it is entirely understandable that in the Sava folds the younger beds are overthrust on older ones, as for the detachment plane the parallel, and not the oblique section is characteristic. This peculiarity has been often used as the basis for an argument against the nappe, or overthrust structure of this part of Slovenia. The detachment plane passes also within the Carboniferous-Permian beds. Therefore its position on the border between the Paleozoic and Mesozoic beds in the Sava folds in fig. 1 is largely formal.

The southeastern border of the Trnovo nappe has a transversal-dinaric direction SW-NE. In the treatise on the structure of southwestern Slovenia (P l a c e r, 1981) this was proved by dip of axes of large overthrust folds in the nappe front towards southwest. However, this fact is not a sufficient reason for the anomalous direction of

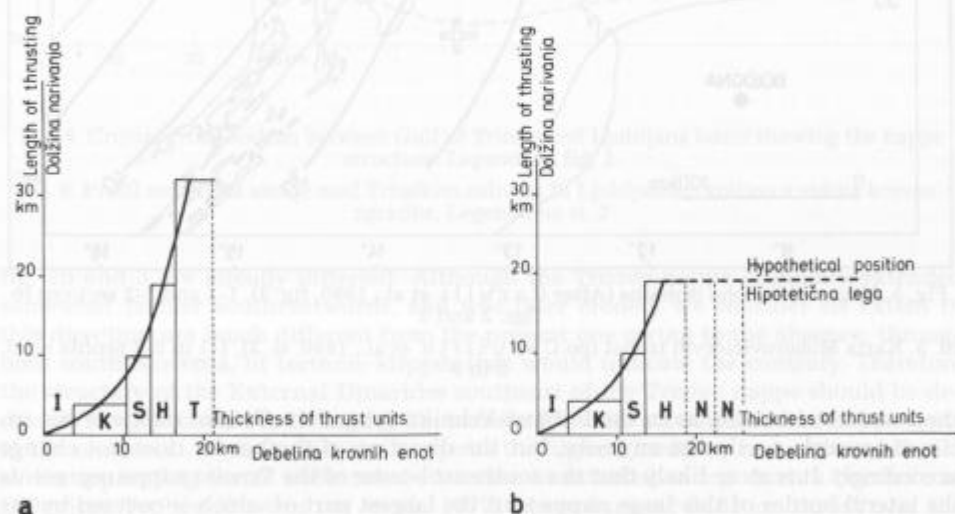


Fig. 4. Two histograms of different types of thrust range in External Dinarides, **a** - exponential thrust range, section in fig. 2a and section 1-1 in fig. 3, **b** - combined thrust range, section in fig. 2b and section 2-2 in the fig. 3

I Karst imbricate threshold; **K** Komen thrust sheet; **S** Snežnik thrust sheet; **H** Hrušica nappe; **T** Trnovo nappe; **N** Thrust unit in hinterland of Hrušica nappe

Sl. 4. Dva histograma različnih tipov narivnega niza v Zunanjih Dinaridih, **a** - eksponencialni narivni niz, profil na sl. 2a in profil 1-1 na sl. 3, **b** - kombiniran narivni niz, profil na sl. 2b in profil 2-2 na sl. 3

I Kraški naluskani prag; **K** Komenska narivna gruda; **S** Snežniška narivna gruda; **H** Hruški pokrov; **T** Trnovski pokrov; **N** Narivna enota v zaledju Hruškega pokrova

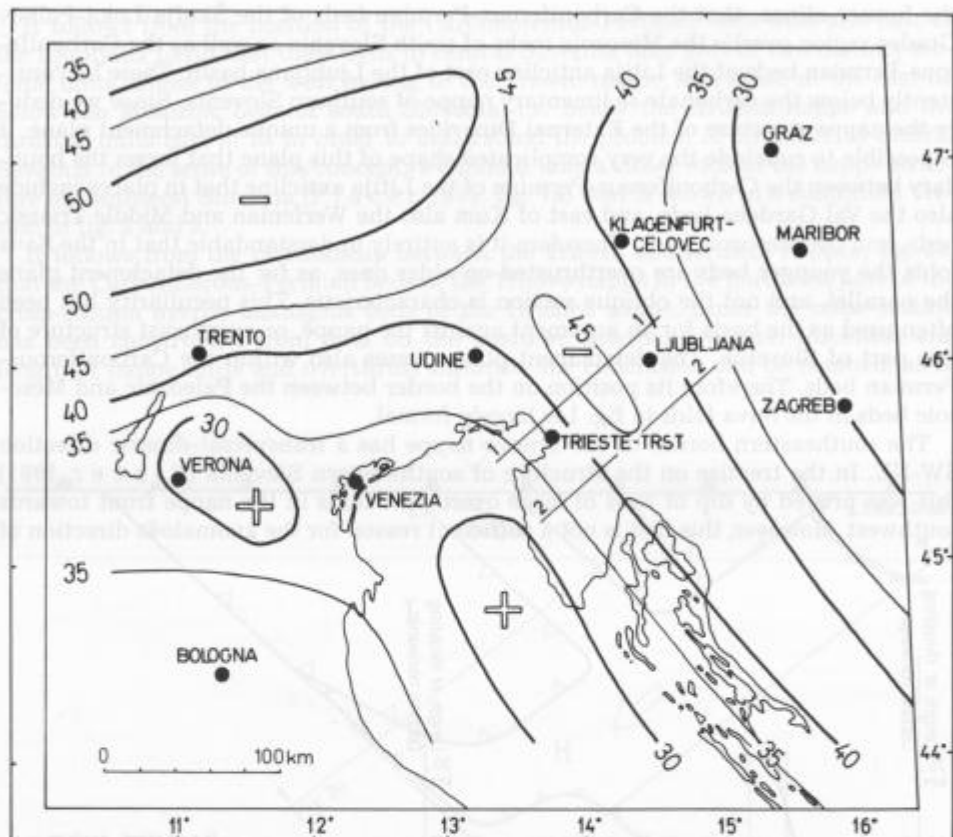


Fig. 5. Map of the Moho isobaths (After Carulli et al., 1990, fig. 3), 1-1 and 2-2 sections in figs. 2 and 3

Sl. 5. Karta Mohorovičičevih izobat (po Caruliju et al., 1990, sl. 3), 1-1 in 2-2 profila na sl. 2 in 3

the considered border, as in the Poljane-Vrhnika ranges the Trnovo nappe is not inclined towards northwest anymore, but the direction of the border does not change accordingly. It is more likely that the southeast border of the Trnovo nappe represents the lateral border of this large nappe unit the largest part of which is covered by the Southern Alps. The situation is schematically shown in fig. 3 where for easier orientation also the Poljane-Vrhnika ranges and Blegoš are also drawn. The extent of the Trnovo nappe and the extraordinary structure of Blegoš are indications of the importance of the Southalpine front. Along it a large displacement is supposed that could be explained by substantial rotation of the External Dinarides versus the Southern Alps, or by overthrusting without rotation, as believed e.g. by Premru (1980), Doglioni & Siorpaes (1990) and Polinski & Eisbacher (1992).

As the Trnovo nappe is of limited extent, the model in fig. 2 and its kinematic-dynamic derivation with an exponential thrust range (fig. 4a) could be valid only for the cross-section that passes across the Trnovo nappe (cross-section 1-1 in fig. 3), whereas the circumstances in cross-section 2-2 (fig. 3) beyond the Trnovo nappe in

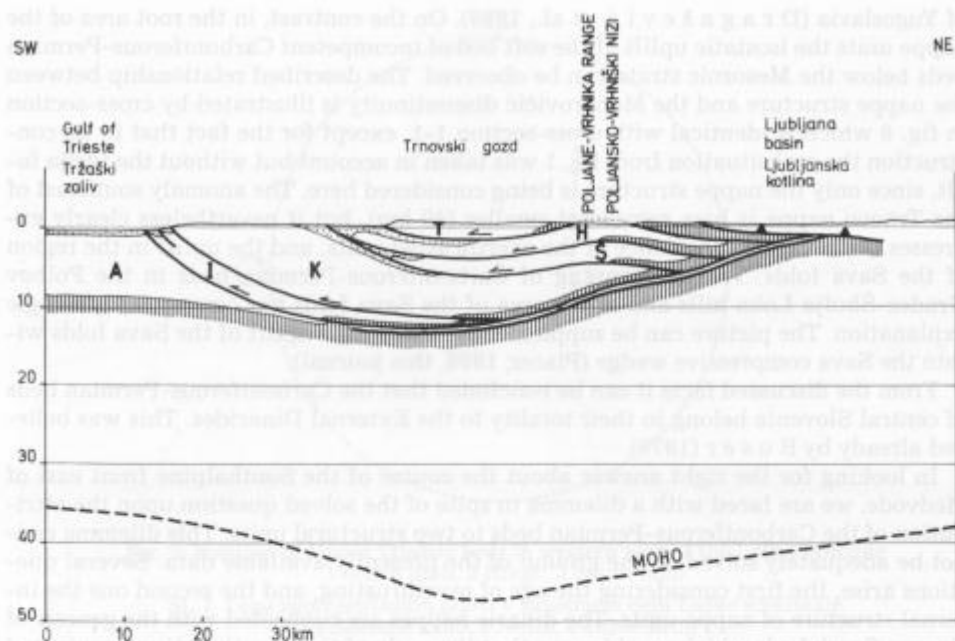


Fig. 6. Crustal cross-section between Gulf of Trieste and Ljubljana basin showing the nappe structure. Legend in fig. 2.

Sl. 6. Profil zemeljske skorje med Tržaškim zalivom in Ljubljansko kotlino z vidika krovne zgradbe. Legenda na sl. 2

fig. 2b and 3 are already different. Although the Trnovo nappe originally extended somewhat farther southeastwards, and was later eroded, we consider its extent in this direction not much different from the present one owing to the absence, throughout south Slovenia, of tectonic klippe that would indicate the contrary. Therefore the structure of the External Dinarides southeast of the Trnovo nappe should be deduced from the cross-section in fig. 2b, namely from the accumulation of nappe units in the southwest, with the Hrušica nappe as the highest member, and in the northeast as the separating thrust imbricated structure as established e.g. from a borehole at Dolenjske Toplice (P r e m r u et al., 1977) where Jurassic beds are thrust over the Cretaceous. We could hypothetically consider a nappe structure derived from the detachment plane with an assumed combined thrust range (P l a c e r, 1982) as shown in fig. 4b.

From cross-section 1-1 in fig. 2 and 3 can further also be hypothesized that the negative anomaly of the Mohorovičić discontinuity at 45 km in fig. 5 (after C a r u l l i et al., 1990, fig. 3) in the relatively narrow space between the Trieste gulf and Ljubljana basin could be the consequence of isostatic subsidence of the territory on which the nappe unit were stacked one above the other. The size of the anomaly in the NW-SE direction corresponds to the position and size of the Trnovo nappe. The map that was published by Carulli et al. was used by us owing to its better resolution with respect to the Structural map of Mohorovičić discontinuity for the territory

of Yugoslavia (D r a g a š e v i ć et al., 1989). On the contrast, in the root area of the nappe units the isostatic uplift of the soft bed of incompetent Carboniferous-Permian beds below the Mesozoic strata can be observed. The described relationship between the nappe structure and the Mohorovičić discontinuity is illustrated by cross-section in fig. 6 which is identical with cross-section 1-1, except for the fact that in its construction the real situation from fig. 1 was taken in account but without the Idrija fault, since only the nappe structure is being considered here. The anomaly southeast of the Trnovo nappe is here somewhat smaller (40 km), but it nevertheless clearly expresses the isostatic subsidence of the overthrust units, and the uplift in the region of the Sava folds. The outcropping of Carboniferous-Permian beds in the Polhov Gradec-Škofja Loka hills and in the area of the Sava folds has consequently a logic explanation. The picture can be supplemented also by the uplift of the Sava folds within the Sava compressive wedge (Placer, 1998, this journal).

From the discussed facts it can be concluded that the Carboniferous-Permian beds of central Slovenia belong in their totality to the External Dinarides. This was believed already by B u s e r (1979).

In looking for the right answer about the course of the Southalpine front east of Medvode, we are faced with a dilemma in spite of the solved question upon the attribution of the Carboniferous-Permian beds to two structural units. This dilemma cannot be adequately solved on the ground of the presently available data. Several questions arise, the first considering the age of overthrusting, and the second one the internal structure of nappe units. The dinaric nappes are connected with the genesis of Eocene flysch beds which would mean that the cycle of this overthrusting terminated most likely at the end of the Eocene times. The southalpine nappes lie on the dinaric nappes, so they could be only younger according to normal logic. In the Sava folds the Mesozoic rocks take part in one or several large overthrust units that were overthrust before the deposition of the Trbovlje beds (P l a c e r, 1998, this journal; first the Socka beds, and then the Pseudosocka beds - J e l e n et al., 1992) in Middle or Late Oligocene. It would be therefore logical to compare one or several nappe units that comprise the entire Sava folds with the dinaric nappes. However, in the facial sense they are comparable only with rocks of the Slovenian basin and its rim west of Škofja Loka and Kranj.

There is further the question of the age of the Julian nappe, as we named the nappe of the Julian and the Kamnik-Savinja Alps. This nappe was named by G r a d & F e r j a n č i ć (1976) the Jelovica nappe, by M i o ć (1981) Julian - Savinja nappe, by M i o ć (1983) and P r e m r u (1983b) the Savinja overthrust, by J u r k o v š e k (1987b) the nappe of the Julian Alps, by B u s e r (1986) the Krn nappe, and by K r y s t y n et al. (1994) in somewhat modified form the Krn, or the Pokljuka nappe. In the present paper we accepted, regardless of the right of the first author, the name proposed by Mioć, and we modified it to the term Julian nappe. It comprises the Julian and the Kamnik-Savinja Alps. The age of the Julian nappe could be only indirectly ascertained from the relation of the overthrust in the Julian Alps to the Oligocene beds of the Ljubljana basin. These beds are exposed across its entire extent, and, according to data of the Basic geologic map, sheets of Celovec (B u s e r & C a j h e n, 1978) and Kranj (G r a d & F e r j a n č i ć, 1974), below the Quaternary alluvial deposits the Ljubljana basin is covered almost completely with them. Therefore we could suppose Oligocene beds overlie also the thrust plane of the Julian nappe, if it sinks below the Oligocene beds of the Ljubljana basin. The situation in the Kamnik-Savinja Alps is at the first look different, however, and the interpretation with nap-

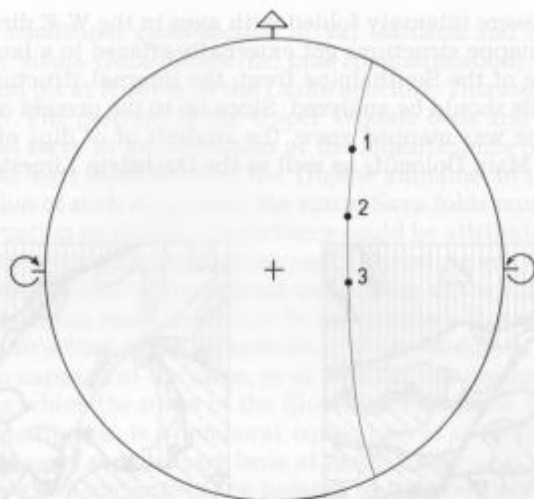


Fig. 7. Position of Upper Triassic beds in western part of the Laško syncline
1 North limb; 2 Hinge; 3 South limb

Sl. 7. Lega zgornjetriasnih plasti v zahodnem delu Laške sinklinale
1 Severno krilo; 2 Sedlo; 3 Južno krilo

pes thrusts on the Oligocene beds in sheet Celovec (B u s e r & C a j h e n, 1978, cross-section C-D) or sheet Ljubljana (P r e m r u, 1983a, cross-section A-B), is not proved. Provable are only small overthrusts of post-Sarmatian, most probably post-Middle Pliocene age that are the result of the compression within the Sava compressive wedge and of the shortening of the area. Based on these data we believe that the Kamnik-Savinja and the Julian Alps could have been overthrusts on the pelagic deposits of the Slovenian basin already before the Middle or Late Oligocene as one, or possibly several nappe units in the Sava folds, and as it is valid also for the central part of the Southern Alps (D o g l i o n i & B o s e l l i n i, 1987). Between the end of Eocene and the Middle to Late Oligocene there could be enough time for formation of the Southalpine nappe structure. On the other side dis B u s e r (1980), P r e m r u (1980) and P o l i n s k i & E i s b a c h e r (1992) attribute the nappes of Julian and Kamnik-Savinja Alps to Neogene. The question is not simple. It could be solved only by extensive research. The Oligocene beds at Bohinj, on Velika Planina and Kopsiče near Kamniška Bistrica river are of special importance for dating of the Julian nappe. It should be noted, however, that separating the genesis of the Julian nappe from the Southalpine front is not logical, and can be only a result of insufficient structural factography on the region of the Julian and the Kamnik-Savinja Alps.

It was already stated with respect to the internal structure of the nappe units and overthrusting directions that west of the Ljubljana basin the separation of the Dinaric and the Southalpine nappe structures can be made on the basis of dinaric (NW-SE) and southalpine (W-E) structural elements. Therefore at the relatively short distance east of the Ljubljana basin equal or at least similar situation could be expected. Yet, the structure there is different. Its dissimilarity is associated with the genesis of the Sava folds within the Sava compressive wedge (P l a c e r, 1998, this jour-

nal): the Sava folds were intensely folded with axes in the W-E direction, and in this process the dinaric nappe structures got externally effaced to a large degree. For determining the course of the Southalpine front, the internal structure of the Mesozoic beds in the Sava folds should be analyzed. Since up to the present only the wider area of the Laško syncline was mapped anew, the analysis of dips of the thick bedded Middle Triassic and Main Dolomite as well as the Dachstein Limestone was done only

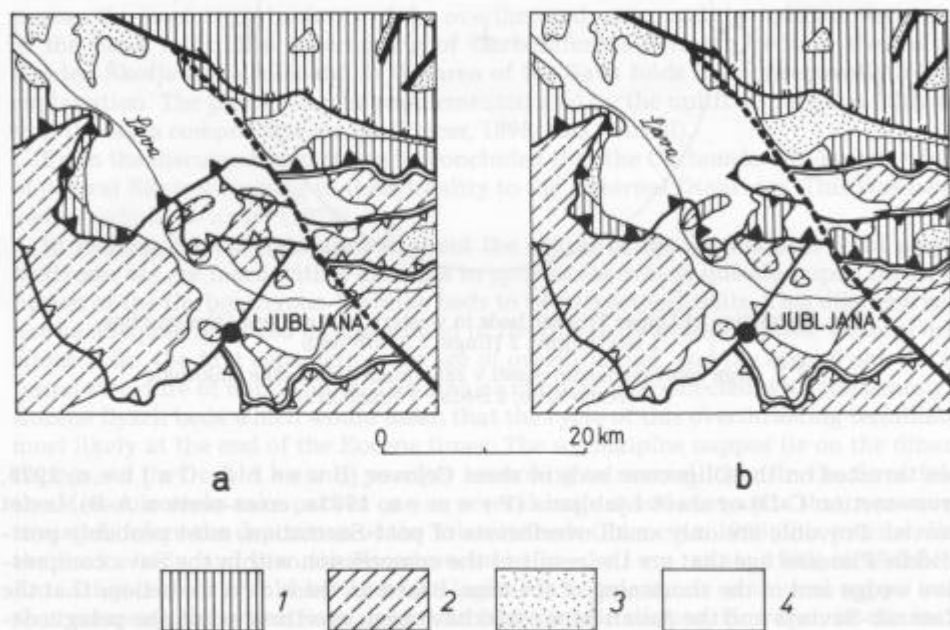


Fig. 8. Course variants of the Southalpine front eastern of the Ljubljana basin
1 Southern Alps; 2 External Dinarides; 3 Tertiary; 4 Ljubljana basin and Ljubljana moor; Ex-
planation of other signs in the legend of fig. 1

Sl. 8. Različici poteka Južnoalpske meje vzhodno od Ljubljanske kotline
1 Južne Alpe; 2 Zunanji Dinaridi; 3 Terciar; 4 Ljubljanska kotlina in Ljubljansko barje; Razlaga
ostalih znakov v legendi na sl. 1

in this area. In thick bedded rocks the regional aspects of deformations are preserved relatively independently of the local influences. These rocks occur west of the Kum mountain. In the north limb of the Laško syncline they are found at Reber above Kolvrat northwest of Izlake and in the south limb between Kum and Slemšek above Vače. In the southern limb of the syncline the beds dip generally toward west to west-northwest, and in the northern limb towards southwest to south-southwest. It is possible to determine with a simple rotation around the W-E axis that is parallel to the axis of folding that the poles of the beds of one and the other synclinal limbs lie in the same plane (fig. 7), while the constructed direction of the beds in the apex of the syncline is dinaric (NW-SE). Next to the structural aspect also the facial one is important.

The characteristic condensed cross-section of Val Gardena and Bellerophon beds in the highway cut at Višnja Gora (Skaberne, oral communication) was discovered also in the Borovnik sand pit at Kisovec in the Laško syncline. This could suggest the same depositional region. The position of the Upper Triassic beds and the development of Permian beds could serve as an indication of the appurtenance of Mesozoic rocks in the Sava folds, or at least those south of the Trojane anticline, to the External Dinarides. For confirmation of such conclusion the entire Sava folds must be analyzed. Therefore to this observation no decisive importance could be attributed.

By considering the elements of age of the nappe thrusting and the internal structure of the nappe units the clear answer about the passage of the course of the Southern Alps east of the Ljubljana basin could not be approached. It was established, however, that the nappe structure in the Sava folds is of pre-Middle to pre-Late Oligocene age, that the Julian nappe is of the same, or of post-Sarmatian age, and that the Southalpine front, along which the rocks of the Slovenian basin was thrust southwards west of the Ljubljana basin, is a temporal equivalent of the nappe structure of the Sava folds; the Oligocene sedimentary beds at Medvode cover the Southalpine front. From the said follow two variants of the passage of the Southalpine front east of the Ljubljana basin. Each of them has its advantages and weaknesses. Both variants are shown in fig. 8.

According to the variant 8a passes the border of the Southern Alps along the northern rim of the Carboniferous-Permian core of the Trojane anticline, and according to variant in fig. 8b along the northern rim of the Carboniferous-Permian core of the Litija anticline whereat also the Preveški hrib tectonic klippe (after the Preveški hrib - hill above Polšnik, 873 m) belongs to the Southern Alps. According to the first variant the Upper Triassic, Jurassic and Cretaceous pelagic deposits of the Slovenian basin would belong to the Southern Alps, while the Triassic beds in the basement and in limbs of the Laško syncline would belong to the highest nappe of the dinaric provenience. This would be indicated also by the position of beds west of Kum. This variant takes into account the structural aspect of the position of beds and similarity in development of condensed Val Gardena and Bellerophon beds at Kisovec and at Višnja Gora, as well as the discordant position of Cretaceous deeper marine beds on Triassic platform carbonate beds which is characteristic of the inner belt of the External Dinarides. It must be borne in mind, however, that the position of beds only in a small part of the Sava folds was analyzed, and that rather a gradual passage from the predominant carbonate facies of Middle to Upper Triassic beds in the south to clastic and pelagic development in the north, and not a radical tectonic discontinuity is indicated by the development of the Mesozoic beds in this area, if the Southalpine front would pass along the northern rim of the Trojane anticline. Therefore we took at the present state of understanding for the working hypothesis the variant 8b which is consistent with K o s s m a t's (1913) and W i n k l e r's (1923) understanding of connection of the considered thrust plane between the western and the eastern borders of the Ljubljana basin, but from different theoretic starting points.

Dilemmas connected with this question are more complex. They concern the formational and structural problems (geometric and kinematic), paleomagnetism, palinspastics, paleogeography and global tectonics. Thereof the need for complex approach to solving these problems in Slovenia is probably the most urgent, and should be directly relied with the universal processing for the mapping of the geologic map 1:50,000. The vagueness is associated not only with the passage of the Southalpine front east of the Ljubljana basin but also with the question of its global meaning.

Owing to insufficient state of investigation at present we cannot decide whether it continues to the Mid-Transdanubian zone, or does it bend towards southeast. On the ground of prevailing global views on the genesis of the Pannonian subsidence (e.g. Csontos et al., 1992; Horváth & Tari, 1998) in the present treatise the first variant, although it is only hypothetical, was used. We took orientation after the Mesozoic ophiolitic melange of Kalnik and Medvednica that cannot be directly related to the deeper marine rocks of the Sava and Krško hills and Gorjanci mountain, but we believe they belong in the broader sense to Internal Dinarides.

Here we should call attention to the opinion of Premru (1980), Dogliani & Siorpaes (1990) and Polinski & Eisbacher (1992) on the genesis of declination between the Southern Alps and External Dinarides, and hence follows that in the Southern Alps relics of the dinaric oriented structural elements could be expected. Also therefore the choice of the 8b variant is at present more suitable.

Mentioned should be further the hypothesis by Slejko et al. (1986) and Carulli et al. (1990) on the still active character of the Southalpine front west of the Idrija fault. The concept is associated with the hereditary effects, and is an indication of the complexity of dating the disjunctive structures in areas in which several tectonic phases occurred.

Discussion

Geotectonic subdivision of the territory of present Slovenia is based upon two megadisjunctive features, the Periadriatic lineament and the Southalpine front as well as on the internally heterogeneous and not very clearly delimited Pannonian subsidence. Therefore it is simpler to talk of the Pannonian basin, although unfortunately in the term not only the geometry of the Pannonian subsidence is not reflected, but also of the bordering territories with elements of the hereditary deformations that are not genetically connected with the subsidence.

The aim of the present treatise is not detailed genetic subdivision, but moreover a general formal tectonic subdivision of the Slovenian area and determination of the most important tectonic units of regional importance, based upon global principles and on nappe structure resulting from detachment tectonic geometry.

1. The Eastern Alps comprise region of the metamorphic rocks and regions of the Mesozoic carbonate rocks (Drava range and other regions). Drava (Drau) range reaches Slovenian territory as North Karavanke and their eastern relics at Mislinja and Zreče.

2. The Dinarides are delimited from the Eastern Alps by the Periadriatic lineament. They are commonly subdivided into the Southern Alps and the External and Internal Dinarides.

2a. The Southern Alps lie between the Periadriatic lineament and the Southalpine front. Their important structural unit is the Periadriatic tectonic zone (Jelen et al., 1997; Placer, 1998, this journal) between the Periadriatic lineament and the Sava fault. In the present paper the question of the nappe structure of the Southern Alps is not dealt with in any detail, but several general aspects are discussed that should be the object of attention in the future. In spite of the shift along the Sava fault, let it be 25, 40 or 65 to 70 km (Placer, 1996b), the Julian and the Kamnik-Savinja Alps should be considered as a single tectonic object in which the rocks of the Slovenian basin occupy the central position. They occur, according to Krystyn et al. (1994), in the

Tolmin nappe that lies below the Julian nappe. With respect to the extension of the latter it can be stated that it is overthrust in the south on the rocks of the Slovenian basin (Tolmin area, Baška grapa, Selce valley, Županje Njive near Kamnik, Črna valley near Kamnik), while in the north, on sheet Ravne, it overlies the rocks of Lower to Middle Triassic age, possibly also Upper Triassic (M i o č, 1983; M i o č & Ž n i d a r č i č, 1983). This leads to the idea that the rocks of the northern rim of the Julian nappe form the basement, and in places also the lateral equivalent of the deposits of the Slovenian basin, and that they belong most probably to the Tolmin nappe as well as the rocks of the Slovenian basin. Owing to the hypothetic character of this concept we write the „Tolmin nappe“ of such extent in quotation marks. On sheet Ravne lies the Lower Triassic beds of the „Tolmin nappe“ with tectonic contact on Carboniferous clastics that represent the soft bed of the Southern Alps. This unit comprises next to the Paleozoic beds on the sheets Celovec and Beljak with Pontebba also the Lower and Middle Triassic beds. The thrust plane itself towards the „Tolmin nappe“, however, is most probably hidden within the same formation. The rocks that could be attributed to the Paleozoic basement of the „Tolmin nappe“ occur also south of the Sava fault above Kranjska gora and Rateče (J u r k o v š e k, 1987a). Above them are the Lower and Middle Triassic beds of the „Tolmin nappe“ that extend according to the geologic map of the Structural model of Italy (B i g i et al., 1990) in a narrow belt along the southern side of the Fella (Bela) fault far westward. In the Structural model the boundary of these beds with the Upper Triassic beds is normal. We suppose, however, that here similar situation occurs as on the sheet Beljak with Pontebba (J u r k o v š e k, 1987a, cross-section A-B), and therefore we assume also here the existence of the „Tolmin nappe“, whereas the Paleozoic beds are exposed only in the area of Kranjska gora and Rateče. To the „Tolmin nappe“ belong also the Mesozoic rocks of the Sava folds that were reduced by the decision about the course of the Southalpine front along the northern rim of the Litija anticline to a single nappe unit. This solution must be considered hypothetic, however.

The Paleozoic soft bed rocks of the Southern Karavanke and the Triassic Karavanke belt rocks of the „Tolmin nappe“ between Sava fault and Periadriatic lineament did B u s e r (1980), M i o č (1983) and J u r k o v š e k (1987a) attribute to the South Karavanke unit that ought to comprise also the Lower and Middle Triassic beds. Owing to the importance of the Paleozoic basement we propose for it the term Javornik unit after Javorniški Rovt above Jesenice.

With regard to the exposed starting points occur in the Southern Alps the Javornik and the Košuta units, and the „Tolmin“ and the Julian nappe. The Košuta unit is a tectonic lens of Mesozoic rocks between the Periadriatic lineament and several faults within the Periadriatic tectonic zone (B r e n č i č et al., 1995) that played during the development of the latter various dynamic parts. The Javornik unit is the soft bed of the Southern Alps. The „Tolmin nappe“ and the Julian nappe are nappe units overthrust generally from the north southwards on the External Dinarides. Boskovec, Paški Kozjak, Konjšička gora, Boč and Ravna gora are structurally part of the Julian Alps, and owing to their rock composition we tentatively attribute them to the „Tolmin nappe“. According to rocks the Košuta unit in the Karavanke mountains could be a part of the Julian nappe that was intensely tectonically reworked within the Periadriatic zone. However, this was not taken into account in the dismembering scheme owing to our general starting points.

The Julian and the „Tolmin“ nappes are in the direction W-E dish-like deformed which might be connected with the regional compression. The border between the Ja-

vornik unit and the „Tolmin nappe“ could be identical with the plane of the Southalpine front. The Southalpine overthrust border is at the same time the southern border of the „Tolmin nappe“.

2b. The External Dinarides are declined with regard to the Southern Alps for 30 to 45° and underthrust below them. They consist of three belts: a - the external para-autochthonous belt with preserved Tertiary sedimentary rocks in cores of synform structures (the Kras imbricate structure, the Komen thrust sheet), b - the central allochthonous part in which the Tertiary sedimentary beds are only exceptionally preserved (Snežnik, Hrušica, Trnovo nappes and the not yet subdivided thrust structure northeast of the Hrušica nappe), and c - of the internal allochthonous belt representing the transition zone between the External and the Internal Dinarides, or the so called slope zone (P l e n i č a r & P r e m r u, 1975) that by some authors is considered as the Internal Dinarides. Is characterized by the migration of pelagial through the Upper Triassic, Jurassic and Cretaceous. A special position in the External Dinarides is occupied by the Trnovo nappe which is only the extreme southeast visible part of a larger nappe that is underthrust below the Southern Alps. Exceptional are its position and structure, since at its northwestern rim the degradation of the Dinaric carbonate platform was started in the Upper Cretaceous already. Since the degradation appeared in the Trnovo nappe first, we believe this observation to be one of the more important data for the study of palinspastics of the Dinarides. In fig. 1 are drawn next to the Trnovo nappe also the thrust borders of the Hrušica nappe, Snežnik and Komen thrust sheets and the Kras imbricated structure, as the Čičarija imbricated structure was more adequately named by us (P l a c e r, 1981). The latter occupies the part of thrust front for the External Dinarides. The boundaries of the overthrust units of the northeastern part of the External Dinarides are not drawn since their courses have not been analytically studied yet.

The Carboniferous-Permian beds in the Sava folds are a part of the External Dinarides.

2c. The transition region between the External and the Internal Dinarides. On the territory of Slovenia, in the megatectonic sense the Internal Dinarides are absent. There remains only the transition region between the External and the Internal Dinarides where the Jurassic and Cretaceous pelagial sediments were deposited discordantly on Triassic and older rocks of the External Dinarides, or where the Upper Triassic shelf gradually passes into the pelagial (O g o r e l e c & D o z e t, 1997) wherefore some authors consider this transitional region as Internal Dinarides. In the region of the Sava folds the transition region between the External and the Internal Dinarides is underthrust below similar rocks of the Slovenian basin or of the Southern Alps. The question on the appurtenance of the basement of deep sea deposits of Medvednica and Kalnik remains open. It most probably belongs to a distinct structural unit within the Mid-Hungarian tectonic zone, and therefore it was not tectonically considered here. Similar difficulties are connected also with the southern slope of Ivančica, if the hypothetical Southalpine front in this area is correctly placed.

3. The Adriatic or Apulian foreland is an autochthone of the dinaric thrust and nappe structure. It is underthrust together with the External Dinarides below the Southern Alps.

4. The Pannonian basin is a heterogenous tectonic unit. Its basement consists of the eastern, or better the east-northeastern extensions of the eastern alpine and dinaric geotectonic units that occur subsided under the Tertiary sedimentary beds of Paratethys. After H a a s et al. (1995) these units form extensive central alpine terra-

nes that consist prevalingly of continental crust: the Easternalpine of metamorphic rocks, Transdanubian of rocks of the Drava range or the Northern Karawanke mountains, Mid-Transdanubian of rocks of Southern Alps, and the Tisza terrane consisting of the rocks with European faunistic elements. It follows from the interpretation of the Transdanubian and Mid-Transdanubian terranes that the boundary between them is formed by the Balaton lineament which is a continuation of the Periadriatic lineament east of the Labot (Lavanttal) fault. In the territory of Slovenia the Balaton lineament is marked as the Ljutomer fault. The boundary between the Transdanubian and the Eastern Alpine terrane is represented by the Raba fault (H a s et al., 1995; H o r v á t h & T a r i, 1998) that should have been also the source structure of the North Karavanke overthrust. On the map in fig. 1 the Raba fault is not drawn because of the uncertainty of its course in the considered territory on the Basic geologic map (sheets Goričko and Leibnitz, Maribor, Čakovec and Rogatec).

The structure of the Periadriatic tectonic zone is reflected in distinct development of the Tertiary beds north and south of this zone as well as within it (J e l e n et al., 1992, 1997). This diversity is an expression of its tectogenesis that was studied in detail by F o d o r et al. (1998).

Conclusions

The proposed scheme of macrotectonic dismembering has the character of a working hypothesis, and is presented as basis for discussion of tectonic structure of Slovenia. With it we tried to submit those elements of global and the overthrust tectonics of the territory at the crossing of three megastructures that shed light on the proposed scheme. The most important of them are as follows:

1. Paleozoic beds occur in structurally the most uplifted parts for which we supplied kinematic and dynamic explanation: a - in the isostatically strongly uplifted root of the Trnovo nappe, b - in the intensely compressed and extruded Periadriatic tectonic zone, and c - in the isostatically uplifted Sava folds that were, the same as the Periadriatic tectonic zone, in the framework of the Sava compressive wedge uplifted above the neighboring structures.

2. The characteristic structure of the External Dinarides and extension of the Trnovo nappe are confirmed by the negative anomaly of the Mohorovičić discontinuity at the mark of 45 km.

3. The importance of the Southalpine front becomes integrally evident only when being considered in the broader circumadriatic region. Lying at the contact between the Southern Alps and the External Dinarides this front can be traced according to the position of the Trnovo nappe and the peculiar double overthrust structure of Blegoš.

4. Difficulties in determining the course of the Southalpine front east of the Ljubljana basin are connected with deformations within the Sava compressive wedge and with structurally insufficient geologic coverage on the scale of 1:100,000.

The questions that remained open are important for the palinspastic reconstruction of genesis of the Dinarides and the Pannonian basin. Such is for example 1. the question of the course of the Southalpine front east of the Ljubljana basin. It is not unimportant for the palinspastics of this region whether its course is bent at the northern rim of the Litija anticline towards east-northeast, or towards southeast. Depending upon this is, however, the final selection between the variants 8a or 8b (fig.

8), or some other. 2. The question of the course of this border is important also for understanding of the role of Pseudozilja beds in the area of Blegoš in the Poljane-Vrhnička ranges and in the northern flank of the Laško syncline in the Sava folds, which is one of the enigmas of the border territory between the Southern Alps and the External Dinarides.

Finally remains the comparison between several interpretations of the structure of Slovenian territory as they were made on the basis of mapping for the Basic geologic map. Here especially Mioč's idea on the Sava nappe and the structure of the transition territory between the Eastern and the Southern Alps are meant as well as Premru's interpretation of central Slovenia, although this was already the object of discussion (Placer, 1998, this journal). Since the subdivision scheme presented in this paper has the working character no detailed analysis of differences shall be given. We shall limit ourselves to starting points of individual hypotheses only that are essentially different, as are different also the interpretations. Mioč introduced in his works two novelties, the Sava nappe (Mioč, 1976, 1981) and the idea of a unique overthrust structure of the Southern and Northern Karavanke (Mioč, 1986, 1997). We already said of the Sava nappe that it should include the Paleozoic and Mesozoic beds of the Sava folds and of the Škofja Loka-Polhov Gradec and Žiri regions. It should have been thrust southwards on the carbonate shelf of the External Dinarides. We also wrote that the Carboniferous-Permian beds of the Škofja Loka-Polhov Gradec region that overlie the Mesozoic beds of Inner and Lower Carniola, or of the so called carbonate shelf, and the same beds that underlie the mentioned Mesozoic beds, cannot be considered equal. Owing to these facts well founded by observations the idea on the Sava nappe has been entirely rejected by us. The concept that the North Karavanke overthrust could be connected with the overthrust of the Paleozoic beds in the Southern Karavanke, the so called Southkaravanke overthrust, moved from south northwards on the Košuta unit, is based on the idea by Frisch (1978) who believed that after the collision of the Adriatic plate with the Eastern Alps the first was overthrust on the second. This idea was resumed also by the authors of the geologic structure of Austria (Oberhauser, 1980). It would be possible to discuss this subject argumentatively when investigations in the North Karavanke region and the Periadriatic tectonic zone will be accomplished. The obtained results are already partly published by Placer (1996a), by Jelen et al. (1997) and by Fodor et al. (1998).

Premru (1974, 1975, 1980, 1983a, 1983b) treated in his works, and especially in the treatise on the structure of central Slovenia (1980), the most delicate part of the territory east and west of the Ljubljana basin, as it is considered also in the present paper. His kinematic starting point for the structure of the Sava folds is entirely different from ours, and it has been critically discussed in the treatise on the Sava folds (Placer, 1998, this journal). Therefore its analysis will not be repeated here. The major shortcoming of Premru's concept is the negation of hard facts of the structural elements in their essential parts, to which attention was drawn already by Kuščer (1975). Therefore his overthrust interpretation must be rejected. It should be stressed, however, that Premru was the first to study in detail on the basis of the data of the Basic geologic map of Yugoslavia the contact between the Southern Alps and the External Dinarides in the region of central Slovenia, that he in this region as the first applied the structuro-facial analysis, and that he as the first draw attention to the importance of transform faults in interpreting the genesis of paleosedimentation regions in the Dinarides, and their place in the present structure. The transform faults were not considered in the present paper, although they are, also in the light of our

studies, an essential element for understanding the structure of the Alpine, Dinaric and Pannonian regions.

Prispevek k makrotektonski rajonizaciji mejnega ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi

Uvod

Formalno geotektonsko rajonizacijo ozemlja na stiku Vzhodnih Alp in Dinaridov na Vzhodne Alpe, Južne Alpe, Zunanje in Notranje Dinaride, Jadransko ali Apulijsko predgorje ter Panonski bazen (sl. 1) so postopoma izoblikovale generacije geologov vse od znamenite K o s s m a t o v e (1913) razprave o nagubanem zaledju Jadranskega morja. Meja med Vzhodnimi in Južnimi Alpami ni sporna, ker poteka po Periadriatskem lineamentu in Ljutomerskem prelomu, ki verjetno predstavlja podaljšek Balatonskega lineamenta. Oba termina označujeta isto disjunktivno enoto razmejeno z Labotskim prelomom. Tudi Panonska udorina ne predstavlja nerešljivega problema, čeprav ne moremo jasno določiti njenih meja. Iz zadrege si pomagamo z razprostranjenostjo njenih terciarnih sedimentov, zato govorimo o Panonskem bazenu. Resne težave nastopijo pravzaprav šele pri razmejitvi Južnih Alp od Zunanjih in Notranjih Dinaridov, ter pri ločevanju slednjih dveh enot. Predlog tektonske rajonizacije na sl. 1 je narejen na podlagi podatkov Osnovne geološke karte Jugoslavije 1:100.000, B u s e r j e v e Geološke karte Slovenije 1:250.000 v tisku, Geološke karte Slovenije 1:500.000 (B u s e r & D r a k s l e r, 1993) in rezultatov novejših raziskav, kot je razvidno iz vsebine.

Metodologija predlagane tektonske rajonizacije temelji na krovni zgradbi Južnih Alp in Zunanjih Dinaridov, na tektonskih elementih različnih hierarhičnih stopenj in sedimentoloških kriterijih. Krovna zgradba Južnih Alp in Zunanjih Dinaridov je izpeljana iz ločilne ploskve (detachment) med kompetentnimi mezozojskimi pretežno karbonatnimi kamninami in nekompetentnimi paleozojskimi klastiti, ki igrajo vlogo mehke posteljice krovnih enot. Ločilna ploskev je bila ugotovljena v Posavskih gubah in v Zgornjesavinjski dolini na območju Podolševe. Tektonski elementi prvega reda so Periadriatski lineament, ki razmejuje Vzhodne Alpe od Dinaridov in preloma, ki omejujeta enoto Tisa vzhodno od Zagreba od Dinaridov. Tektonski element drugega reda je Južnoalpska narivna meja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. Ta je nastala znotraj prvotno enotnega sedimentacijskega prostora. Tretjega reda so Savski in Idrijski prelom ter meje obsežnih krovnih enot znotraj Južnih Alp in Zunanjih Dinaridov, medtem ko so prelomi dinarske smeri NW-SE in srednjemadžarske smeri WSW-ENE ter Zunanjedinarska meja med Zunanji Dinaridi in Jadransko ali Apulijskim predgorjem četrtega reda. Meja med Zunanji in Notranji Dinaridi je sedimentacijska, tako kot meja Panonskega bazena.

Meja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi

V tem prispevku bomo razpravljali predvsem o meji med Južnimi Alpami in Zunanji ter Notranji Dinaridi.

Šele s kartiranjem za Osnovno geološko karto Jugoslavije 1:100.000 se je izobliko-

valo enotno mnenje, da spada Blegoš kot del Poljansko-Vrhniških nizov k Zunanjim Dinaridom (G r a d & F e r j a n č i č, 1974, 1976; P r e m r u, 1980). To je bilo dokazano tudi s kinematsko analizo geneze blegoške strukture (P l a c e r & Č a r, 1997), iz katere je razvidno, da so Blegoš izoblikovali najprej dinarsko usmerjeni narivi od NE proti SW, nato pa obsežno narivanje Južnih Alp od severa proti jugu. Na območju Blegoša je potemtakem mogoče povsem nedvoumno določiti strukturno mejo med Zunanji Dinaridi in Južnimi Alpami, ki je narivna ploskev in poleg Periadriatskega lineamenta najpomembnejša dislokacija obravnavanega prostora. Njen potek zahodno od Blegoša je sorazmerno jasen, saj se na severni strani nahajajo globljemorske kamnine Slovenskega bazena, na južni strani pa karbonatne kamnine Trnovskega pokrova. Litološka raznolikost obeh enot je na območju Blegoša in proti zahodu jasno vidna do Tolmina, zahodno od tod pa je mejo mogoče slediti po strukturnih kriterijih, čeprav se tu stikajo podobne kamnine obeh imenovanih enot. To mejo je definirjal že K o s s m a t (1913) kot linijo Kobariški Stol - Cerčno, natančneje pa B u s e r (1986, 1987) na listu Tolmin in Videm. Poseben pomen pri dokazovanju krovnega značaja te meje imata Ponikvanska in Seniška tektonska krpa pri Tolminu. Nadaljnji potek obravnavane narivne ploskve proti zahodu je povzet po S l e j k u et al. (1986), ki jo vlečejo do recentnega tektonskega jarka po dolini Tilmenta med Guminom in Mužacem ter naprej proti jugozahodu. Za opisano mejo predlagajo termin „Southalpine front“, ki ga prevajamo kot Južnoalpska meja, oziroma meja Južnih Alp ali Južnoalpska narivna meja. C a r u l l i et al. (1990) pa so predlagali termin „Periadriatic overthrust“ oziroma Periadriatski nariv. V tem prispevku smo uporabili starejšo varianto, ker je bolj določna.

Proti vzhodu je Južnoalpsko mejo mogoče slediti do Kranja in nato ostro proti jugo-jugozahodu, vzhodno od Škofje Loke pa ponovno proti vzhodu do Medvod ob zahodnem robu Ljubljanske kotline, nakar se pričene težave, ki zahtevajo obširnejšo razlago. Da bi vprašanje pravilno razumeli, si najprej oglejmo Trnovski pokrov, ki je del Zunanjih Dinaridov in njegov odnos do Južnih Alp in Posavskih gub. Le-te se po novi definiciji (P l a c e r, 1998, ta revija) razprostirajo le vzhodno od Ljubljanske kotline, zahodno od tod pa v strukturnem smislu ne obstojajo. Trnovski pokrov obsega Trnovski gozd z Banjšicami, Idrijsko-Žirovsko ozemlje in Škofjeloško-Pohorajsko ozemlje. Narinjen je od NE proti SW na Hrušiški pokrov, nanj pa so od severa proti jugu narinjene Južne Alpe ob pravkar omenjeni Južnoalpski meji. Iz notranje zgradbe Trnovskega pokrova sledi (M l a k a r, 1969; P l a c e r, 1973, 1981), da tvori njegova narivna ploskev poševni rez tako, da so najmlajše kamnine v smeri narivanja razvite v čelu pokrova nad Vipavsko dolino, kjer nastopajo kredne in paleocenske plasti, najstarejši karbonskopermski klastiti pa v korenu pokrova na Škofjeloško-Pohorajskem ozemlju. Tukaj so le-ti narinjene na triasne kamnine Poljansko-Vrhniških nizov, ki so v širšem smislu del mezozojskih kamnin južne Slovenije, v ožjem pa del Hrušiškega pokrova. Nasprotno pa ležijo karbonskopermske kamnine Litijske antiklinale južno in vzhodno od Ljubljanske kotline dosledno pod mezozojskimi kamninami južne Slovenije in ni nobenega posrednega ali neposrednega dokaza, da bi bilo kako drugače. Anomalijo je opazil že K o s s m a t (1913) in jo rešil tako, da je nariv Škofjeloško-Pohorajskega ozemlja, ki ga pa ni vzporejal z narivom Trnovskega gozda, omejil na območje Poljansko-Vrhniških nizov, Ljubljanskega barja in Golovca južno od Ljubljane. Enako sta za njim povzela W i n k l e r (1923) in R a k o v e c (1956). Novo rešitev je posredoval M i o č (1976, 1981) z idejo o Savskem pokrovu, ki naj bi zajemal Idrijsko-Žirovsko in Škofjeloško-Pohorajsko ozemlje ter karbonskopermske in mezozojske plasti Posavskih gub in bil porinjen proti jugu na mezozojske

plasti južne Slovenije. Da so karbonskopermske plasti Litijske antiklinale narinjene proti jugu sta menila tudi P r e m r u (1980, 1983a, 1983b) in M l a k a r (1987) ter avtorji Strukturnega modela Italije (B i g i et al., 1990). Nasprotno pa je B u s e r (1978, 1979) tako kot Kossmat, Winkler in Rakovec menil, da ležijo karbonskopermske plasti Litijske antiklinale pod mezozojskimi skladi južne Slovenije. S pilotskimi raziskavami smo prišli do enakega sklepa kot Buser.

Iz lege karbonskopermskih skladov zahodno in vzhodno od Ljubljanske kotline torej sledi, da ležijo te plasti v osrednji Sloveniji v dveh različnih tektonskih enotah. Tiste na zahodu pripadajo Trnovskemu pokrovu, tiste na vzhodu pa ležijo pod mezozojskimi skladi južne Slovenije oziroma pod Hrušiškim pokrovom in narivnimi enotami vzhodno od le-tega. Da bi v smislu te ugotovitve razumeli problem zgradbe osrednje Slovenije, si moramo поблиže ogledati krovno zgradbo jugozahodne Slovenije (P l a c e r 1981, sl. 7a), ki jo poenostavljeno podajamo v dveh profilih na sl. 2 in na sl. 3.

Iz odnosa med Trnovskim in Hrušiškim pokrovom na sl. 2a je razvidno, da karbonskopermske plasti Trnovskega pokrova v severovzhodnem delu profila prekrivajo enake plasti Hrušiškega pokrova. Ker je profil narejen po faktografskih podatkih o legi, notranji zgradbi, debelini in dolžini krovnih enot ter dolžini narivanja, zaključujemo tako kot v prejšnjem odstavku, da ležijo karbonskopermske plasti Škofješko-Pohorjaškega ozemlja hkrati na mezozojskih kamninah južne Slovenije in na karbonskopermskih plasteh Litijske antiklinale vzhodno od Ljubljanske kotline. Te pa ležijo dosledno pod karbonatnim sedimentnim pokrovom južne Slovenije. Glede na to, da izvajamo krovno zgradbo Zunanjih Dinaridov iz enotne ločilne ploskve (decollement, detachment), je mogoče skleniti, da predstavlja meja med karbonskopermskimi skladi Litijske antiklinale, ki ponekod vključujejo tudi grōdenske plasti, vzhodno od Kuma pa tudi werfenske in srednjetrjasne plasti, nasproti mezozojskim plastem komplicirano zgrajeno ločilno ploskev. Zaradi tega je povsem razumljivo, da imamo v Posavskih gubah mlajše plasti narinjene na starejše, saj je za ločilno ploskev značilen vzporedni ne pa poševni rez. Ta posebnost pogosto predstavlja osnovo za ugovor proti ideji o krovni ali narivni zgradbi tega dela Slovenije. Ločilna ploskev poteka tudi znotraj karbonskopermskih plasti, zato je njena lega na meji med paleozojskimi in mezozojskimi plastmi v Posavskih gubah na sl. 1 v pretežni meri formalna.

Jugovzhodna meja Trnovskega pokrova ima prečnodinarsko smer SW-NE. V razpravi o zgradbi jugozahodne Slovenije (P l a c e r, 1981) smo to utemeljevali z vpadom osi velikih narivnih gub v čelu pokrova proti severozahodu. Vendar to dejstvo ni zadosten razlog za anomalno smer obravnavane meje, saj na območju Poljansko-Vrhnjskih nizov Trnovski pokrov ne visi več proti severozahodu, smer te meje pa se zaradi tega ne spremeni. Bolj verjetno je, da predstavlja jugovzhodna meja Trnovskega pokrova bočno mejo te obsežne krovne enote, katere pretežni del je prekrit z Južnimi Alpami. Stanje je shematsko prikazano na sl. 3, na kateri so zaradi lažje orientacije narisani tudi Poljansko-Vrhnjski nizi in Blegoš. Obseg Trnovskega pokrova in izjemna struktura Blegoša kažeta na velik pomen Južnoalpske meje. Ob njej domnevamo velik premik, ki bi ga lahko razložili z obsežno rotacijo Zunanjih Dinaridov nasproti Južnim Alpam ali pa s prekrilnim narivanjem brez rotacije kot menijo npr. P r e m r u (1980), D o g l i o n i & S i o r p a e s (1990) ter P o l i n s k i & E i s b a c h e r (1992).

Ker ima Trnovski pokrov omejen obseg, velja model na sl. 2a in njegova kinematsko-dinamska izpeljava z eksponencialnim narivnim nizom (sl. 4a) le za profil, ki poteka preko Trnovskega pokrova (profil 1-1 na sl. 3), medtem ko so razmere v profilu

2-2 (sl. 3) izven Trnovskega pokrova na slikah 2b in 3 nekoliko drugačne. Čeprav je Trnovski pokrov prvotno segal verjetno nekoliko dlje proti jugovzhodu in bil pozneje erodiran, menimo, da njegov obseg v tej smeri ni mogel biti bistveno večji od današnjega, saj nikjer v južni Sloveniji ne najdemo tektonskih krp, ki bi dokazovale nasprotno. Zato je treba zgradbo Zunanjih Dinaridov jugovzhodno od Trnovskega pokrova izvajati iz profila na sl. 2b, in sicer kot kopičenje krovnih enot na jugozahodu katerih najvišji člen je Hrušiški pokrov, na severovzhodu pa kot ločilno naravno luskasto strukturo, ki je bila ugotovljena npr. z vrtino v Dolenjskih Toplicah (P r e m r u et al., 1977), kjer so jurske plasti narinjene na kredne. Lahko bi torej hipotetično govorili o krovni zgradbi izhajajoči iz ločilne ploskve z domnevним kombiniranim narivnim nizom (P l a c e r, 1982), kot je prikazan na sl. 4b.

Iz profila 1-1 na sl. 2 in 3 je mogoče tudi sklepati, da je negativna anomalija Mohorovičičeve diskontinuitete 45 km na sl. 5 (povzeto po C a r u l l i j u et al., 1990, sl. 3) na razmeroma ozkem prostoru med Tržaškim zalivom in Ljubljansko kotlino, nastala zaradi izostatičnega ugrezanja območja, kjer so krovne enote nakopičene ena vrh druge. Obseg anomalije v smeri NW-SE pa ustreza legi in razprostranjenosti Trnovskega pokrova. Karto, ki jo podajajo Carulli et al. smo uporabili zato, ker je bolj graduirana od Strukturne karte Mohorovičičeve diskontinuitete (D r a g a š e v i c et al., 1989) za območje Jugoslavije. V korenu krovnih enot pa nasprotno opažamo izostatični dvig mehke posteljice iz nekompetentnih karbonskopermskih plasti pod mezozojskimi skladi. Opisani odnos med krovno zgradbo in Mohorovičičevo diskontinuiteto je ponazorjen na profilu na sl. 6, ki je istoveten s profilom 1-1, le da smo pri njegovi konstrukciji uporabili realno stanje s sl. 1, vendar brez Idrijskega preloma, saj obravnavamo le krovno zgradbo. Anomalija jugovzhodno od Trnovskega pokrova je sicer nekoliko blažja (40 km), vendar še vedno poudarjeno izraža izostatični ugrezek narinjenih enot in dvig na območju Posavskih gub. Izdanjanje karbonskopermskih plasti v Polhograjsko-Škofjeloškem hribovju in na območju Posavskih gub ima torej logično razlago. Dopolnimo jo lahko tudi z dvigom Posavskih gub znotraj Savskega kompresijskega klina (P l a c e r, 1998, ta revija).

Iz navedenega moremo sklepati, da pripadajo karbonskopermske plasti osrednje Slovenije v celoti Zunanjim Dinaridom. Tako je menil že B u s e r (1979).

Pri iskanju pravega odgovora na vprašanje o poteku Južnoalpske meje vzhodno od Medvod, stojimo kljub razrešitvi vprašanja o pripadnosti karbonskopermskih plasti dvema strukturnima enotama pred dilemo, ki je na podlagi danes znanih podatkov še ne moremo zadovoljivo rešiti. Pojavlja se več vprašanj, prvo se dotika starosti krovne narivanja, drugo pa notranje zgradbe krovnih enot. Dinarski pokrovi so povezani z genezo eocenskih flišnih plasti, torej se je ciklus tega narivanja verjetno zaključil konec eocenske dobe. Južnoalpski pokrovi prekrivajo dinarske in so po normalni logiki lahko le mlajši. V Posavskih gubah tvorijo mezozojske kamnine eno ali več obsežnih krovnih enot, ki so bile narinjene pred odložitvijo trboveljskih plasti (P l a c e r, 1998, ta revija; prvotno soteške plasti, nato psevdosoteške plasti - J e l e n et al., 1992) v srednjem ali zgornjem oligocenu. Logično bi torej bilo, da bi eno ali več krovnih enot, ki obsegajo celotne Posavske gube vzporejali z dinarskimi pokrovi, vendar jih v facialnem smislu lahko primerjamo le s kamninami Slovenskega bazena in njegovega obrobja zahodno od Škofje Loke in Kranja.

Nadalje obstaja vprašanje starosti Julijskega pokrova kot smo poimenovali pokrov Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp. Le-tega sta G r a d & F e r j a n č i c (1976) imenovala Jelovski pokrov, M i o č (1981) Julijsko-Savinjski pokrov, M i o č (1983) in P r e m r u (1983b) Savinjski nariv, J u r k o v š e k (1987b) pokrov Julijskih Alp,

B u s e r (1986) Krnski pokrov, K r y s t y n et al. (1994) v nekoliko modificirani obliki pa Krnski oziroma Pokljuški pokrov. V tem prispevku smo kljub pravici prvega prevzeli Miočev predlog in ga modificirali v Julijski pokrov, ki obsega Julijske in Kamniško-Savinjske Alpe. Na starost Julijskega pokrova lahko le posredno sklepamo po odnosu krovnega nariva v Julijskih Alpah do oligocenskih plasti Ljubljanske kotline, ki izdajajo na njenem celotnem območju in jo po podatkih Osnovne geološke karte, listov Celovec (B u s e r & C a j h e n, 1978) in Kranj (G r a d & F e r j a n č i č, 1974) pod kvartarnimi naplavinami prekrivajo skoraj v celoti. Zato bi lahko sklepali, da je z oligocenskimi plastmi prekrita tudi narivna ploskev Julijskega pokrova, če se spusti pod oligocenske plasti Ljubljanske kotline. Razmere v Kamniško-Savinjskih Alpah so na prvi pogled drugačne, vendar interpretacija s krovnimi narivi na oligocenske plasti na listu Celovec (B u s e r & C a j h e n, 1978, profil C-D) ali na listu Ljubljana (P r e m r u 1983a, profil A-B) ni dokazana. Dokazljivi so le manjši narivi postsarmatske, po vsej verjetnosti postsrednjepliocenske starosti, ki so posledica kompresije znotraj Savskega kompresijskega klina in krčenja prostora. Na podlagi teh ugotovitev menimo, da bi se Kamniško-Savinjske in Julijske Alpe lahko narinile na pelagične sedimente Slovenskega bazena že pred srednjim, oziroma zgornjim oligocenom tako kot ena ali več krovnih enot v Posavskih gubah in kot velja tudi za osrednji del Južnih Alp (D o g l i o n i & B o s e l l i n i, 1987). Med koncem eocena in srednjim do zgornjim oligocenom bi bilo lahko dovolj časa za formiranje Južnoalpske krovne zgradbe. Po drugi strani pa B u s e r (1980), P r e m r u (1980) ter P o l i n s k i & E i s b a c h e r (1992) uvrščajo pokrove Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp v neogen. Vprašanje ni preprosto. Rešiti ga bo mogoče le z obsežnimi raziskavami. Vsekakor imajo oligocenske plasti pri Bohinju, na Veliki Planini in na Kopišču ob Kamniški Bistrici za ugotavljanje starosti Julijskega pokrova velik pomen. Pripomniti pa velja, da je ločevanje nastanka Julijskega pokrova od Južnoalpske meje nelogično in izvira iz pomanjkljive strukturne faktografije območja Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp.

Glede notranje zgradbe krovnih enot in smeri narivanja smo že dejali, da je zahodno od Ljubljanske kotline mogoče na podlagi južnoalpskih (W-E) in dinarskih (NW-SE) elementov strukture ločiti dinarsko od južnoalpske krovne zgradbe. Zato bi pričakovali, da so na sorazmerno kratki razdalji vzhodno od Ljubljanske kotline razmere enake ali vsaj podobne. Vendar je struktura drugačna. Njena drugačnost je povezana z genezo Posavskih gub znotraj Savskega kompresijskega klina (P l a c e r, 1998, ta revija), zaradi česar so se le-te močno nagubale v smeri W-E, pri čemer so se dinarske krovne strukture navzven močno zabrisale. Da bi lahko ugotovili potek Južnoalpske meje, bi morali analizirati notranjo strukturo mezozojskih kamnin na območju Posavskih gub. Ker smo na novo skartirali le širše območje Laške sinklinale, smo opravili le analizo vpadov debeloplastnatega srednjetriasnega in glavnega dolo-mita ter dachsteinskega apnenca na tem območju, saj se v debeloplastnatih kamninah odražajo regionalni vidiki deformiranja razmeroma neodvisno od krajevnih vplivov. Te kamnine nastopajo zahodno od Kuma. V severnem krilu Laške sinklinale jih najdemo na Rebri nad Kolovratom severozahodno od Izlak, v južnem krilu pa med Kumom in Slemškom nad Vačami. V južnem krilu sinklinale vpadajo plasti generalno proti zahodu do zahodu-severozahodu, v severnem krilu pa proti jugozahodu do jugo-jugozahodu. S preprosto rotacijo okoli osi W-E, ki je vzporedna osi gubanja, je mogoče ugotoviti, da ležijo poli plasti enega in drugega krila sinklinale v isti ravnini (sl. 7), smer plasti v temenu sinklinale, ki je konstruirana pa je dinarska (NW-SE). Poleg strukturnega obstoja tudi facialni vidik. Značilni kondenzirani profil gróden-

skih in belerofonskih plasti v useku avtoceste pri Višnji Gori (Skaberne, ustna izjava) smo odkrili tudi v Borovniškem peskokopu v Kisovcu v Laški sinklinali, kar bi kazalo na isti sedimentacijski prostor. Lega zgornjetriasnih plasti in razvoj permških plasti bi lahko služila za dokaz, da pripadajo mezozojske kamnine v Posavskih gubah, ali vsaj del južno od Trojanske antiklinale, Zunanjim Dinaridom. Za potrditev takega sklepa pa bi morali analizirati celotne Posavske gube. Zato temu podatku ne moremo pripisovati odločilnega pomena.

Z upoštevanjem elementov starosti krovnega narivanja in notranje zgradbe krovnih enot, se še nismo približali jasnemu odgovoru o poteku meje Južnih Alp vzhodno od Ljubljanske kotline. Ugotovili pa smo, da je krovna zgradba v Posavskih gubah pedsrednje do predzornjeoligocenske starosti, da je Julijski pokrov enake ali pa postsarmatijske starosti in da je Južnoalpska narivna meja ob kateri so se kamnine Slovenskega bazena narinile proti jugu zahodno od Ljubljanske kotline časovni ekvivalent krovne zgradbe Posavskih gub, saj oligocenski sedimenti v okolici Medvod prekrivajo Južnoalpsko mejo. Glede na povedano obstojata o poteku Južnoalpske meje vzhodno od Ljubljanske kotline dve varianti, od katerih ima vsaka nekaj prednosti in nekaj slabosti. Obe sta prikazani na sl. 8.

Po varianti 8a poteka meja Južnih Alp po severnem robu karbonskopermskega jedra Trojanske antiklinale, po varianti na sl. 8b pa po severnem robu karbonskopermskega jedra Litijske antiklinale, pri čemer je v Južne Alpe vključena tudi Preveška tektonska krpa (po Preveškem hribu nad Polšnikom, 873 m). Po prvi varianti bi k Južnim Alpam spadali zgornjetriasni, jurski in kredni pelagični sedimenti Slovenskega bazena, medtem ko naj bi triasne kamnine v podlagi in krilih Laške sinklinale pripadale najvišjemu pokrovu dinarske proveniencije. Na to bi kazala lega plasti zahodno od Kuma. Ta varianta sicer upošteva strukturni vidik lege plasti in podoben razvoj kondenziranih grōdenskih in belerofonskih plasti v Kisovcu in pri Višnji Gori, pa tudi diskordantno lego krednih globljemorskih plasti na triasnih platformnih karbonatih, kar je značilno za notranji pas Zunanjih Dinaridov. Vendar ne smemo zanemariti pomanjkljivosti, da smo analizirali lego plasti na majhnem delu Posavskih gub, in da kaže razvoj mezozojskih plasti na tem območju bolj na postopen prehod od pretežno karbonatnega faciesa srednje in zgornjetriasnih plasti na jugu do klastičnega in pelagičnega razvoja na severu kot pa na obsežno tektonsko prekinitev, če bi Južnoalpska meja potekala po severnem robu Trojanske antiklinale. Zato smo se pri tem stanju raziskanosti odločili za varianto 8b kot delovno hipotezo, ki je sicer skladna s K o s s m a t o v i m (1913) in W i n k l e r j e v i m (1923) razumevanjem povezave obravnavane narivne ploskve med zahodnim in vzhodnim obrobjem Ljubljanske kotline, vendar iz različnih teoretskih izhodišč.

Dileme v zvezi z obravnavanim vprašanjem so širše. Tičejo se formacijskih in strukturnih vprašanj (geometrijskih in kinematskih), paleomagnetizma, palinspastike, paleogeografije in globalne tektonike. Zato je potreba po kompleksnem pristopu k reševanju te problematike na Slovenskem morda najbolj akutna in bi morala biti neposredno povezana z vsestransko obdelavo v okviru geološke karte 1:50.000. Nejasnost ni povezana samo s potekom Južnoalpske meje vzhodno od Ljubljanske kotline, temveč tudi z vprašanjem njenega globalnega pomena. Danes zaradi nezadostne raziskanosti ne moremo ugotoviti ali se nadaljuje v Srednjetransdanubijsko cono ali pa zavije proti jugovzhodu. Na podlagi prevladujočih globalnih pogledov na genezo Pannonske udorine (npr. C s o n t o s et al., 1992; H o r v á t h & T a r i, 1998), smo v tej razpravi uporabili prvo varianto, ki pa je zgolj hipotetična. Orientirali smo se po mezozojskem ofiolitnem melanžu Kalnika in Medvednice, ki ju sicer ne moremo nepo-

sredno povezovati z globljemorskimi kamninami Posavskega in Krškega hribovja ter Gorjancev, menimo pa, da pripadajo v širšem smislu Notranjim Dinaridom.

Ob tej priliki bi opozorili na mnenje *Premruja* (1980), *Doglionija & Siorpaea* (1990) ter *Polinskega & Eisbacherja* (1992) o genezi zamika med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi iz česar izhaja, da v Južnih Alpah lahko pričakujemo relikte dinarsko usmerjenih elementov strukture. Zaradi tega je izbrana varianta 8b v tem trenutku primernejša.

Omeniti pa velja še domnevo *Slejk a et al.* (1986) in *Carullija et al.* (1990), da je Južnoalpska meja zahodno od Idrijskega preloma še aktivna. Misel je povezana z nasledstvenimi učinki in kaže na kompleksnost ugotavljanja starosti disjunktivnih struktur na prostoru, ki je preстал več tektonskih faz.

Diskusija

Geotektonska rajonizacija slovenskega ozemlja temelji na dveh megadisjunktivnih strukturah, Periadriatskem lineamentu in Južnoalpski meji ter na notranje heterogeni in ne povsem jasno zamejeni Panonski udorini. Zaradi tega je enostavneje govoriti o Panonskem bazenu, čeprav se na žalost v njem ne odraža le geometrija Panonske udorine, temveč tudi mejnih ozemelj z elementi nasledstvenih deformacij, ki z udorino niso genetsko povezane.

Cilj pričujoče razprave ni podrobna genetska, temveč generalna formalna tektonska rajonizacija Slovenije in določitev najpomembnejših tektonskih enot regionalnega pomena, ki temeljijo na globalnih principih in na krovni zgradbi izhajajoči iz geometrije ločilne (detachment) tektonike.

1. Vzhodne Alpe obsegajo območje metamorfnih kamnin in območja mezozojskih karbonatnih kamnin (Dravski niz in ostalo). Dravski niz sega na naše ozemlje kot Severne Karavanke in njihovi vzhodni relikti pri Mislinji in Zrečah.

2. Dinaridi so od Vzhodnih Alp razmejeni s Periadriatskim lineamentom. Delimo jih na Južne Alpe ter Zunanje in Notranje Dinaride.

2a. Južne Alpe ležijo med Periadriatskim lineamentom in Južnoalpsko mejo. Njihova pomembna strukturna enota je Periadriatska tektonska cona (*Jelen et al.*, 1997; *Placer*, 1998, ta revija) med Periadriatskim lineamentom in Savskim prelomom. V tem članku se ne ukvarjamo poglobljeno z vprašanjem krovne zgradbe Južnih Alp, podajamo pa nekaj splošnih izhodišč, ki bi jim morali v bodoče posvetiti vso pozornost. Kljub premiku ob Savskem prelomu najsi je 25, 40 ali 65-70 km (*Placer*, 1996b), moramo Julijske in Kamniško-Savinjske Alpe obravnavati kot enoten tektonski objekt v katerem zavzemajo osrednje mesto kamnine Slovenskega bazena. Te po *Krystyn u et al.* (1994) nastopajo v Tolminskem pokrovu, ki leži pod Julijskim pokrovom. Glede na razprostranjenost slednjega ugotavljamo, da je ta na jugu narinjen na kamnine Slovenskega bazena (Tolminsko, Baška grapa, Selška dolina, Županje Njive pri Kamniku, dolina Črne pri Kamniku), na severu na območju lista Ravne pa leži na kamninah spodnje do srednjetriasne starosti, morda tudi zgornjetriasne (*Mioč*, 1983; *Mioč & Žnidarčič*, 1983). To navaja na misel, da tvorijo kamnine s severnega obrobja Julijskega pokrova podlago, ponekod pa tudi bočni ekvivalent sedimentov Slovenskega bazena in pripadajo verjetno Tolminskemu pokrovu tako kot kamnine Slovenskega bazena. Zaradi hipotetičnosti te domneve navajamo „Tolminski pokrov“ v takem obsegu v narekovajih. Na listu Ravne ležijo na območju Podolševe spodnjetriasne kamnine „Tolminskega pokrova“ tektonsko na

karbonskih klastitih, ki predstavljajo mehko posteljnico Južnih Alp. Ta enota poleg paleozojskih zajema na listih Celovec ter Beljak in Ponteba tudi spodnje in srednjetriasne plasti, sama narivna ploskev nasproti „Tolminskemu pokrovu“ pa je verjetno skrita znotraj iste formacije. Kamnine, ki bi jih lahko prištevali k paleozojski podlagi „Tolminskega pokrova“, se nahajajo tudi južno od Savskega preloma nad Kranjsko goro in Ratečami (J u r k o v š e k, 1987a) nad njimi pa nastopajo spodnje in srednjetriasne plasti „Tolminskega pokrova“, ki se po geološki karti s Strukturnega modela Italije (B i g i e t al., 1990) vlečejo v ozkem pasu ob južni strani Belškega preloma daleč proti zahodu. Na Strukturnem modelu je meja teh plasti nasproti zgornjetriasnim normalna, vendar domnevamo, da obstojajo tu enake razmere kot na listu Beljak in Ponteba (J u r k o v š e k, 1987a, profil A-B), zato tudi tu predvidevamo obstoj „Tolminskega pokrova“, medtem ko se paleozojske plasti pojavljajo le na območju Kranjske gore in Rateč. K „Tolminskemu pokrovu“ spadajo tudi mezozojske kamnine Posavskih gub, ki smo jih z določitvijo poteka Južnoalpske meje po severnem robu Litijske antiklinale reducirali na eno krovno enoto. Vendar moramo tako rešitev obravnavati hipotetično.

Paleozojske kamnine mehke posteljice južnih Karavank in triasne kamnine karavanškega pasu „Tolminskega pokrova“ med Savskim prelomom in Periadriatskim lineamentom so B u s e r (1980), M i o č (1983) in J u r k o v š e k (1987a) uvrstili v Južnokaravanško enoto, ki naj bi zajemala tudi spodnje in srednjetriasne plasti. Glede na pomen paleozojske podlage predlagamo zanjo termin Javorniška enota po Javorniškem Rovtu nad Jesenicami.

Glede na predstavljena izhodišča nastopajo v Južnih Alpah Javorniška in Košutina enota ter „Tolminski“ in Julijski pokrov. Javorniška enota je mehka posteljnica Južnih Alp. Košutina enota je tektonska leča iz mezozojskih kamnin med Periadriatskim lineamentom in več prelomi znotraj Periadriatske tektonske cone (B r e n č i č e t al., 1995), ki so imeli tekom razvoja slednje različno dinamsko vlogo. „Tolminski“ in Julijski pokrov sta krovni enoti narinjeni generalno od severa proti jugu na Zunanjo Dinaride. Boskovec, Paški Kozjak, Konjiška gora, Boč in Ravna gora so strukturno del Južnih Alp, po kamninski sestavi smo jih hipotetično uvrstili v „Tolminski pokrov“. Po kamninski sestavi bi bila Košutina enota v Karavankah lahko del Julijskega pokrova, ki je znotraj Periadriatske tektonske cone močno tektonsko preoblikovana. Vendar tega v shemi rajonizacije zaradi hipotetičnosti nismo upoštevali.

Julijski in „Tolminski“ pokrov sta v smeri W-E skledasto usločena, kar je mogoče povezati z regionalno komprimacijo. Meja med Javorniško enoto in „Tolminskim pokrovom“ bi lahko bila istovetna z narivno ploskvijo Južnoalpske meje. Južnoalpska narivna meja je hkrati tudi južna meja „Tolminskega pokrova“.

2b. Zunanji Dinaridi so nasproti južnim Alpam zamaknjeni za 30° do 45° in pod slednje podrinjeni. Sestavljeni so iz treh pasov: a - iz zunanjega paravtohtonega z ohranjenimi terciarnimi sedimenti v jedrih sinformnih struktur (Kraški naluskani prag, Komenska narivna gruda), b - iz osrednjega alohtonega dela, kjer so terciarni sedimenti le izjemoma ohranjeni (Snežniški, Hrušiški, Trnovski pokrov ter nerazčlenjena narivna zgradba severovzhodno od Hrušiškega pokrova), in c - iz notranjega alohtonega pasu, ki predstavlja prehodno območje med Zunanji in Notranji Dinaridi oziroma t.i. pregibno zono (P l e n i č a r & P r e m r u, 1975), ki jo nekateri avtorji uvrščajo v Notranje Dinaride. Zanj je značilna migracija pelagiala skozi zgornji trias, juro in kredo. Posebno lego v Zunanjih Dinaridih ima Trnovski pokrov, ki je le skrajni jugovzhodni vidni del večjega pokrova, podrinjenega pod Južne Alpe. Izjemna je njegova lega in zgradba, saj se na njegovem severozahodnem robu prične

degradacija dinarske karbonatne platforme že v zgornji kredi. Ker se degradacija pojavlja najprej v Trnovskem pokrovu sodimo, da je ta podatek eden pomembnejših za študij palinspastike Dinaridov. Na sl. 1 so poleg Trnovskega pokrova izrisane tudi narivne meje Hrušiškega pokrova, Snežniške in Komenske narivne grude ter Kraškega naluskanega praga, kot smo ustrezneje preimenovali Čičarijsko naluskano zgradbo (P l a c e r, 1981). Slednja ima vlogo narivnega čela Zunanjih Dinaridov. Meje narivnih enot severovzhodnega dela Zunanjih Dinaridov niso izrisane, ker njihov potek še ni analitično proučen.

○ Karbonskopermske plasti v Posavskih gubah so del Zunanjih Dinaridov.

2c. Prehodno območje med Zunanjsimi in Notranjsimi Dinaridi. Na območju Slovenije v megatektonskem smislu ni Notranjih Dinaridov. Obstaja le prehodno območje med Zunanjsimi in Notranjsimi Dinaridi, kjer so jurski in kredni pelagični sedimenti odloženi diskordantno na triasnih in starejših kamninah Zunanjih Dinaridov ali pa zgornjetriasni šelf polagoma prehaja v pelagial (O g o r e l e c & D o z e t, 1997), zaradi česar nekateri prehodno območje uvrščajo v Notranje Dinaride. Na območju Posavskih gub je prehodno območje med Notranjsimi in Zunanjsimi Dinaridi podrinjeno pod podobne kamnine Slovenskega bazena oziroma Južnih Alp. Odprto ostaja vprašanje pripadnosti podlage globokomorskih sedimentov Medvednice in Kalnika, saj po vsej verjetnosti pripada posebni strukturni enoti znotraj Srednjemadžarske tektonske cone, zato ju v tektonskem smislu nismo uvrstili. Podobne težave povzročata južno pobočje Ivančice, če je hipotetična Južnoalpska meja na tem mestu postavljena pravilno.

Južnoalpska narivna meja loči podobne ali enake kamnine Trnovskega pokrova in prehodnega območja med Notranjsimi in Zunanjsimi Dinaridi od Slovenskega bazena. V času nastajanja so bile te kamnine bolj ali manj daleč narazen. Razdaljo med paleogeografskimi enotami v času sedimentacije bo mogoče oceniti po palinspastični rekonstrukciji tektogeneze Dinaridov, po detajlni kinematski in dinamski analizi megastrukturnih enot in po detajlni analizi faciesov.

3. Jadransko ali Apulijsko predgorje je avtohton dinarske narivne in krovne zgradbe. Skupaj z Zunanjsimi Dinaridi je podrejeno pod Južne Alpe.

4. Panonski bazen je heterogena tektonska enota. Njegovo podlago sestavljajo vzhodni oziroma vzhodno-severovzhodni podaljški vzhodnoalpskih in dinarskih geotektonskih enot, ki so pogreznjene pod terciarne sedimente Paratetide. Po H a a s u et al. (1995) sestavljajo te enote obsežne srednjealpske terrane, sestavljene pretežno iz kontinentalne skorje; Vzhodnoalpskega iz metamornih kamnin, Transdanubijskega iz kamnin Dravskega niza oziroma Severnih Karavank, Srednjetransdanubijskega iz kamnin Južnih Alp in Tisinega iz kamnin z evropskimi favnističnimi elementi. Iz interpretacije Transdanubijskega in Srednjetransdanubijskega terrana sledi, da tvori mejo med njima Balatonski lineament, ki je podaljšek Periadriatskega lineamenta vzhodno od Labotskega preloma. Na ozemlju Slovenije je Balatonski lineament označen kot Ljutomerski prelom. Mejo med Transdanubijskim in Vzhodnoalpskim terranom tvori Rabski prelom (H a a s et al., 1995; H o r v á t h & T a r i, 1998), ki naj bi bil tudi izvorna struktura Severnokaravanskega nariva. Na karti na sl. 1 Rabski prelom ni narisan, ker njegov potek na obravnavanem ozemlju na Osnovni geološki karti (listi Goričko in Leibnitz, Maribor, Čakovec in Rogatec) ni določen.

Zgradba Periadriatske tektonske cone se odraža v različnem razvoju terciarnih plasti severno in južno od te cone in znotraj nje (J e l e n et al., 1992, 1997). Ta raznolikost je odsev njene tektogeneze, ki so jo natančneje obdelali F o d o r et al. (1998).

Sklep

Predlagana shema makrotektonske rajonizacije je delovna in je predstavljena kot osnova za razpravo o tektonski zgradbi Slovenije. V njej smo skušali podati tiste elemente globalne in krovne tektonike ozemlja na stičišču treh megastruktur, ki predlagano shemo osvetljujejo. Od teh so najpomembnejši:

1. Paleozojske plasti nastopajo v strukturno najbolj dvignjenih delih, za kar podajamo kinematsko in dinamsko razlago: a - v izostatsko močno dvignjenem korenu Trnovskega pokrova, b - v močno stisnjeni in iztisnjeni Periadriatski tektonski coni in c - v izostatsko dvignjenih Posavskih gubah, ki so bile poleg tega, tako kot Periadriatska tektonska cona, v okviru Savskega kompresijskega klina dvignjene nad okolne strukture.

2. Značilno zgradbo Zunanjih Dinaridov in razprostranjenost Trnovskega pokrova potrjuje negativna anomalija Mohorovičićeve diskontinuitete na koti 45 km.

3. Pomen Južnoalpske meje je v celoti razviden šele tedaj, ko jo obravnavamo v širšem cirkumadriatskem prostoru. Na stiku med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi jo je mogoče oceniti po legi Trnovskega pokrova in nenavadni dvojni narivni strukturi Blegoša.

4. Težave pri določitvi poteka Južnoalpske meje vzhodno od Ljubljanske kotline so povezane z deformacijami znotraj Savskega kompresijskega klina in strukturno pomanjkljivo geološko osnovo v merilu 1:100.000.

Vprašanja, ki so ostala odprta so pomembna za palinspastično rekonstrukcijo geneze Dinaridov in Panonskega bazena. Tako je npr. 1. vprašanje poteka Južnoalpske meje vzhodno od Ljubljanske kotline, saj za palinspastiko tega prostora ni vseeno ali zavija le-ta ob severnem robu Litijske antiklinale proti vzhodu-severovzhodu ali proti jugovzhodu. Od tega je odvisna končna izbira variante 8a ali 8b (sl. 8) ali pa katere druge. 2. Vprašanje poteka te meje je pomembno tudi za razlago vloge psevdofiljskih plasti na območju Blegoša v Poljansko-Vrhniških nizih in v severnem krilu Laške sinklinale v Posavskih gubah, kar je ena od zagonetk mejnega ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi.

Nazadnje nam ostane še primerjava z nekaterimi interpretacijami zgradbe Slovenskega ozemlja, ki so nastale na podlagi kartiranja za Osnovno geološko karto. Mislimo predvsem na Miočevo idejo o Savskem pokrovu in zgradbi prehodnega ozemlja med Vzhodnimi in Južnimi Alpami ter na Premrujevo interpretacijo osrednje Slovenije, čeprav smo o tem že razpravljali (P l a c e r, 1998, ta revija). Ker je v tem prispevku predstavljena rajonizacija delovna, se ne bomo spuščali v detajlno analizo razlik. Omejili se bomo le na izhodišča posameznih hipotez, ki so bistveno različna, kot se razlikujejo tudi interpretacije. Mioč v svojih delih uvaja dve novosti, Savski pokrov (M i o č, 1976, 1981) in idejo o novoti narivni zgradbi Južnih in Severnih Karavank (M i o č, 1986, 1997). O Savskem pokrovu smo že dejali, da naj bi zajemal paleozojske in mezozojske plasti Posavskih gub ter Škofjeloško-Polhograjskega in Žirovskega ozemlja. Porinjen naj bi bil proti jugu na karbonatni šelf Zunanjih Dinaridov. Zapisali smo tudi, da ne moremo enačiti karbonskopermskih skladov Škofjeloško-Polhograjskega ozemlja, ki ležijo na, in enakih skladov v Posavskih gubah pod mezozojskimi plastmi južne Slovenije, oziroma takoimenovanim karbonatnim šelfom. Poleg tega paleozojske plasti pri Ortneku ne predstavljajo tektonskih krp, temveč erozijska okna pod mezozojskimi plastmi. Zaradi teh dejstev, ki imajo faktografsko težo, idejo o Savskem pokrovu v celoti zavračamo. Zamisel, da je Severnokaravanski nariv povezan z narivom paleozojskih plasti v Južnih Karavankah, takoimenovanim

Južnokaravanskim narivom, porinjenim od juga proti severu na Košutino enoto sloni na ideji *F r i s c h a* (1978), ki je menil, da se je po koliziji Jadranske plošče z Vzhodnimi Alpami prva na slednje narinila. To idejo so povzeli tudi pisci geološke zgradbe Avstrije (*O b e r h a u s e r*, 1980). O tej ideji bo mogoče argumentirano razpravljati, ko bodo končane sedanje raziskave Severnih Karavank in Periadriatske tektonske cone, katerih delne rezultate so objavili *P l a c e r* (1996a), *J e l e n* et al. (1997) in *F o d o r* et al. (1998).

P r e m r u (1974, 1975, 1980, 1983a, 1983b) je v svojih delih, posebej pa v razpravi o zgradbi osrednje Slovenije (1980), obdelal najbolj občutljivi del v tem prispevku obravnavanega ozemlja zahodno in vzhodno od Ljubljanske kotline. Njegovo kinematsko izhodišče o zgradbi Posavskih gub je povsem drugačno od našega in smo ga kritično že obdelali v razpravi o Posavskih gubah (*P l a c e r*, 1998, ta revija), zaradi česar analize tukaj ne bomo ponavljali. Glavna pomanjkljivost njegove ideje je, da v bistvenih delih zanika faktografijo elementov strukture, na kar je *K u š č e r* (1975) že opozoril. Zaradi tega moramo njegovo narivno interpretacijo zavrniti. Poudariti pa je treba, da je na podlagi podatkov Osnovne geološke karte Jugoslavije prvi podrobneje obdelal stik med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi na območju osrednje Slovenije, da je v tem prostoru prvi uporabil strukturno-facialno analizo in da je prvi opozoril na pomen transformnih prelomov pri interpretaciji geneze paleosedimentacijskih prostorov v Dinaridih in njihovega mesta v sedanji zgradbi. Transformnih prelomov v tem prispevku nismo obravnavali, pomenijo pa tudi po naših raziskavah enega bistvenih elementov razumevanja zgradbe alpsko-dinarsko-panonskega prostora.

Zahvala

Za skrben pregled članka in izredno koristne pripombe se zahvaljujem dr. Špeli Goričan in dr. Katici Drobne. Za korekten prevod v angleščino se zahvaljujem prof. dr. Simonu Pircu.

References

- Bigi, G., Cosentino, D., Parotto, M., Sartori, R. & Scandone, P.* 1990: Structural model of Italy 1:500.000, sheet 2. Consiglio nazionale delle ricerche.
- Brenčič, M., Budkovič, T., Ferjančič, L. & Poltnig, W.* 1995: Hydrogeologie der Westlichen Karawanken. - Beiträge zur Hydrogeologie, 46, 5-42, Graz.
- Buser, S.* Geološka karta Slovenije 1:250.000. Geološki zavod Slovenije, in print.
- Buser, S. & Draksler, V.* 1993: Slovenija, Geološka karta 1:500.000. Geodetski zavod Slovenije.
- Carulli, G. B., Nicolich, R., Rebez, A. & Slejko, D.* 1990: Seismotectonics of the Northwest External Dinarides. - Tectonophysics, 179, 11-25.
- Csontos, L., Nagymarosy, A., Kovacs, M. & Horvath, F.* 1992: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. - Tectonophysics, 208, 221-241.
- Dogliani, C. & Bosellini, A.* 1987: Eoalpine and mesoalpine tectonics in the Southern Alps. - Geologische Rundschau 76/3, 735-754, Stuttgart.
- Dogliani, C. & Siorpaes, C.* 1990: Polyphase deformation in the Col Bechei area (Dolomites - Northern Italy). - Eclogae geol. Helv., 83/3, 701-710, Basel.
- Dragašević, T., Andrić, B. & Joksović, P.* 1989: Strukturna karta Mohorovičićeve diskontinuitete (Structural map of Mohorovičić discontinuity) 1:500.000. Rudarsko-geološki zavod, Beograd.
- Fodor, L., Jelen, M., Marton, E., Skaberne, D., Čarj, J. & Vrabec, M.* 1998: Miocene - Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault. Implications for Alpine - Carpathian extrusion models. - Tectonics, 17/5, 690-709.

Frisch, W. 1978: A Plate tectonic model of the Eastern Alps. Inter Union Commission on Geodynamics Scientific Report, 38, 167-173, Stuttgart.

Haas, J., Kovács, S., Krystyn, L. & Lein, R. 1995: Significance of Late Permian-Triassic facies zones in terrane reconstructions in the Alpine-North Pannonian domain. - *Tectonophysics*, 242, 19-40.

Horváth, F. & Tari, G. 1998: Overview of the Alpine Evolution of the Pannonian Basin. Sedimentary Basins - Models and Constrains, Proceedings of the International School Earth and Planetary Sciences, 121-134, Siena.

Jelen, B., Aničić, B., Brezigar, A., Buser, S., Cimerman, F., Drobne, K., Monostori, K., Kedves, M., Pavšič, J. & Skaberne, D. 1992: Model of positional relationships for Upper Paleogene and Miocene strata in Slovenia. I.U.G.S. - S.O.G. Miocene Columbus Project, Portonovo (Ancona), Abstracts.

Jelen, B., Márton, E., Fodor, L., Báldi, M., Čar, J., Rifelj, H., Skaberne, D. & Vrabec, M. 1997: Paleomagnetic, Tectonic and Stratigraphic Correlation of Tertiary Formations in Slovenia and Hungary along the Periadriatic and Mid-Hungarian Tectonic Zone (Preliminary Communication). - *Geologija*, 40, 325-331, Ljubljana.

Kossmat, F. 1913: Die adriatische Umrandung in der alpinen Faltenregion. - *Mitt. Geol. Gesell.* VI, 61-165, Wien.

Krystyn, L., Lein, R., Schlaf, J. & Bauer, F. 1994: Über ein neues obertriadisch-jurassisches Intraplattformbecken in den Sdkarawanken. Jubiläumsschrift 20 Jahre Geol. Zusammenarbeit Österreich - Ungarn, 2, 409-416, Wien.

Kuščer, D. 1975: Ali so Posavske gube zgrajene iz krovnih narivov? (Gibt es in den Sava-Falten Decken Verschiebungen?). - *Geologija*, 18, 215-222, Ljubljana.

Mioč, P. 1976: Prilog poznavanju tektonskih odnosa granične zone istočnih Posavskih bora i dinarskog šelfa (Contribution to the knowledge of the tectonic relations of the boundary zone of the eastern Sava folds and dinaric shelf). Sekc. za prim. geol. geof i geok. JAZU, II, Znanst. skup 1975, Ser. A, 5, 223-228, Zagreb.

Mioč, P. 1981: Tektonski odnosi savske navlake prema susjednim jedinicama u Sloveniji te njena veza sa širim jugoslovenskim područjem. - *Nafta*, 32, 543-548, Zagreb.

Mioč, P. 1986: Tektonska gradnja terena uzduž Periadriatskog sava u Sloveniji (Tectonical characteristics of the area along the Periadriatic Lineament in Slovenia (Yugoslavia)). Knjiga 3, XI. kongres geologa Jugoslavije, 507-520, Tara.

Mioč, P. 1997: Tectonic Structure Along the Periadriatic Lineament in Slovenia. - *Geol. Croat.*, 50/2, 251-260, Zagreb.

Mlakar, I. 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja (Nappe structure of the Idrija - Žiri Region). - *Geologija*, 12, 5-72, Ljubljana.

Mlakar, I. 1987: Prispevek k poznavanju geološke zgradbe Posavskih gub in njihovega južnega obrobja (A contribution to the knowledge of the geological structure of the Sava folds and their southern border). - *Geologija* 28, 29, 157-182, Ljubljana.

Oberhauser, R. 1980: Die geologische Aufbau Österreichs. Geologische Bundesanstalt, Springer - Ver., Wien, New York, pp. 699.

Ogorelec, B. & Dozet, S. 1997: Upper Triassic, Jurassic and Lower Cretaceous Beds in Eastern Sava folds - Section Laze at Boštanj (Slovenia). - *Rudarsko-metalurški zbornik*, 44/3-4, 223-235, Ljubljana.

Osnovna geološka karta Jugoslavije (Basic geological map of Yugoslavia) 1:100.000.

LISTI (SHEETS)

Aničić, B. & Juriša, M. 1985a: Rogatec

Basch, O. 1983a: Ivanič-Grad

Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjar, M. & Čakalo, M. 1984a: Črnomelj

Buser, S., Grad, K. & Pleničar, M. 1967: Postojna

Buser, S. 1968: Gorica

Buser, S. 1969: Ribnica

Buser, S. 1978: Celje

Buser, S. & Cajhen, J. 1978: Celovec

Buser, S. 1987: Tolmin in Videm (Udine)

Grad, K. & Ferjančič, L. 1974: Kranj

Jurkovšek, B. 1987a: Beljak in Ponteba

Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1977: Slovenj Gradec

Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1983: Ravne

Mioč, P. & Marković, S. 1998a: Čakovec

Pikija, M. 1987a: Sisak

Pleničar, M. 1968: Goričko in Leibnitz

Pleničar, M., Polšak, A. & Šikić, D. 1969: Trst

Pleničar, M. & Premru, U. 1976: Novo mesto

Premru, U. 1983a: Ljubljana

Savić, D. & Dozet, S. 1985a: Delnice

- Šikić, D., Pleničar, M. & Šparica, M. 1972: Ilirska Bistrica
 Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A. 1978: Zagreb
 Šimunić, A., Pikija, M. & Hećimović, I. 1983: Varaždin
 Žnidarčič, M. & Mioč, P. 1988: Maribor in Leibnitz
 TOLMAČI (GUIDEBOOKS)
 Aničić, B. & Juriša, M. 1985b: Rogatec
 Basch, O. 1983b: Ivanič-Grad
 Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjarić, M. & Čakalo, M. 1984b: Črnomelj
 Buser, S. 1973: Gorica
 Buser, S. 1974: Ribnica
 Buser, S. 1979: Celje
 Buser, S. 1980: Celovec
 Buser, S. 1986: Tolmin in Videm (Udine)
 Građ, K. & Ferjančič, L. 1976: Kranj
 Jurkovišek, B. 1987b: Beljak in Ponteča
 Mioč, P. 1978: Slovenj Gradec
 Mioč, P. 1983: Ravne
 Mioč, P. & Marković, S. 1998b: Čakovec
 Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1989: Maribor in Leibnitz
 Pikija, M. 1987b: Sisak
 Pleničar, M. 1970a: Postojna
 Pleničar, M. 1970b: Goričko in Leibnitz
 Pleničar, M., Polšak, A. & Šikić, D. 1973: Trst
 Pleničar, M. & Premru, U. 1977: Novo mesto
 Premru, U. 1983b: Ljubljana
 Savić, D. & Dozet, S. 1985b: Delnice
 Šikić, D. & Pleničar, M. 1975: Ilirska Bistrica
 Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A. 1979: Zagreb
 Šimunić, A., Pikija, M., Hećimović, I. & Šimunić, A. 1981: Varaždin
 Zvezni geološki zavod, Beograd.
 Placer, L. 1973: Rekonstrukcija krovne zgradbe idrijsko-žirovskega ozemlja (Reconstruction of the Nappe Structure of the Idrija-Žiri Region). - *Geologija*, 16, 317-334, Ljubljana.
 Placer, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije (Geologic structure of Southwestern Slovenia). - *Geologija*, 24/1, 27-60, Ljubljana.
 Placer, L. 1982: Problemi raziskovanja narivne zgradbe Južnih Alp in Dinaridov (Structural problems in investigation of the Southern Alps and the Dinarides). Zbornik radova, 1, X. jubilarni kongres geologa Jugoslavije, 589-603, Budva.
 Placer, L. 1996a: Pecin nariv ob Periadriatskem lineamentu (Peca thrust at the Periadriatic lineament). - *Geologija*, 39, 289-302, Ljubljana.
 Placer, L. 1996b: O premiku ob Savskem prelomu (Displacement along the Sava fault). - *Geologija*, 39, 283-287, Ljubljana.
 Placer, L. 1998: Structural meaning of the Sava folds. - *Geologija*, 41, Ljubljana.
 Placer, L. & Čar, J. 1997: Structure of Mt. Blegoš between the Inner and Outer Dinarides. - *Geologija*, 40, 305-323, Ljubljana.
 Pleničar, M. & Premru, U. 1975: Facielne karakteristike severozapadnih Dinarida (Facial characteristics of northwestern Dinaric Alps). II. god. znanstveni skup sekcije za primjenu geologije, geofizike i geokemije znanstvenog svijeta za naftu JAZU, Zagreb, 1974.
 Polinski, R.K. & Eisbacher, H. 1992: Deformation partitioning during polyphase oblique convergence in the Karawanken Mountains, southeastern Alps. - *Journal of Structural Geology*, 14/10, 1203-1213.
 Premru, U. 1974: Triadni skladi v zgradbi osrednjega dela Posavskih gub (Trias im geologischen Bau der mittleren Savefalten). - *Geologija*, 17, 261-297, Ljubljana.
 Premru, U. 1975: Posavske gube so zgrajene iz narivov (Die Sava-Falten sind aus Überschiebungen gebildet). - *Geologija*, 18, 223-229, Ljubljana.
 Premru, U. 1980: Geološka zgradba osrednje Slovenije (Geologic structure of Central Slovenia). - *Geologija*, 23/2, 227-278, Ljubljana.
 Premru, U., Ogorelec, B. & Šribar, Lj. 1977: O geološki zgradbi južne Dolenjske (On the Geological Structure of the Lower Carniola). - *Geologija*, 20, 167-192, Ljubljana.
 Rakovec, I. 1956: Pregled tektonske zgradbe Slovenije (A survey of the tectonic structure of Slovenia). Prvi jugoslovanski geološki kongres, Bled 1954, 73-83, Ljubljana.
 Slejko, D., Carraro, F., Carulli, B., Castaldini, D., Cavallini, A., Dogliani, C., Nicolich, R., Rebez, A., Semenza, E. & Zanferrari, A. 1986: Seismotectonic model of Northeastern Italy: An approach. Internat. Symp. „Engineering geology problems in seismic areas“, *Geologia applicata e idrogeologia*, XXI/1, 153-165, Bari.
 Winkler, A. 1923: Ueber den Bau der östlichen Südalpen. - *Mitt. Geol. Gesell.*, XVI, 1-272, Wien.

The Classical Pb-Zn Deposits of the Eastern Alps (Austria/Slovenia) Revisited: MVT Deposits Resulting From Gravity Driven Fluid Flow in the Alpine Realm

Nov pogled na klasična svinčevo-cinkova rudišča v Vzhodnih Alpah (Avstrija/Slovenija) - nastanek MVT rudišč zaradi gravitacijskega toka rudonosnih raztopin na območju Alp

Stefan Zeeh¹, Joachim Kuhlemann² & Thilo Bechstädt¹

¹Geologisch-Paläontologisches Institut, Im Neuenheimer Feld 234, 69120 Heidelberg, Germany
²Institut für Geologie und Paläontologie, Sigwartstraße 10, 72076 Tübingen, Germany

Key words: lead-zinc-deposits, Triassic, ore fluid-flow, Carinthia, Slovenia

Ključne besede: svinčevo-cinkova rudišča, trias, tok rudonosnih raztopin, Koroška, Slovenija

Abstract

The stratabound East Alpine lead-zinc deposits in south Austria and northeast Slovenia are hosted by platform carbonates of Triassic age. Ore textures interpreted to be syngenic/synsedimentary supported the model of syngenic/synsedimentary ore formation, favored by many authors for a long time. These „synsedimentary“ ore textures represent in our interpretation internal cavity infills.

Ore-formation commenced after the precipitation of shallow burial carbonate cements. The deep burial diagenetic stage includes two types of saddle dolomite and three types of blocky calcite. The Zn-rich first ore-phase occurred coeval with the first generation of saddle dolomite and shows a distinct succession of different sphalerite-types which can be distinguished by petrographical and geochemical characteristics. The mineralization of sphalerite is accompanied by pyrite, galena, fluorite, and barite.

The second ore-phase was Pb-dominated and appears distinctly after the precipitation of the first generation of saddle dolomite and before precipitation of the first generation of blocky calcite. This second ore phase contains only one type of sphalerite, which shows a characteristic yellow color in transmitted light. Sphalerite with the same optical characteristics and geochemical composition is also related to younger carbonate cements. Fluid inclusion studies indicate formation temperatures of 122 to 159 °C for saddle dolomite and sphalerite of the first ore phase. Formation temperatures of fluorite decreases from the first to the third generation.

The first generation of sphalerite and of saddle dolomite can be followed upsection into Late Triassic/Early Jurassic sedimentary rocks, giving a maximum age of ore emplacement for the first phase of Pb-Zn ore.

Geochemical data for the ore and the host rock indicate the origin of the metals in the crystalline basement rocks. It is suggested that fluids originating in the hinterland to the north (Vindelician-Bohemian massif) migrated southward by gravity driven flow. These fluids leached the metals from the crystalline basement rocks

and ascended, supported by a high heat flow resulting from the onset of rifting in the Alpine realm. Ores formed within the areas of high porosity under distinct geochemical conditions, e.g. the presence of Triassic sulfur.

Kratka vsebina

Svinčevo-cinkova rudišča v južni Avstriji in severovzhodni Sloveniji nastopajo v triasnih platformskih karbonatih. Rudne tekture, ki so jih razlagali kot sinsedimentne, so bile osnova za model singenetsko/sinsedimentnega nastanka rude, ki so ga dolgo časa zagovarjali mnogi avtorji. Po naši interpretaciji so te „sinsedimentne“ rudne tekture interna zapolnitev odprtin.

Ruda je začela nastajati po izločanju diagenetskih cementov. Epigeneza vključuje dva tipa sedlastega dolomita in tri tipe debeložrnatega kalcita. Prva faza orudjenja bogata s Zn je nastopila istočasno s prvo generacijo sedlastega dolomita in kaže jasno zaporedje različnih tipov sfalerita, ki jih lahko ločimo po petrografskih in geokemičnih značilnostih. Izločanje sfalerita spremljajo pirit, galenit, fluorit in barit.

V drugi rudni fazi prevladuje Pb; ta faza jasno nastopa po rasti prve generacije sedlastega dolomita in pred rasto prve generacije debeložrnatega kalcita.

Ta druga rudna faza vsebuje samo en tip sfalerita, ki ima v presevani svetlobi značilno rumeno barvo. Sfalerit z enakimi optičnimi lastnostmi in geokemično sestavo se pojavlja tudi z mlajšimi karbonatnimi cementi.

Raziskave tekočinskih vključkov kažejo za prvo rudno fazo nastanka sedlastega dolomita in sfalerita temperaturo od 122 do 159 °C. Temperatura nastanka fluorita pada od prve proti tretji generaciji.

Prvi generaciji sfalerita in sedlastega dolomita v profilu lahko sledimo v zgornjetriasne in spodnjejurske sedimentne kamnine. Spodnja jura je s tem največja starost prve Pb-Zn rudne faze.

Geokemični podatki za rudo in prikamnino kažejo, da so metamorfne kamnine v podlagi izvorno področje kovin. Verjetno so rudonosne raztopine prihajale proti jugu iz dvignjenega severno ležečega prostora (Vindelicijsko-češki masiv) zaradi gravitacijskega toka.

Te raztopine so izluževale kovine iz metamorfne podlage in se dvignile, podprte z vročim toplotnim tokom, ki je posledica začetka razpiranja v alpskem prostoru.

Rude so nastajale v območjih z višjo poroznostjo, v specifičnih geokemičnih pogojih, kot je na primer prisotnost triasnega žvepla.

Introduction

The Pb-Zn deposits of the Eastern Alps hosted by Mid-Triassic carbonate rocks are believed to be different from Mississippi Valley-type deposits (MVT; S a n g s t e r, 1990), and have been summarized under the term „Bleiberg type“ or „Alpine type“ (M a u c h e r & S c h n e i d e r, 1967; S a n g s t e r, 1976; C e r n y, 1989). This distinction is mainly based on the occurrence of „sedimentary“ ore textures (S c h u l z, 1964; M a u c h e r & S c h n e i d e r, 1967), believed to indicate a synsedimentary origin of these deposits. This paper presents petrographical and geochemical data, which indicate that the „Alpine“ Pb-Zn deposits are normal MVT deposits, formed by precipitation from saline hot brines during burial diagenesis.

Geological setting

The study area in the Drau Range is located in south Austria and northeast Slovenia, where the economically important „Alpine“ lead-zinc deposits, Bleiberg and Mežica, and many other small deposits occur (Fig. 1). These stratabound lead-zinc deposits occur within an approximately 1500 m thick, succession of Triassic carbonate rocks (Wetterstein Formation, Raibl Group; Fig. 2).



Fig. 1. Location of the studied area and the studied Pb-Zn deposits.

The carbonate rocks of the Wetterstein Formation were deposited on carbonate platforms. The Pb-Zn ores commonly occur in the so called „Bleiberg facies“, which occurs at a distance of some hundreds of meters from a reefal facies and represents a cyclically exposed paleotopographic high within a lagoonal/tidal flat area (Z e e h & B e c h s t ä d t, 1994). The characteristic sediments and structures of the Bleiberg facies formed during emersions. They consist of greenish marls (soil products), sedimentary breccias with black pebbles, calcretes, and beds with microkarst porosity (B e c h s t ä d t, 1975a; B e c h s t ä d t & D ö h l e r - H i r n e r, 1983; Z e e h, 1994). They represent lithostratigraphic markers within the 60 m thick Bleiberg facies that facilitate exploration (H o l l e r, 1936; C e r n y, 1989). Sphalerite and galena are the main ore-components. Fluorite, barite, pyrite and blue colored anhydrite are the main accessory minerals (S c h r o l l, 1984).

Ore bodies also occur in stock-shaped dolomite breccias separated by faults from the Bleiberg facies. These breccias contain Zn-rich ores as networks and coarse masses of ore with a metal content of up to 40 % Zn and Pb (C e r n y, 1991).

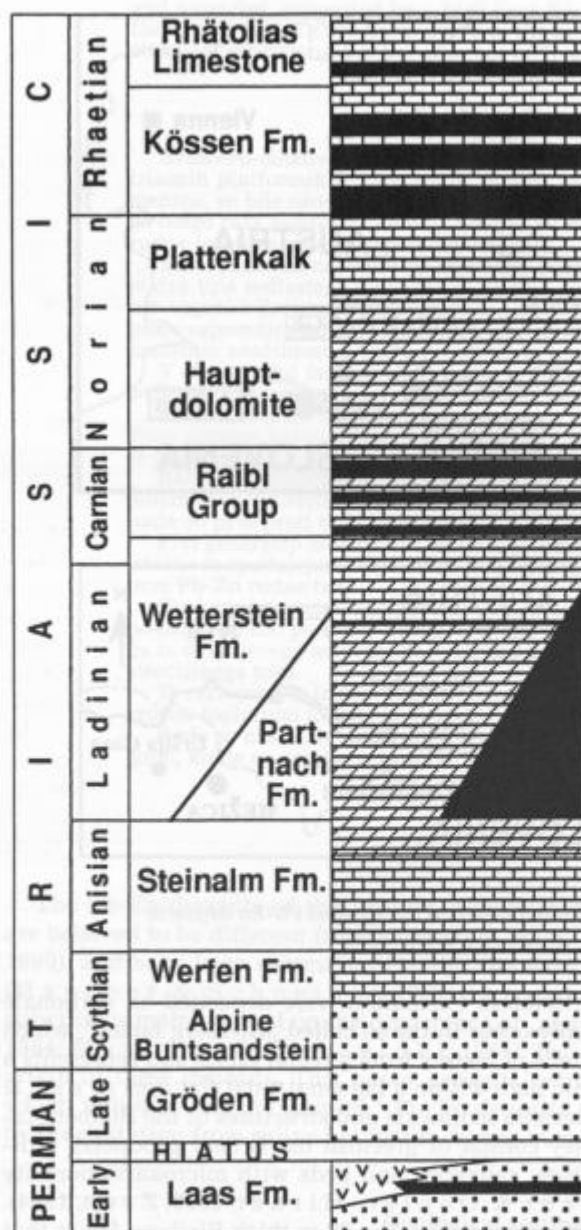


Fig. 2. Occurrence of the studied lead-zinc deposits within the Triassic sediments of the Drau Range.

Ore occurrences within other facies of the Wetterstein Formation are rare. Reefal rocks contain Pb-Zn ores at Mežica (Štruc, 1984), carbonate rocks of a lagoonal facies contain Pb-Zn ores at Jauken, and carbonate rocks of a lagoonal to tidal flat facies contain Pb-Zn ores at Radnig. The carbonate rocks of the Raibl Group also can host ore bodies, but only on top of the paleotopographic highs of the Wetterstein formation.

Methods

Petrographic analysis was done on polished thin sections. Cathodoluminescence (CL) microscopy was performed using a Technosyn 8200 Mk II cold cathode instrument employing a beam voltage of 15 kV and a current of about 550 μ A.

Sulfur isotopic analysis were performed on sphalerite, galena, pyrite, barite, and anhydrite at the Institute Jožef Stefan Ljubljana (Slovenia). Analytical precision was better than 0.2 ‰.

Cold techniques were used for preparation of fluid inclusion samples to prevent overheating and reequilibration of the inclusions. Only a very small percentage of the samples actually contain fluid inclusions, which are also relatively small (<5 to 30 μ m). Fluid inclusions within the various carbonate cements were studied with a Linkam heating/cooling stage. Measurements of homogenization temperature to liquid were made before freezing runs.

Carbonate cements

Carbonate cementation of near surface to shallow burial diagenesis depends on the paleotopography of the Wetterstein platforms (Zeeh et al., 1995). Some parts were always flooded by marine waters while other parts, e.g. Bleiberg facies, became cyclically emerged and were influenced by meteoric fluids. Therefore, the Bleiberg facies contains cements of meteoric and marine regimes (Bechstädte, 1975a; Zeeh et al., 1995), such as dripstone cements, radial-fibrous calcites, and dog-tooth cements.

The changing diagenetic conditions within the Bleiberg facies favor the development of several dolomite-types (Henrich & Zankl, 1986). The shallow burial diagenesis terminated with the precipitation of an idiomorphic pore filling dolomite, which has also replaced the host rock. Carbonate cementation of these near surface to shallow burial diagenetic stages was very limited in the carbonate rocks of the Raibl Group and only some fibrous calcites can be distinguished.

Deeper burial cementation (Fig. 3) began with a first generation of saddle dolomite, represented by relatively small crystals, appearing clear in transmitted light and called „clear saddle dolomite“ (CSD). The following „zoned blocky calcite“ (ZBC) shows a zonation from non luminescing to red, orange, yellow and orange zones under CL. Dedolomitization of the earlier CSD is associated with the occurrence ZBC. „Cloudy saddle dolomite“ (CLOSD) consists of relatively large crystals with a mostly cloudy appearance in thin sections. The subsequent two generations of blocky calcite cements show crystal sizes up to several mm. Corrosion of earlier cements and no luminescence or dull red/brown luminescence is typical for „post-corrosion blocky calcite“ (PCBC). „Uniform blocky calcite“ (UBC) shows a uniform red or orange color under CL.

These carbonate cements of deep burial diagenesis are followed by non luminescing blocky calcites, which contain brightly luminescing subzones. Smithsonite appears in fractures and other secondary pore types and replaces the carbonate host rock. These carbonate cements are interpreted to be formed after uplift of the host rock under telogenetic/meteoric conditions (Kuhlemann et al., 1993).

Formation of secondary porosity was active during all stages of diagenesis. Microkarst porosity formed when the Bleiberg facies was emergent and carbonate rock was







CARBONATE CEMENTATION		MINERALIZATION	
Carbonate cements of near surface and shallow burial diagenesis		"grey" anhydrite barite framboidal pyrite	
DEEP BURIAL DIAGENESIS	 clear saddle dolomite (CSD)	FIRST ORE PHASE	SPHALERITE PYRITE GALENA FLUORITE BARITE
	 zoned blocky calcite (ZBC)		SECOND ORE PHASE
	 cloudy saddle dolomite (CLOSD)	fluorite sphalerite	
	 post-corrosion blocky calcite (PCBC)	sphalerite	
	 uniform blocky calcite (UBC)	"blue" anhydrite	
TELO-GENESIS	 smithsonite, meteoric blocky calcite	cerrusite, hemimorphite, hydrozincite, wulfenite	

Fig. 3. Relative succession of ore mineralization within the sequence of deep burial carbonate cements.

leached before precipitation of late diagenetic blocky calcites. The cavities were filled with carbonate cements and with two types of internal sediments. The first type of internal sediment, which is associated with the carbonate cements of near surface

to shallow burial diagenesis, formed when material of the sedimentation surface infiltrated the cavities. The second type of internal sediment is intercalated between the carbonate cements of deep burial diagenesis. These internal sediments are either micritic and mostly dolomitized or coarse crystalline and consists of crystal relics of former cements.

Ore structures

The Pb-Zn ores are arranged concordant or discordant to the bedding of the host rock. Concordant ore structures include single beds replaced by ore and occurrence of channel-like cavities arranged subparallel to the bedding filled with Pb-Zn ores and carbonate cements (Fig. 4a). Finely laminated units up to 50 cm thick and consisting of alternating layers of sphalerite and carbonate mud or cement commonly occur on the bottom of these „channels“ (Fig. 4a). These laminated units sometimes show sedi-

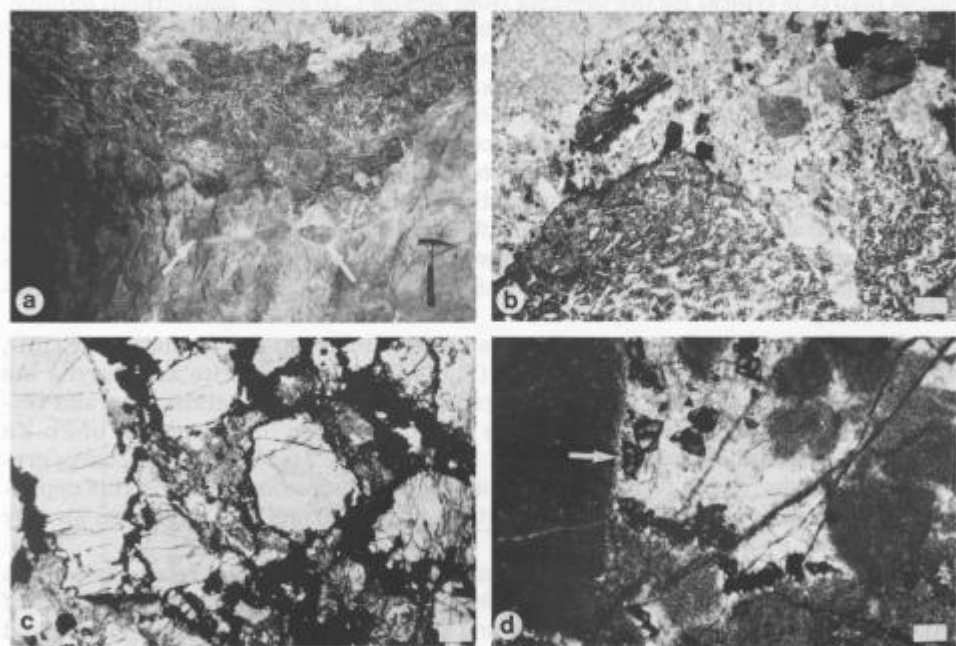


Fig. 4a. Channel-like cavity arranged subparallel to the bedding and filled with galena, sphalerite and pyrite. Note the discordant contact of the orebody to the surrounding rock, indicating ore precipitation within cavities. The so called „ore rhythmites“ occur below the massive Pb-Zn ore in small cavities (arrows). Konradi orebody, Bleiberg.

Fig. 4b. Ore breccia with ore fragments (sphalerite) and a saddle dolomite matrix. Scale bar = 0.4 cm.

Fig. 4c. Ore breccia with limestone fragments and a matrix consisting of galena. Fissures filled with galena crosscut the fragments and older fissures filled with saddle dolomite. Scale bar = 0.4 cm.

Fig. 4d. „Small“ sphalerite is postdated (arrow) and predated by clear saddle dolomite. Scale bar = 0.3 mm.

mentary structures such as slumping or graded bedding and have been called „ore rhythmities“ (S c h n e i d e r, 1964; S c h u l z, 1964; Š t r u c l, 1984).

Only discordant ore structures are economic. They include fractures/veins filled with lead-zinc ore and gangue minerals, which are fluorite, barite, and late diagenetic carbonate cements. Even more important are two types of ore breccias:

1) The clasts are ore-bearing (mostly sphalerite), the matrix consists of relatively coarse grained carbonate mud or clay similar to shale of the Raibl Group. Fractures filled with CSD crosscut the clasts, but do not crosscut the matrix. The matrix of other breccias with ore-bearing clasts consists of CSD (Fig. 4b) and/or younger carbonate cements. The clasts can be completely replaced by CSD, resulting in coarse crystalline dolomite breccias, which are typical for the stock-shaped dolomite breccias in the Bleiberg deposit. Clasts contain small solution cavities (Fig. 4d), in which the succession CSD - small sphalerite (see below) - CSD is present.

2) The matrix is ore and the clasts are mostly unmineralized (Fig. 4c). Fractures filled with CSD crosscut the clasts, but not the ore-matrix. This breccia-type with galena matrix is typical for ore breccias from Mežica („Graben“ district).

Carbonate cements and lead-zinc ores

The different generations of carbonate cements enable relative dating of ore minerals by pore filling successions and/or crosscutting relationships. All carbonate cements of near surface and shallow burial diagenesis predate the lead-zinc ores (sphalerite, galena) and their accompanying minerals (fluorite, barite, „blue anhydrite“), with the exception of some synsedimentary or early diagenetic formed pyrite, anhydrite („grey anhydrite“) and barite (cf. S c h u l z, 1968; S c h r o l l & W e d e p o h l, 1972).

A first phase of Pb-Zn precipitation is closely linked to the formation of CSD, which predates and postdates sphalerite (Fig. 4d). Galena, fluorite and baryte are the accompanying minerals. The interfingering between ore mineralization and formation of CSD is also indicated by a close relation between the occurrence of Pb-Zn ores and the mineralogy of the host-rock. Most ores are associated with coarse crystalline dolomites, which formed as a replacement of limestone by CSD. This dependency can be observed in many ore deposits (e.g. Jauken) and was in general already shown by C e r n y (1989).

The first phase of ore precipitation is enriched in sphalerite and relatively poor in galena, while the second phase, which occurs distinctly after the precipitation of CSD and before ZBC, is rich in galena and poor in sphalerite. Pyrite, fluorite and barite are also accompanying minerals. The relationship of the ore minerals to CSD is illustrated by an ore breccia from the Graben area in Mežica (Fig. 4c), which consists of limestone and dolomite clasts containing a small amount of sphalerite. Fractures filled with CSD crosscut the clasts and the sphalerite, but not the galena-matrix. These fractures are crosscut by fractures filled with galena.

Both ore phases are economically important. The late precipitation of sphalerite and fluorite after CLOSD and before PCBC and of sphalerite after PCBC and before UBC is rare and uneconomic. Blue colored anhydrite follows UBC and is followed by oxidized minerals (e.g. smithsonite, cerussite).

Petrography and trace element content of the sphalerite

In hand specimens and in thin sections (transmitted light) sphalerite displays a variety of colors from yellow, green, red, violet, to brown without any distinct succession. Employing CL a distinct succession of sphalerite-types can be observed (K u h l e m a n n et al., 1993; K u h l e m a n n & Z e e h, 1996). The first type of sphalerite crystals is small (20 to 40 μm) referred to as „small“ sphalerite. This type luminesces similarly to the host rock or the gangue carbonate: dull, yellow or red. The following four types, which are called „light blue“, „orange-red“, „dark blue“, and „brown“ are characterized by their luminescence. The position of colloform sphalerite coincides with the light blue-type; light blue luminescing crystals occur in the center of colloform sphalerite as well as postdate it.

Formation of these types of sphalerite is closely related to the precipitation of CSD, which predates and postdates all sphalerite-types mentioned above. All later formed sphalerite shows no luminescence and has a uniform yellow color in transmitted light.

Geochemical analysis of trace elements by ICP-MS in the different sphalerite-types exhibit a characteristic distribution of Ag, As, Fe, Tl, Ge, Cd, and Cu, which support the optical discrimination based on their CL. These geochemical data were corroborated by electron-microprobe and proton-microprobe analysis (K u h l e m a n n and Z e e h, 1996).

The small sphalerite-type is distinguished from other types by its relatively high Cu-, As-, Cd-, Tl- and Ge- contents and low Ag-contents. Colloform sphalerite contains the highest concentrations of Fe, As, Tl, and Ge, while both blue luminescing types of sphalerite are relatively poor in trace elements. The orange-red-type, which is intercalated between these two blue luminescing types, has the highest contents of Cu,

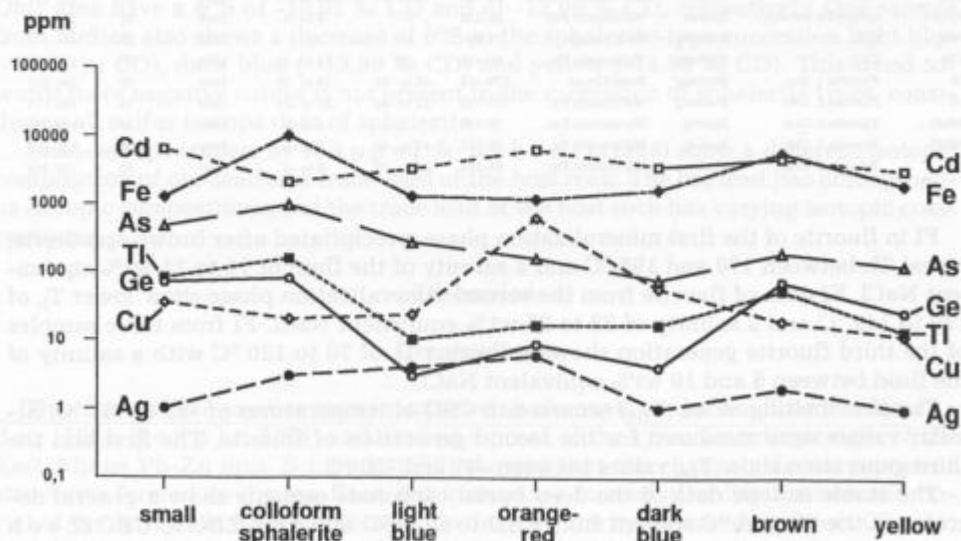


Fig. 5. Trace element (Ag, As, Cd, Cu, Fe, Ge, and Tl) content of sphalerite grains, measured by ICP-MS.

Ag, and Cd. The brown-type is relatively enriched in Fe, Cd, Tl, and Ge, while the yellow-type shows mean values for As, Cd, Fe, Ge, and Tl and a depletion in Ag and Cu.

The distribution of trace elements in the sphalerite-type succession (Fig. 5) shows an increase of the Ag-content from small to orange-red followed by a decrease. Cu-values are relatively low at the beginning and at the end of the succession with a strong maximum in the orange-red-type, while As, Ge and Tl reveal the opposite trend. The Fe- and Cd-contents of the sphalerite succession do not show a distinct trend.

Fluid inclusion and stable isotope studies

Fluid inclusion (FI) data are available from late diagenetic carbonate cements, fluorites, and brown sphalerite (Table 1). FIs from other sphalerite-types are too small for measurements. FIs in CSD, which was formed before small sphalerite (cf. Table 1, sample no. 90J10), show homogenization temperatures (T_h) of 83 to 109 °C and a salinity of the fluid of 15 to 16 wt% equivalent NaCl. FIs in sphalerite-type brown from the same sample have T_h of 92 to 129 °C and the final melting temperatures of ice T_m indicate a salinity of 8 to 12 wt% equivalent NaCl. FIs in CSD formed after brown sphalerite show T_h of 77 to 89 °C. Freezing temperatures could not be measured, because of the small FI size. Another sample of CSD with unknown relationship to Pb-Zn ores reveals T_h of 90 to 101 °C. The final melting temperatures of ice indicate a fluid salinity of 16 to 19 wt% equivalent NaCl.

Table 1. Fluid inclusion data of CSD, fluorite, and sphalerite.

sample no.	type	origin	stratigraphy	T_h (°C)	T_{fm} (°C)	T_m (°C)	Thickness of overlying sediment (m)	Pressure correction (MPa)	Calculated temperature (°C)
90J16	CSD	Jauken	Wattenstein Fm.	83-109	-52 to -51	-12 to -11	1500	20	122-147
90J10	sphalerite (brown)	Jauken	Wattenstein Fm.	92-129	---	-8 to -5	1500	20	126-159
90C3	CSD	Bleiberg	Raibl Group.	77-89	---	---	1500	20	---
8/26	CSD	Bleiberg	Wattenstein Fm.	96-101	-32	-15 to -12	1500	20	125-138
C5	Fluorite 1. Gen.	Bleiberg	Raibl Group.	178-195	-38 to -34	-18 to -13	1500	20	200-225
7/2	Fluorite 2. Gen.	Bleiberg	Wattenstein Fm.	128-142	-32 to -49	-24 to -20	1500	20	150-175
90Rd2	Fluorite 3. Gen.	Radnig	Wattenstein Fm.	78-109	---	-9 to -6	2000	30	124-145
90Rd5	Fluorite 3. Gen.	Radnig	Wattenstein Fm.	79-117	-47 to -43	-9 to -5	2000	30	127-156
7/2	Fluorite 3. Gen.	Bleiberg	Wattenstein Fm.	84-120	-23 to -20	-6 to -4	1500	20	130-163

FI in fluorite of the first mineralization phase, precipitated after brown sphalerite, reveal T_h between 170 and 195 °C and a salinity of the fluid of 18 to 21 wt% equivalent NaCl. FI data of fluorite from the second mineralization phase show lower T_h of 120 to 142 °C and a salinity of 22 to 25 wt% equivalent NaCl. FI from three samples of the third fluorite generation show the lowest T_h of 76 to 120 °C with a salinity of the fluid between 6 and 10 wt% equivalent NaCl.

The first melting of ice (T_{fm}) occurred in CSD at temperatures of -52 to -51 °C. Similar values were measured for the second generation of fluorite. The first and the third generation show T_{fm} values between -47 and -20 °C.

The stable isotope data of the deep burial carbonate cements show a general decrease in the ^{18}O and ^{13}C content from CSD to CLOSD and from ZBC to UBC (Zeeh et al., 1995). $\delta^{18}\text{O}$ values of CSD are between -9.8 and -5.5 ‰ PDB and $\delta^{13}\text{C}$ values are between +1.9 and +3.8 ‰ PDB. Smithsonite and blocky calcite are distinctly different and show negative $\delta^{13}\text{C}$ values (Kuhlemann, 1995).

Stratigraphic occurrence of Pb-Zn ores and carbonate cements

Although the Carnian carbonate rocks of the Wetterstein Formation and the Raibl Group are the main ore-bearing strata, there are a few ore occurrences in rocks underlying and overlying these strata. The Pb-Zn deposit of Topla (Štručl, 1974) is situated in Anisian carbonate rocks. These ores are somewhat different in their petrography and their geochemical composition to the Pb-Zn deposits described above and are not further discussed here. Some sphalerite crystals can also be found in carbonate rocks of Norian age. These sphalerites occur in fissures and show the same dark blue luminescence as observed in deposits hosted by Carnian rocks. Fluorite is also found in fissures crosscutting carbonate rocks of Rhaetian age.

Studies on the distribution of the above mentioned deep burial carbonate cements show that CSD can be traced in fissures of sedimentary rocks from Anisian up to Early Liassic in age (Walter et al., 1994; Kuleman, 1995). CSD is also present in components of Early Jurassic conglomerates, but not in the matrix (Zeeh 1997). All other carbonate cements also occur in sedimentary rocks of Anisian to Miocene in age (Walter et al., 1994, Zeeh et al. 1997, Zeeh 1997).

Lead and sulfur isotopes

Sulfur-isotope studies by Schroll & Wedepohl (1972) and Schroll et al. (1983) show a broad range of mostly negative $\delta^{34}\text{S}$ values for the sulfides and positive values for the sulfates. Our own sulfur isotope data corroborate these values, but show other features in detail (Kuleman, 1995). The $\delta^{34}\text{S}$ of different sphalerite types from the same sample decreases with decreasing age of the sphalerite. For example, sphalerite-type red and sphalerite-type dark blue from the same sample of Obir area have a $\delta^{34}\text{S}$ of -10.07 ‰ CD and of -12.99 ‰ CD, respectively. One sample from Mežica also shows a decrease of $\delta^{34}\text{S}$ in the sphalerite-type succession light blue (-13.22 ‰ CD), dark blue (-13.98 ‰ CD) and yellow (-14.89 ‰ CD). This trend towards more negative values is not present in the succession of sphalerite types, considering all sulfur isotope data of sphalerite.

Lead-isotope studies by Köppel & Schroll (1988) show a different isotopic composition of ore-lead and trace-lead of the host rock. The ore lead has homogeneous isotopic compositions, but the trace lead of the host rock has varying isotopic compositions.

Discussion

Ore structures

The channel-like cavities were interpreted as channels on the sea-floor (Schneider, 1964; Schulz, 1964) and used as a proof of the synsedimentary origin of the East Alpine Pb-Zn ores. Siegl (1956) showed that the channels do not represent structures formed on the sea-floor, but instead are formed after lithification and burial of the host rock. This is indicated by the irregularity of the cavity-roofs (Fig. 4a) and the occurrence of clasts from the hanging wall within these cavities.

The laminated units on the bottom of the channel-like cavities were interpreted as another indication of a synsedimentary origin of the ores. The graded bedding and

slumping structures should be formed by transport processes on the sea-floor (S c h n e i d e r, 1964; S c h u l z, 1964; Š t r u c l, 1984), but internal sediments can also show lamination, slumping and graded bedding and these structures cannot be used as a proof of an origin on the sea-floor. Furthermore, internal sediments were formed at different times as shown by the relation to carbonate cements. However, the time of formation of the channel-like cavities and the ore-rhythmites is questionable. They could be formed during the synsedimentary karstification of the Bleiberg facies or during late diagenesis by aggressive fluids leaching carbonate rock in relation to the ore forming processes.

The economically important stock-shaped breccia bodies were interpreted to represent other paleotopographic highs (B e c h s t ä d t, 1975b; C e r n y, 1989), which were subaerially exposed most of the time, deeply karstified and brecciated. These breccias were later replaced by CSD. The formation of sphalerite in these stock-shaped dolomite breccias is closely linked to the formation of CSD as indicated by the succession CSD -small sphalerite - CSD in solution cavities.

Breccias with a matrix similar the Raibl shales have also been interpreted as indicative of a synsedimentary emplacement of the ores, because they are thought to be formed along fault scarps during sedimentation of the Raibl Group carbonates (C e r n y, 1989). A strong argument against a synsedimentary origin is the occurrence of CSD within fractures, which crosscut the clast but not the matrix, indicating that brecciation occurred after formation of CSD in fractures.

The second type of ore breccias with an ore-matrix is distinctly formed after formation of CSD, as indicated by the crosscutting relationships of fractures filled with galena and CSD.

These examples and the observed relationship between Pb-Zn ores and gangue minerals show that a first emplacement of Zn-rich ores with a distinct succession of sphalerite types is closely linked with the formation of CSD. The second phase after the precipitation of CSD is Pb-rich.

Source rock for Pb and Zn

Isotopic similarity between feldspar-lead from the crystalline basement and ore-lead indicates a derivation of the metals from Paleozoic metasediments, with a possible minor amount of lead from Permian sandstones and Triassic volcanic rocks (K ö p p e l & S c h r o l l, 1988). Feldspars as the main source of lead might be further corroborated by the presence of barite and the high thallium content of ore minerals (K ö p p e l & S c h r o l l, 1988). In addition, Lower Paleozoic metasediments have in some parts high arsenic concentrations, which is one of the important trace element in the sphalerite (Köppel & Schroll, 1988). Therefore, the Paleozoic basement rocks seem to be the main source of Pb and Zn and trace elements of the sphalerite.

Time of ore formation

The stratigraphic distribution of CSD and sphalerite indicates a syn to post Late Triassic (Rhaetian) time of ore emplacement. Furthermore, CSD is present in components of Early Jurassic conglomerates, but not in the matrix (Z e e h, 1997), indicating that CSD and the related Pb-Zn ores were formed before or during Early Jurassic time.

Temperature of ore forming processes

Assuming a Late Triassic/Early Jurassic formation time for the first and second mineralization stage, the formation temperatures have to be corrected for an overburden pressure of 20 MPa, considering a lithostatic to hydrostatic conditions (Table 1). For late diagenetic blocky calcites, CLOSD, and the third generation of fluorite an overburden pressure of 30 MPa is assumed to prevail during the Tertiary.

The calculated formation temperatures show that brown sphalerite and fluorite of the first ore phase formed at higher temperatures than CSD. Formation temperatures increase from CSD (122 to 147 °C), formed before small sphalerite, to brown sphalerite (126 to 159 °C). CSD formed after brown sphalerite has the lowest Th, but Th could not be measured. Assuming a similar salinity of the fluid for this CSD as measured for other CSD, a formation temperature of 112 to 125 °C can be calculated. Fluorite formed after brown sphalerite shows the highest formation temperature of 200 to 225 °C and fluorite of the second ore stage show lower formation temperatures of 150 to 175 °C.

The third generation of fluorite, which postdates the formation of CLOSD show the lowest formation temperatures of 124 to 165 °C, which are also lower than the formation temperatures of CLOSD (175 to 194 °C; Z e e h et al., 1995). The blocky calcites, which predate and postdate the third fluorite generation show the highest formation temperatures (200 to 280 °C).

Fluid composition

The FI data indicate that the salinity of the fluid was higher during the precipitation of CSD than during the precipitation of sphalerite. The fluid-salinity increases from the first to second fluorite generation. The third generation of fluorite was precipitated from a fluid with the lowest salinity. The other carbonate cements were precipitated from fluids of low to high salinity (Z e e h et al., 1995). The Tfm values indicate NaCl-CaCl₂-MgCl₂ fluids during the precipitation of CSD and the second generation of fluorite. The first and third generation of fluorite were precipitated from NaCl-CaCl₂ fluids.

The calculation of the oxygen isotopic composition of the fluid precipitating CSD (Z e e h et al., 1995) reveal values between +6 and +10 ‰ (SMOW), which are characteristic for deep basinal brines enriched in salinity (cf. M ü l l e r & P a p e n d i e c k , 1975; B a r k e r & H a l l e y , 1986).

The trace element composition of the sphalerite gives indications about the trace element content of the fluid. V i e t s et al. (1992) assumed that the trace element content of the sphalerite succession in the Ozark region reflects a time dependent leaching of trace elements from the source rock. The variations of the trace element content of the sphalerite could also reflect Eh- and/or pH-changes of the ore bearing fluid in the source and/or in the host rock (K u h l e m a n n & Z e e h , 1996).

Sulfur isotopes

S c h r o l l & W e d e p o h l (1972) and S c h r o l l et al. (1983) assumed Triassic sea water as the source of sulfur, due to the similar isotopic composition of the mea-

sured sulfates and Triassic sea water. The isotopic composition of the sulfides was explained by bacterial reduction of the sulfate-sulfur.

Assuming a bacterial reduction of sulfate-sulfur during ore-precipitation, the most negative $\delta^{34}\text{S}$ values are expected for early formed sphalerite and less negative $\delta^{34}\text{S}$ values for late formed sphalerite. Sulfur isotope data of different sphalerite-types do not fit with this assumption. Early formed sphalerite show less negative values than late formed sphalerite in the same sample.

Leach & Sangster (1993) referred that bacterial reduction of sulphate must occur separately in time or space from sulphide precipitation, because temperatures during ore precipitation exceed those to which bacterial reduction is effective. Reduction of sulphate-sulfur within the Bleiberg facies predating ore precipitation could explain the contradiction between FI data and assumed bacterial reduction of sulphate-sulfur. The observed sulfur isotope trends towards more negative $\delta^{34}\text{S}$ values in sphalerite from the same sample might result from isotopic fractionation and mass balance effects related to changing physicochemical parameters of the system (cf. Fontboté & Gorzawski, 1990).

Pb-Zn ores within the Bleiberg facies

The concentration of ore deposits within the Bleiberg facies might result from:

- 1) The Bleiberg facies was rich in early formed secondary porosity developed during several emersion phases.
- 2) The occurrence of syndimentary sulfates within this facies might have given a potential source of sulfur.
- 3) The Wetterstein Formation is overlain by the first Raibl shale. The sealing effect of this shale to ascending solutions (Bechstädt, 1979) is demonstrated by the only local occurrence of Pb-Zn ores within the Raibl Group, where the intervening shale is absent.

Model

The observations summarized in the present paper show that the East Alpine Pb-Zn ores are distinctly different from SEDEX deposits and clearly result from epigenetic mineralization. Considering the above mentioned data and reflections the following model for the genesis of the East Alpine Pb-Zn deposits is proposed.

A source area for fluids during the Late Triassic/Early Jurassic may be the hinterland in the north (? Vindelician-Bohemian massif), where meteoric waters descended (Fig. 6). A gravity driven flow might have been caused by the topographic difference between the hinterland and the area of ore precipitation. The salinity of the solution increased with depth and metals (Pb, Zn, and some trace elements) could have been leached from the crystalline basement rocks along the migration path. The ascent of the fluids might be supported by a thermal anomaly resulting from the onset of rifting in the Alpine realm (Bertotti et al., 1993). Brines rich in metals leached from the crystalline basement and other possible source rocks ascended and migrated into areas with high porosity, where they emplaced ores under distinct geochemical conditions (e.g. presence of Triassic sulfur).

Ore-precipitation started with a Zn-rich phase closely linked with the precipitati-

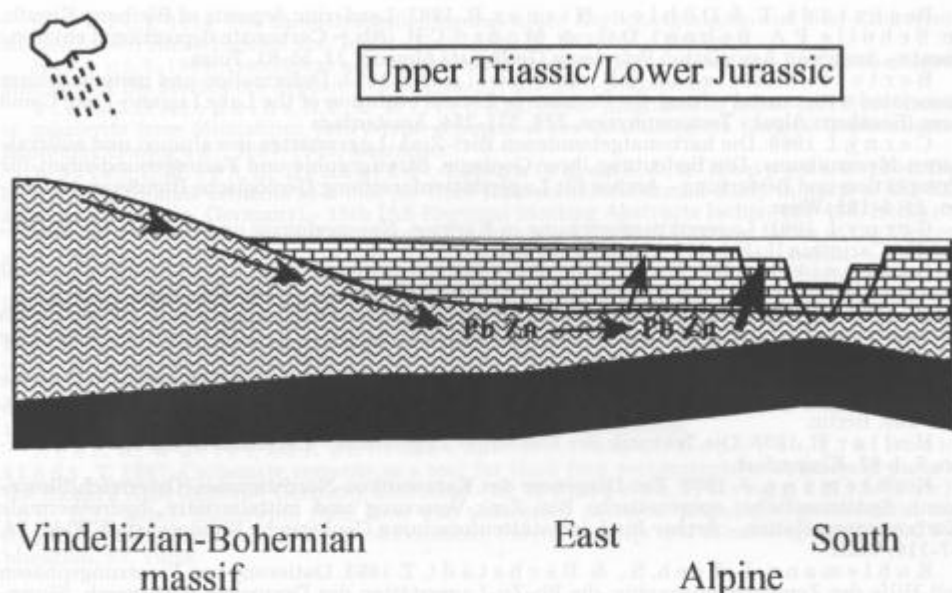


Fig. 6. Model for the Triassic/Jurassic fluid flow, which was responsible for the development of the Pb-Zn deposits in the Alpine realm.

on of CSD, which was formed at lower temperatures than the sphalerite. The first generation of fluorite, which was precipitated after CSD, shows the highest formation temperature at the end of the first ore formation stage. The second ore stage is Pb-rich and precipitated distinctly after CSD. The second and third generation of fluorite were precipitated at lower temperatures. The salinity of the fluid is high for the first and second ore phase and relatively low for the third phase of fluorite precipitation. Further precipitation of ore occurred during different stages and might result from mobilization processes, which were also assumed by D r o v e n i k (1983) for galena of the second ore phase.

The succession of deep burial carbonate cements after CSD seems to be of no direct relation to ore emplacement. These cements apparently formed during the Tertiary in relationship to metamorphism and uplift of the Alpine realm (Z e e h et al., 1997).

References

- B a r k e r, C.E., & H a l l e y, R.B. 1986: Fluid inclusion, stable isotope, and vitrinite reflectance evidence for the thermal history of the Bone Spring Limestone, southern Guadalupe Mountains, Texas. In: G a u t i e r, D.L. (ed.) Roles of organic matter in sediment diagenesis.- Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 38, 189-203, Tulsa.
- B e c h s t ä d t, T. 1975a: Lead-zinc ores dependent on cyclic sedimentation.- *Mineralium Deposita*, 10, 234-248, Berlin.
- B e c h s t ä d t, T. 1975b: Sedimentologie und Diagenese des Wettersteinkalkes von Bleiberg-Kreuth.- *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 120, 466-471, Wien.
- B e c h s t ä d t, T. 1979: The lead-zinc deposits of Bleiberg-Kreuth (Carinthia, Austria): palinspastic situation, paleogeography and ore mineralization.- *Verhandlungen Geologische Bundesanstalt Wien*, 197, 221-235, Wien.

- Bechstädt, T., & Döhler-Hirner, B. 1983: Lead-zinc deposits of Bleiberg-Kreuth. In: Scholle, P.A., Bebout, D.G., & Moore, C.H. (eds.)- Carbonate depositional environments.- American Association Petroleum Geologists Memoir, 33, 55-63, Tulsa.
- Bertotti, G., Siletto, G.B., & Spalla, M.I. 1993: Deformation and metamorphism associated with crustal rifting: the Permian to Liassic evolution of the Lake Lugano-Lake Como area (Southern Alps).- Tectonophysics, 226, 271-284, Amsterdam.
- Cerny, I. 1989: Die karbonatgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten des alpinen und außeralpinen Mesozoikums. Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit für Prospektion und Bewertung.- Archiv für Lagerstättenforschung Geologische Bundesanstalt Wien, 11, 5-125, Wien.
- Cerny, I. 1991: Lagerstättenforschung in Kärnten. Neuergebnisse und Aspekte für die Zukunft.- Carinthia II, 181, 119-129, Klagenfurt.
- Drovenik, M. 1983: Mobilization of ore and gangue minerals in some Slovenian mineral deposits.- Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommission, 6, 301-309, Wien.
- Fontboté, L., & Gorzawski, H. 1990: Genesis of the Mississippi Valley-Type Zn-Pb deposit of San Vicente, central Peru.- Geologic and isotopic (Sr, O, C, S, Pb) evidence: Economic Geology, 85, 1402-1437, Lancaster.
- Henrich, R., & Zankl, H. 1986: Diagenesis of Upper Triassic Wetterstein reefs of the Bavarian Alps. In: Schroeder, J.H., & Purser, B.H. (eds.)- Reef diagenesis.- Springer, 245-268, Berlin.
- Holler, H. 1936: Die Tektonik der Bleiberger Lagerstätte.- Carinthia II, Special Publication, 7, 1-82, Klagenfurt.
- Kuhlemann, J. 1995: Zur Diagenese des Karawanken-Nordstammes (Österreich/Slovenien): Spättriassische, epigenetische Blei-Zink-Vererzung und mitteltertiäre, hydrothermale Karbonatzementation.- Archiv für Lagerstättenforschung Geologische Bundesanstalt Wien, 18, 57-116, Wien.
- Kuhlemann, J., Zeeh, S., & Bechstädt, T. 1993: Datierung von Vererzungsphasen mit Hilfe der Zementstratigraphie: die Pb-Zn-Lagerstätten des Drauzuges (Österreich, Slowenien).- Zentralblatt Geologie Paläontologie Teil I, 1992, 719-729, Stuttgart.
- Kuhlemann, J., & Zeeh, S. 1996: Sphalerite stratigraphy and trace element composition of East Alpine Pb-Zn deposits (Drau Range, Austria/Slovenia).- Economic Geology, 90, 2073-2080, Lancaster.
- Köppel, V., & Schroll, E. 1988: Pb-isotope evidence for the origin of lead in strata-bound Pb-Zn deposits in Triassic carbonates of the Eastern and Southern Alps.- Mineralium Deposita, 23, 96-103, Berlin.
- Leach, D.L., & Sangster, D.F. 1993: Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. In: Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.L., & Duke, J.M. (eds.)- Mineral deposit modeling.- Geological Association of Canada, Special Paper, 40, 289-314, Toronto.
- Maucher, A., & Schneider, H.-J. 1967: The Alpine lead-zinc ores. In: Brown, J. S. (ed.)- Genesis of stratiform lead-zinc-barite-fluorite deposits.- Economic Geology Monograph, 3, 71-89, Lancaster.
- Müller, E.P., & Papendieck, G. 1975: Zur Verteilung, Genese und Dynamik von Tiefenwässern unter besonderer Berücksichtigung des Zechsteins.- Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 3, 167-196, Berlin.
- Sangster, D.F. 1976: Carbonate-hosted lead-zinc deposits. In: Wolf, K. H. (ed.)- Handbook of stratabound and stratiform ore deposits.- 6, Elsevier, 447-456, Amsterdam.
- Sangster, D.F. 1990: Mississippi Valley-type and sedex lead-zinc deposits: a comparative examination.- Transaction Inst. Min. Metall. Sect. B, 99, B21-B42, London.
- Schneider, H. J. 1964: Facies differentiation and controlling factors for the depositional lead-zinc concentration in the Ladinian geosyncline of the Eastern Alps.- Developments in Sedimentology, 2, 29-45, Amsterdam.
- Schroll, E. 1984: Mineralisation der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten).- Aufschluss, 35, 339-350, Heidelberg.
- Schroll, E., Schulz, O., & Pak, E. 1983: Sulphur isotope distribution in the Pb-Zn deposit Bleiberg (Carinthia, Austria).- Mineralium Deposita, 18, 17-25, Berlin.
- Schroll, E., & Wedepohl, K.H. 1972.- Schwefelisotopenuntersuchungen an einigen Sulfid- und Sulfatmineralen der Blei-Zink-Erzlagerstätte Bleiberg/Kreuth, Kärnten.- Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 17, 286-290, Wien.
- Schulz, O. 1964: Lead-zinc deposits in the Calcareous Alps as an example of submarine-hydrothermal formation of mineral deposits.- Developments in Sedimentology, 2, 47-52, Amsterdam.
- Schulz, O. 1968: Die syndimentäre Mineralparagenese im oberen Wettersteinkalk der Pb-Zn-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth (Kärnten).- Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 12, 230-289, Wien.
- Siegl, W. 1956: Zur Vererzung der Blei-Zink-Lagerstätte von Bleiberg: Berg- u. Hüttenmännische Monatshefte, 101, 108-119, Wien.

Uporaba recentnih poplavnih sedimentov v geokemičnem kartiranju Slovenije

The use of recent overbank sediments in geochemical mapping of Slovenia

Milan Bidovec, Robert Šajn & Mateja Gosar

Geološki zavod Slovenije
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: geokemija, kartiranje, poplavni sedimenti, onesnaževanje okolja, Slovenija

Key-words: geochemistry, mapping, overbank sediments, environment pollution, Slovenia

Kratka vsebina

Velike poplave leta 1990 so na obrežnih ravninah zapustile obilico poplavnih sedimentov, ki so bili predmet naših raziskav. Poplavni sediment predstavlja homogeniziran peščeno-meljasti material, ki izvira iz številnih manjših in večjih erodiranih površij nad mestom vzorčenja in je zaradi tega lahko dobro vzorčno sredstvo za izdelavo geokemičnih kart. Na osnovi kemičnih analiz 134 vzorcev poplavnih sedimentov porečij Slovenije smo lahko izdelali dve vrsti geokemičnih kart posameznih prvin in petih geokemičnih združb ter kljub grobosti določili geokemične značilnosti nekaterih predelov Slovenije. Primerjava povprečij vsebin prvin v poplavnih sedimentih s povprečji v potočnih sedimentih je pokazala podobne vrednosti, s clarki muljevca in tal pa za večino opazovanih prvin nižje vsebnosti. Številne visoke vsebnosti posameznih kovin v poplavnih sedimentih (Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Pb, Sb, Zn) lahko povezujeemo z znanimi rudišči in rudnimi pojavi ter razvito industrijo.

Abstract

Heavy inundations in 1990 left on flood plains much overbank sediment that was the object of our investigations. The overbank sediment is a homogenized sandy-silty material derived from numerous smaller and larger eroding areas upstream of the sampling point. Therefore it is considered a good sampling medium for geochemical mapping. On the ground of chemical analyses of 134 overbank sediment samples of drainages in Slovenia two kinds of geochemical maps were made: for individual chemical elements and for five elemental associations. In spite of low resolution, the geochemical characteristics of a number of Slovenia were established. Comparison of mean elemental contents in overbank sediments with mean contents in stream sediments showed similar values, and comparison with Clarke values for shale and soil showed lower means of Slovenia for most of the determined elements. A number of high values of certain metals (Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Pb, Sb, Zn) can be related to known mineral deposits and occurrences, and to industrial activities.

Uvod

Opis projekta IGCP št.259, Mednarodno geokemično kartiranje, je imel v podnaslovu misel K a u r a n n e j a (1988) „Geokemične karte predstavljajo za sedanje človeštvo najbolj nujno in pomembno delo v geologiji“ (N e w s l e t t e r No.6, 1994). Misel je nastala iz potrebe številnih ved po ugotavljanju in reševanju pestre problematike, s katero se sooča sodobno človeštvo. Geokemična karta predstavlja osnovo za razumevanje geokemičnih značilnosti nekega ozemlja ter omogoča spremljanje sprememb (monitoring), ki jih povzroča človek. Informacije, ki jih nosijo geokemične karte, razkrivajo temeljne značilnosti zgradbe in sestave ozemlja, ki jih običajno ne uspejo prikazati drugi geološki in geofizikalni podatki (P i r c, 1992, 151).

Geokemične karte temeljijo na vzorčenju in meritvah koncentracij posameznih prvin v naravnih površinskih materialih. V geokemičnem kartiranju so rutinsko uporabljeno vzorčno sredstvo sedimenti aktivnih površinskih vodotokov - rečni (potočni) sedimenti (B o g e n et al., 1992). O t t e s e n in sodelavci (1989) pa upravičeno zastavljajo vprašanje reprezentančnosti rečnih sedimentov za ugotavljanje geokemične sestave ozemlja, saj le-ti pogosto izvirajo iz enega ali nekaj manjših površij, ki jih je voda erodirala na svoji poti. Rečni sedimenti so tudi zelo občutljivi za onesnaženje s težkimi kovinami zaradi rudarjenja in drugih človekovih dejavnosti (R o s e et al., 1979, 453). O t t e s e n in sodelavci (1989) dajejo za geokemično kartiranje prednost poplavnim sedimentom. To je prav tako rečni sediment, ki pa se useda le ob izjemno visokih vodah, ko je dotok vode večji od normalnega pretoka rečnega korita. Reke zato prestopijo bregove ter se razlijejo po obrežnih ravninah. S seboj nosijo veliko suspendiranega materiala, ki se odloži na poplavljenem obrežju, potem ko začne nivo reke upadati. Ob močnem deževju je erozija v celotnem območju porečja velika, zato je sediment, ki nastaja ob takih pogojih, bolj reprezentativen za večja ozemlja nad krajem odvzema vzorca kot rečni sediment. Velikost površine, s katere izvirajo poplavni sedimenti, je veliko večja kot pri rečnih sedimentih. Ob močnem deževju pronicajo padavinske vode v podtalje in ustvarjajo podpovršinski tok voda, ki povzročajo plazenje razmočenih zemljišč in zemeljske usade. Ko so tla zasičena z vodo, padavinske vode odteka pretežno površinsko. Tedaj nastopi površinsko spiranje dosegljivih delcev tal ali pa odnašanje vegetacijskega pokrova in odpiranje novih virov sedimenta. V času poplav prihaja lahko tudi do sprememb vodnega toka, ki se lahko usmeri k bregovom rečnih korit in jih spodkopava, material pa odnaša (M i k o š, 1996; B o g e n et al., 1992).

Skupina geokemikov iz 12 zahodnoevropskih geoloških zavodov je v okviru združenja FOREGS (Forum of European Geological Surveys) pet let (1988-1993) preučevala različne aspekte poplavnih sedimentov v različnih evropskih deželah (D e m e t r i a d e s et al., 1990; B ö l v i k e n et al., 1993). Zaključili so, da bi bili poplavni sedimenti dobro vzorčno sredstvo za geokemično kartiranje zahodne Evrope, ker (1) so prisotni v vseh zahodnoevropskih državah, (2) odkrivajo že znane geokemične province, (3) z njimi je mogoče v globjih delih ugotoviti naravno porazdelitev prvin in (4) rezultati vzorčenja rečnih sedimentov se dobro ujemajo s površinskimi vzorci poplavnih sedimentov.

Prve regionalne geokemične karte, ki so bile zasnovane na poplavnih sedimentih, so izdelali na Norveškem in v Fenoskandiji (O t t e s e n et al., 1989; B ö l v i k e n et al., 1990). Z vzorci poplavnih sedimentov na 690 lokacijah so prekrili celotno ozemlje Norveške (300 000 km²), tako da je bilo zajeto z vsakim vzorčnim mestom 60-300 km² vplivnega ozemlja. Izdelane karte so pokazale: (1) dober kontrast regionalne porazde-

litve; nekatere s poplavnimi sedimenti ugotovljene geokemične province, so se izkazale kot perspektivne pri odkrivanju novih virov mineralnih surovin, (2) poplavni sedimenti odsevajo kamninsko podlago, (3) regionalna porazdelitev prvin se ponekod dobro sklada z znanimi geološkimi strukturami, drugod pa kaže drugačne, še nepojasnjene vzorce, (4) s poplavnimi sedimenti dobro opredeljene geokemične province se skladajo z metalogenetskimi provincami, (5) večja nahajališča mineralnih surovin, ki niso bila zaznamovana v rečnih sedimentih, lahko odsevajo v poplavnih sedimentih in (6) poplavni sedimenti so lahko uporabni tudi za raziskave v močno onesnaženih ozemljih.

V podobni raziskavi so ugotovili, da lahko tudi zelo majhna gostota vzorčenja poplavnih ravnin da uporabne rezultate. Z 49 lokacijami (1 lokacija/23 000 km²) celotnega ozemlja Norveške so namreč lahko potrdili že znano regionalno porazdelitev večine prvin, ki je bila ugotovljena z drugimi vzorčnimi sredstvi in neprimerno večjo gostoto vzorčenja ter nekatere geokemične province in mineralizirana ozemlja (E d e n & B j ö r k l u n d, 1994). Podobni so tudi zaključki geokemičnega kartiranja z majhno gostoto vzorčenja poplavnega sedimenta na Kitajskem (X i e & C h e n g, 1997).

Prvi obetajoči zaključki raziskav poplavnih sedimentov (O t t e s e n et al., 1989; D e m e t r i a d e s et al., 1990) in velike poplave leta 1990, ki so zapustile obilico materiala na poplavljenih rečnih ravninah širom po Sloveniji, so nas navedle k vzorčenju in proučevanju tega najmlajšega poplavnega sedimenta in k izdelavi poizkusnih geokemičnih kart.

Materiali in metode dela

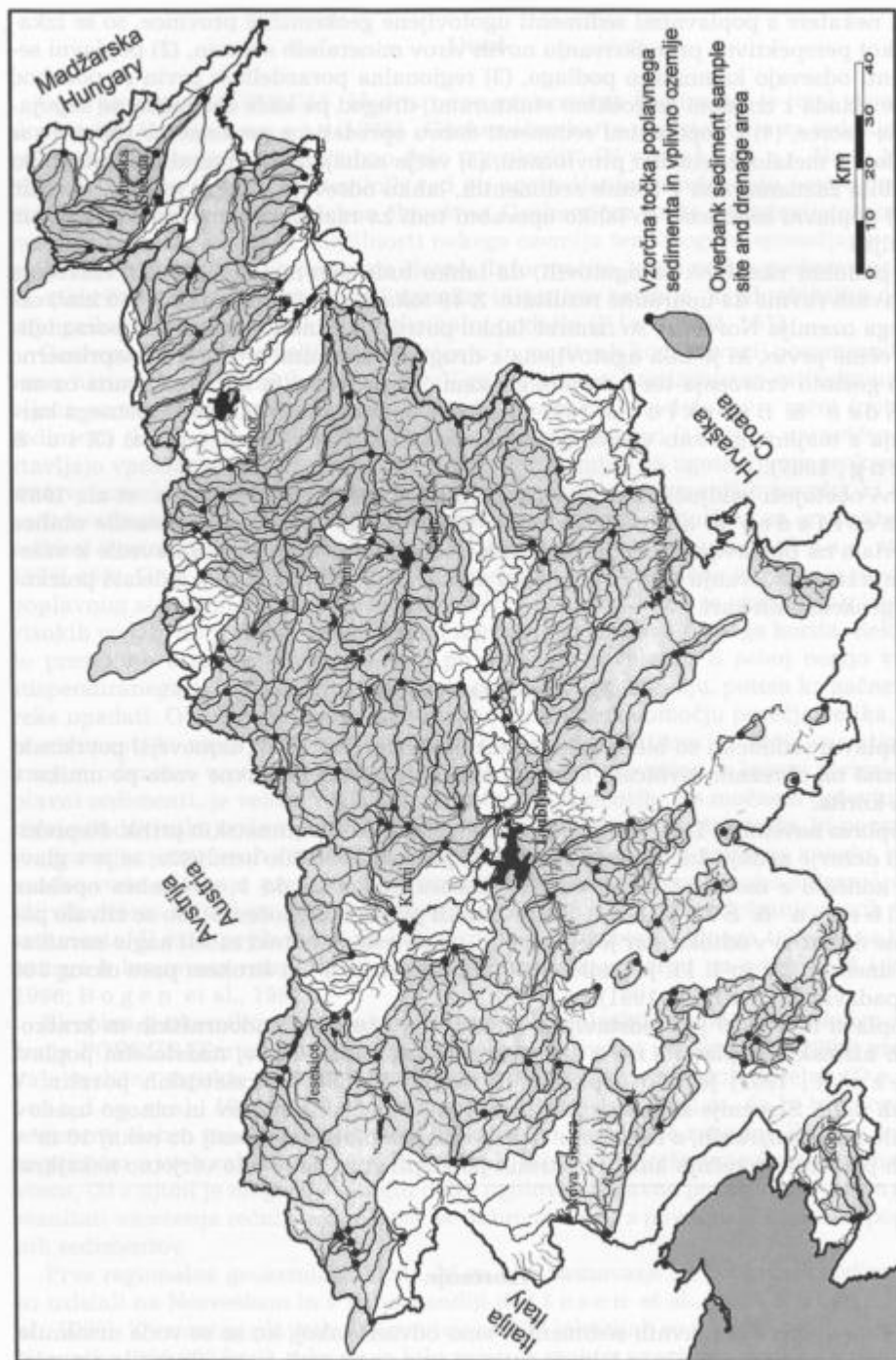
Poplavni sedimenti so bili v času vzorčenja (november 1990) najnovejši površinski material na obrežnih ravninah, ki so ga zapustile obilne poplavne vode po umiku v svoja korita.

Poplava novembra 1990 je bila posledica nekajdnevnik klimatskih prilik. Nепrekinjeno deževje zadnje dni oktobra 1990, ki je povsem namočilo zemljišča, se je v glavnem končalo z močnimi nalivi od 31. oktobra popoldan do 1. novembra opoldan (K o l b e z e n & Š k e r j a n c, 1991). Zaradi prejšnje namočenosti so se zlivale padavine direktno v odtoke, kar je povzročilo, da so reke in potoki začeli naglo naraščati. V dneh 31. 10. in 1. 11. je padlo v 150 km dolgem in 5 km širokem pasu okrog 200 mm padavin (B r e z n i k, 1991).

Poplava leta 1990 je predstavljala kombinacijo izrazito hudourniških in kratkotrajnih nižinskih poplav (O r o ž e n A d a m i č, 1991). Ob tej nadstoletni poplavi (B r e z n i k, 1991) je bilo poplavljenih skupaj 51 588 ha kmetijskih površin. V raznih delih Slovenije se je sprožilo prek 1200 zemeljskih plazov in mnogo usadov. Število neregistriranih, a na terenu vidnih manjših plazov dimenzij do nekaj 10 m² v bokih potočnih in rečnih korit ter strmih pobočjih grap pa je bilo verjetno nekajkrat večje.

Vzorčenje

Večino vzorcev poplavnih sedimentov smo odvzeli takoj, ko so se vode umaknile. Pri izbiri porečij vzorčenja in lokacij vzorcev smo upoštevali javna obvestila o popla-



Sl. 1. Lokacije vzorcev poplavnih sedimentov
 Fig. 1. Localities of overbank sediment samples

vah z željo, da s tovrstnimi vzorci enakomerno pokrijemo čim večji del površja Slovenije. Posamezna ozemlja smo vzorčili še v letih 1993 in 1994. Ob zaključku smo razpolagali s 134 vzorci (sl. 1).

Na vsaki izbrani poplavni ravnici smo odvzeli kompozitni vzorec: z najmanj treh točk v polmeru do 50 m smo s plastično lopatko pobrali približno 1-2 kg vzorca v plastično vrečko. V večini primerov je bil to srednje do drobnozrnati pesek in melj, ki je običajno ležal kar na travi.

Priprava vzorcev za analizo

Vzorci smo pripravili po postopkih, ki so že dolgo uveljavljeni v preiskavah potočnih sedimentov in so bili tudi priporočeni v zaključkih UNESCO projekta IGCP 259 (D a r n l e y et al., 1995). Vzorci smo najprej zračno sušili, nato še v ventilatorski peči na temperaturi do 40°C. Ko so bili suhi, smo jih prepолоvili: polovico vzorca smo arhivirali, preostalo polovico pa presejali na sitih iz nerjaveče jeklene sitovine z velikostjo odprtine 0.125 mm. Presevek je predstavljal vzorec za analizo.

Razklopi vzorcev in kemične analize

Razklopi vzorcev in kemične analize so bile opravljene v kemijskem laboratoriju ACME v Kanadi, ki si je zagotovil priznanje kvalitete po standardu ISO 9002 (ACME, 1997).

Za vse vzorce smo izbrali štirikislinski razklop, ki je na splošno uveljavljen pri raziskavah rečnih sedimentov. V njem se popolnoma raztopi večina mineralov. Postopek poteka na naslednji način: 0.5 g vzorca se raztaplja v 10 ml mešanice $\text{HClO}_4\text{-HNO}_3\text{-HCl-HF}$ ter segreva na 200°C. Ta razklop je po pojasnilih laboratorija delen za magnetit, kromit, barit, okside Al, Zr in Mn ter za masivne sulfide. Prvine As, Cr, Sb in Au zaradi visoke temperature delno izhlapijo (ACME, 1995, 5).

Z multielementno induktivno vezano plazemsko atomsko emisijsko spektrometrijo (ICP_{total}) so v vseh vzorcih določili koncentracije 35 prvin, in sicer 8 glavnih prvin (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti, P) in 27 slednih prvin (Ag, As, Au, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, La, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc, Sb, Sn, Sr, Th, U, V, W, Y, Zn, Zr).

Živo srebro je bilo določeno po razklopu v zlatotopki (0.5 g vzorca se prelije z 3 ml mešanice $\text{HCl-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ v razmerju 3:1:2 in eno uro segreva na temperaturi 95°C ter razredči do 10 ml z vodo) z neplamensko atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS). Del vzorcev je bil po razklopu v zlatotopki analiziran tudi z ICP (ICP_{hidrid}) s hidridno generacijo: As, Sb, Bi, Ge, Se in Te. Omenjenim analizam smo v nadaljnjem tekstu in tabelah dodali indeks h.

Vzorci so bili analizirani v letih 1992, 1993 in 1995.

Zanesljivost analitike

Pri multielementnih analizah, s katerimi simultano določajo veliko število prvin, se pogosto dogaja, da je občutljivost analitske metode za nekatere prvine višja (zaznavnost) ali nižja kot so vsebine v merjenem vzorcu (P o t t s, 1993). Cenzurirane vrednosti imenujemo tiste, ki so pod mejo zaznavnosti ali nad mejo občutljivosti ana-

Tab. 1. Meje zaznavnosti posameznih analitskih metod (ACME, 1992, 1993, 1995)
 Tab. 1. The lower detection limits for ICP in various analytical campaigns (ACME 1992, 1993, 1995)

Prvina Element	ICP _{total}			ICP _{hidrid}	
	1992	1993	1995	1993	1995
Ag	0.2 g/t	0.3 g/t	0.5 g/t		
Al	0.01 %	0.01 %	0.01 %		
As	4 g/t	4 g/t	5 g/t	0.1 g/t	0.1 g/t
Au	2 g/t	4 g/t	4 g/t		
Ba	2 g/t	1 g/t	1 g/t		
Be	1 g/t	1 g/t	1 g/t		
Bi	2 g/t	4 g/t	5 g/t		0.1 g/t
Ca	0.01 %	0.01 %	0.01 %		
Cd	0.2 g/t	0.2 g/t	0.4 g/t		
Co	1 g/t	2 g/t	2 g/t		
Cr	1 g/t	2 g/t	2 g/t		
Cu	1 g/t	2 g/t	2 g/t		
Fe	0.01 %	0.01 %	0.01 %		
Ge				0.1 g/t	0.1 g/t
Hg	0.005 g/t				
K	0.01 %	0.01 %	0.01 %		
La	2 g/t	2 g/t	2 g/t		
Mg	0.01 %	0.01 %	0.01 %		
Mn	1 g/t	5 g/t	5 g/t		
Mo	1 g/t	2 g/t	2 g/t		
Na	0.01 %	0.01 %	0.01 %		
Nb	1 g/t	4 g/t	2 g/t		
Ni	1 g/t	2 g/t	2 g/t		
P	0.001 %	0.002 %	0.002 %		
Pb	2 g/t	4 g/t	5 g/t		
Sb	2 g/t	4 g/t	4 g/t	0.1 g/t	0.1 g/t
Sc	0.2 g/t	1 g/t	1 g/t		
Se				0.1 g/t	0.2 g/t
Sn	1 g/t	2 g/t	2 g/t		
Sr	1 g/t	4 g/t	2 g/t		
Te				0.1 g/t	0.3 g/t
Th	2 g/t	2 g/t	2 g/t		
Ti	0.01 %	0.01 %	0.01 %		
U	5 g/t	10 g/t	10 g/t		
V	2 g/t	2 g/t	2 g/t		
W	2 g/t	2 g/t	4 g/t		
Y	2 g/t	2 g/t	2 g/t		
Zn	1 g/t	2 g/t	2 g/t		
Zr	1 g/t	2 g/t	2 g/t		

litske metode. V primeru, ko je število cenzuriranih vrednosti manj kot 20%, se tudi te lahko uporabijo v nadaljnjih statističnih obdelavah, vendar jih je potrebno nadomestiti s kako vrednostjo (M i e s c h, 1976). Porazdelitev posamezne prvine lahko

uporabljamo in komentiramo kljub visokemu odstotku cenzuriranih vrednosti, če ugotovimo, da so vrednosti nad mejo zaznavnosti v prostorsko grupiranih vzorcih.

Pod mejo zaznavnosti analitske metode ICP_{total} (tab. 1) so bili naslednji deleži analiziranih prvin v vzorcih obravnavanih poplavnih sedimentov (skupno 155 analiz, upoštevajoč ponovitve in standarde): Ag - 54%, As - 67%, Au - 100%, Be - 75%, Bi - 48%, Cd - 25%, Mo - 88%, Sb - 81%, Sn - 57%, U - 96% in W - 84%, od hidridne generacije prvin (122 analiz) pa so bili pod mejo zaznavnosti Bi_h - 22%, Ge_h - 96%, Se_h - 64% in Te_h - 48%. V nadaljnji obdelavi smo od naštetih prvin obravnavali le Cd zaradi razmeroma malega deleža cenzuriranih vrednosti in njegove pomembnosti v raziskavah okolja ter Mo, ki je prisoten le v mežiškem prostoru. Cenzurirane vrednosti smo nadomestili s 70 % vrednosti meje zaznavnosti analitske metode.

Pravilnost analitske metode smo ocenjevali z geološkimi standardi BUTR-9, GXR-6, SGR-6, SJS-1, SO-1 in SRM-2711 (A b b e y, 1983). Ti so bili naključno razvrščeni med geokemične vzorce tal in sedimentov, ki smo jih analizirali v letih 1992-95 v laboratoriju ACME. Večina prvin v standardih (Al, Fe, K, Mg, Na, Ti, Ba, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Sc, V in Zn) kaže v povprečju do 15% odstopanja od priporočenih vrednosti. Večja povprečna odstopanja imajo Ca (21%), P (17%), As (31%), Cd (152%), La (20%), Pb (19%), Sr (16%), Th (19%), Y (22%) in Zr (53%). Omeniti moramo, da je pravilnost Ca, As, Cd, Pb in Y slaba predvsem pri nižjih vrednostih, za Zr pa je odstopanje večje od 30% v vseh analiziranih intervalih razpona.

Ponovljivost analitske metode smo ocenjevali z dvojniki naključno izbranih 34 vzorcev. Zelo dobro ponovljivost, z relativno razliko d (B l e j e c, 1976) pod 10%, imajo Al, Ca, Fe, K, Na, P, Ti, Ba, Cd, Co, Cr, Mn, Sc, Sr, V, Y, Zr, As_h in Ge_h. Relativno razliko d med 10 in 30% ima 9 prvin (Mg, As, Cu, La, Ni, Pb, Sb, Th in Zn). Slabo ponovljivost analitske metode ima 6 prvin ($d > 30\%$): Hg in Mo ter Bi_h, Sb_h, Se_h in Te_h. Enega izmed vzrokov slabe ponovljivosti lahko pripišemo nizkim vsebnostim prvin v vzorcih.

Na splošno lahko zaključimo, da so uporabljene analitske metode zelo zanesljive za Al, Fe, K, Mg, Na, Ti, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Sc in V; zanesljive je za As_h, Ca, La, Ni, Pb, Sr, Th, Y in Zn; zadržano pa moramo upoštevati vsebnosti Cd, Hg, Sb_h in Zr. Za Nb nismo imeli podatkov o priporočenih vrednostih standardov.

Rezultati raziskave

Osnovne statistike vsebnosti kemičnih prvin

Za izračun osnovnih statistik vsebnosti prvin v poplavnih sedimentih smo uporabili metode parametrične in neparametrične statistike. Iz obdelave smo najprej odstranili analize podatke prvin, katerih vsebnosti so bile v večini vzorcev pod mejo zaznavnosti (Ag, As, Au, Be, Bi, Ge, Se, Sn, Te, U in W). Nato smo izračunali osnovne vrednosti parametrične in neparametrične statistike za preostale prvine ter se na osnovi testov asimetričnosti (A), sploščenosti (E) in histogramov odločili za vrsto porazdelitve (normalna z naravnimi ali logaritmiranimi vrednostmi) posameznih prvin (tab.2).

Naravne vrednosti Al, Fe, K, Na, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Sc in V bolj ustrezajo normalni porazdelitvi kot logaritmirane vrednosti. Za ostale prvine (Ca, Mg, P, Ti, Cd, La, Nb, Pb, Sr, Th, Y, Zn, Zr, Hg, As_h in Sb_h) velja, da se logaritmirane vrednosti bolje prilagajajo normalni porazdelitvi.

Tab. 2. Sprejete porazdelitve in vrednosti
 Tab. 2. Accepted distributions and values

Prvina Element	Por.	N_{vz}/N_{an}	min	max	X	Me	s
Al	NOR	142/142	0.12	8.52	4.89	5.18	2.05
Ca	LOG	142/142	0.28	21.09	4.42	5.82	2.93
Fe	NOR	142/142	0.12	6.46	2.70	2.77	1.28
K	NOR	142/141	0.01	2.47	1.19	1.17	0.50
Mg	LOG	142/142	0.27	14.80	2.07	2.31	2.49
Na	NOR	142/142	0.02	1.55	0.70	0.72	0.39
P	LOG	142/142	0.012	0.238	0.051	0.053	1.801
Ti	LOG	142/142	0.01	0.96	0.24	0.27	2.32
Ba	NOR	142/142	8	1437	324	281	223
Cd	LOG	142/108	0.2	43.6	0.5	0.4	2.8
Co	NOR	142/140	1	21	10	10	4
Cr	NOR	142/142	6	176	63	60	32
Cu	NOR	142/140	1	50	19	19	9
Hg	LOG	140/140	10	1264000	77	60	5
La	LOG	142/138	2	132	21	24	2
Mn	NOR	142/142	45	2141	648	606	357
Nb	LOG	142/125	1	29	5	5	2
Ni	NOR	142/142	2	97	36	32	20
Pb	LOG	142/142	4	10320	26	21	3
Sc	NOR	142/136	1	24	10	10	5
Sr	LOG	142/142	50	346	109	104	1
Th	LOG	142/132	1	53	8	9	2
V	NOR	142/142	3	185	71	69	34
Y	LOG	142/140	2	48	12	12	2
Zn	LOG	142/142	5	7656	91	78	3
Zr	LOG	142/142	1	158	26	28	2
As _h	LOG	116/116	1.1	39.7	6.4	6.8	1.8
Sb _h	LOG	116/109	0.1	19.3	0.5	0.4	2.6

- Al, Ca, Fe, Mg, Na, P in Ti v %, Hg v mg/t, ostale prvine v g/t.

- Por. - porazdelitev (NOR-normalna, LOG-logaritemska), N_{vz}/N_{an} - število vzorcev in število upoštevanih vrednosti, min - najnižja vrednost, max - najvišja vrednost, X - aritmetična ali geometrična sredina, s - standardni odklon, Me - mediana

- Al, Ca, Fe, Mg, Na, P in Ti in %, Hg in mg/t, remaining elements in g/t.

- Por - distribution (NOR - normal, LOG - lognormal), N_{vz}/N_{an} - number of samples analysed/considered, min - minimum, max - maximum, X - arithmetical or geometrical mean, s - standard deviation, Me - median

Faktorska analiza

Za oceno povezav med prvini smo uporabili faktorsko analizo vrste R (D a v i s, 1986). Iz skupine 28 obravnavanih prvini smo izločili Ba in Sr, ker nista kazala smiselnih povezav z ostalimi prvini. As_h in Sb_h sta bila določena samo v 116 vzorcih in ju zaradi tega tudi nismo vključili v faktorsko analizo. Rezultat je predstavljen z

vrednostmi faktorskih uteži, v odstotkih vrednosti pojasnjene variance za posamezne faktorje in komunalnosti obravnavanih spremenljivk (tab. 3).

Pet faktorjev skupaj pojasni 84 % celotne variance. Večina spremenljivk ima komunalnost večjo od 80 %. Rezultati faktorjske analize so podobni rezultatom cluster-ske analize.

Izračunali smo faktorjske vrednosti za vsak posamezni vzorec, kar je omogočilo izdelavo prostorske predstavitve faktorjskih vrednosti.

Tab. 3. Rotirane R-mode faktorjske uteži vsebnosti prvin v poplavnih sedimentih (N=140)

Tab. 3. Rotated R-mode factor loadings for chemical composition of overbank sediment (N = 140)

Prvina Element	F1	F2	F3	F4	F5	Komunalnost Communality
Al	.79	.25	.10	-.43	.17	91.47
Ca	-.38	-.21	.09	.81	.02	85.65
Fe	.84	.36	.22	-.22	-.08	93.53
K	.63	.08	.04	-.58	.26	80.42
Mg	-.30	-.44	.26	.65	-.08	78.43
Na	.67	.07	.03	-.56	-.13	79.18
P	.80	.39	.13	.04	.00	80.59
Ti	.80	.24	.08	-.31	.17	82.20
Cd	.08	.11	.86	.26	.04	81.77
Co	.54	.76	.11	-.23	-.03	92.68
Cr	.47	.69	.04	-.27	-.09	77.26
Cu	.27	.67	.42	-.13	.26	78.07
La	.88	.19	.03	-.22	.22	91.05
Mn	.57	.66	.04	-.09	-.09	76.86
Mo	-.05	.02	.90	.05	-.01	81.82
Nb	.80	-.07	.27	-.15	.10	74.66
Ni	.07	.93	.05	-.09	.10	89.15
Pb	.19	.01	.93	-.06	.12	92.65
Sc	.88	.29	.14	-.22	-.07	92.08
Th	.87	.08	.03	-.21	.26	88.57
V	.79	.44	.08	-.25	-.08	89.68
Y	.86	.29	-.05	.02	.27	89.42
Zn	.19	.13	.88	-.07	.01	83.62
Zr	.14	.35	.01	-.12	.82	82.43
Hg	.15	-.20	.13	.05	.81	73.15
VAR (%)	36.04	16.16	14.67	10.20	7.18	84.26

Geokemične karte poplavnih sedimentov

Poplavni sedimenti bi lahko bili zaradi njihovih že opisanih lastnosti dobro vzorčno sredstvo za izdelavo regionalnih geokemičnih kart Slovenije. Njihova osnovna pomanjkljivost je, da jih ni bilo mogoče pridobiti na celotnem ozemlju. Kljub temu smo se odločili za izdelavo geokemičnih kart Slovenije. Imamo jih lahko za preliminarno in manj zanesljivo zlasti iz naslednjih razlogov: vzorčenje poplavnega sedimen-

ta ni bilo izvedeno po mreži, lokacije vzorcev so bile izbrane na območju poplav, upoštevajoč dobro dostopnost. Zato je vzorčna mreža nepravilna in gostota vzorcev majhna, nekatera porečja pa so bila tudi povsem izločena.

Meje intervalov vsebnosti prvin in faktorskih vrednosti smo določili na osnovi percentilov porazdelitve v 6 razredov, in sicer: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-90 in 90-100 percentilov porazdelitve.

Grafični prikaz prostorske porazdelitve prvin in faktorskih vrednosti smo izvedli na dva načina:

- a) po vplivnih ozemljih in
- b) z interpolacijsko metodo.

a) Na topografski karti smo za vsak vzorec omejili vplivna ozemlja. To pomeni, da smo na karti od lokacije vzorca ob reki ali potoku zajeli ves prostor, ki se kakorkoli izpira v vodotok. Vplivna ozemlja posameznih vzorcev medsebojno mejijo na grebenih hribov, merijo pa od nekaj km² do skoraj 1000 km². Tako smo sestavili zaključene površine, ki predstavljajo vplivna ozemlja posameznih vzorcev (sl. 1). Prikazovanje geokemičnih podatkov po vplivnih ozemljih daje dokaj objektivno oceno povprečne kemične sestave opazovanega ozemlja in omogoča grobo, a zanesljivo odkrivanje ozemelj naravnih ali antropogenih virov anomalnih koncentracij v sedimentu.

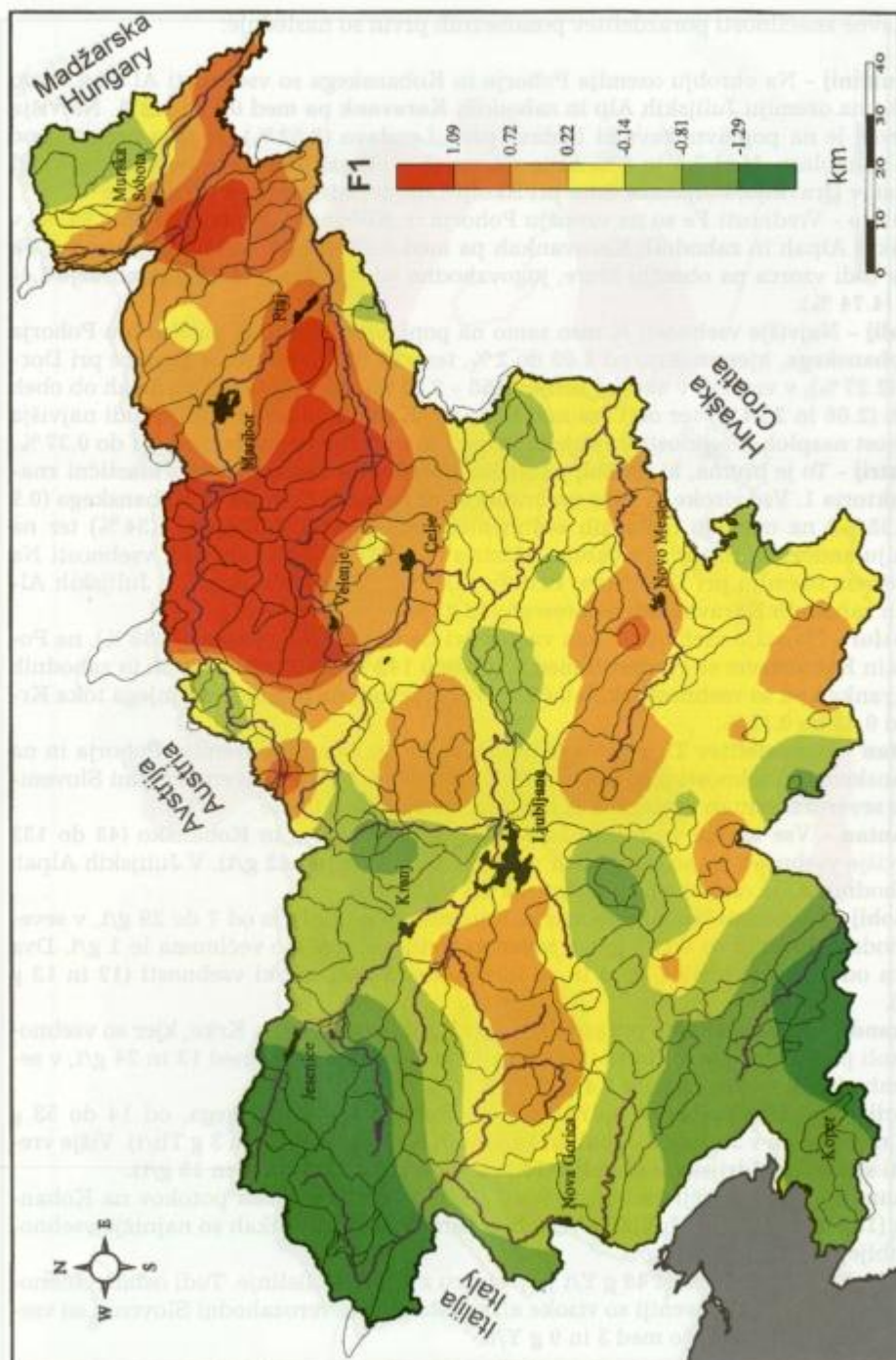
b) Geokemične karte z interpolacijo podatkov smo izdelali z univerzalnim krigiranjem z linearnim variogramom, ki temelji na teoriji regionalizirane spremenljivke (Davis, 1986; Perišić, 1983). Glede na nizko gostoto vzorčenja smo izbrali 50-kilometrsko polje iskanja podatkov (vplivno območje podatkov), 4-kvadratno iskanje s 4 točkami v vsakem kvadratu in izotropen prostor interpolacije. Interpolirane geokemične karte so navidez bolj pregledne in dobro prikazujejo trende porazdelitve prvin.

Porazdelitve prvin v poplavnih sedimentih

Izdelane geokemične karte faktorskih vrednosti in posameznih prvin (sl. 2 do 17) omogočajo opazovanja prostorskih porazdelitev in primerjave z geološko zgradbo, znanimi rudišči in nahajališči mineralnih surovin ter ostalimi značilnostmi nekega ozemlja (relief, raba tal, naseljenost, itd). V nadaljevanju podajamo porazdelitev faktorskih vrednosti in posameznih prvin. Pri opisih smo se omejili predvsem na porazdelitev vzorcev z visokimi vsebnostmi (nad 90. percentilom) in nizkimi vsebnostmi (pod 10. percentilom).

Faktor 1 (La, Sc, Th, Y, Fe, Nb, P, Al, Ti, V, Na, K)

Faktor pojasnjuje 36 % variance in vsebuje največje število prvin (tab. 3), s faktorskimi utežmi od 0.88 do 0.63. Faktor lahko poimenujemo glede na prostorsko porazdelitev faktor preperevanja (sl. 2). Najvišje pozitivne vrednosti so na ozemlju magmatskih in metamorfnihih kamenin Pohorja in Kobanskega ter molasnem ozemlju obrobja Panonskega bazena severovzhodne Slovenije. Višje faktorske vrednosti so tudi v dolini reke Krke ter v zahodnih Predalpah. Faktor ima najvišje negativne vrednosti v severozahodnem delu Slovenije, na ozemlju mezozojskih apnencev in doloimitov Julijskih Alp, vzhodnih Karavank in Savinjskih Alp ter ozemlju mešanih kamnin jugozahodne Slovenije. Faktor 1 prikazuje naravno porazdelitev prvin.



Sl. 2. Prostorska porazdelitev faktorja 1 (L.a, Sc, Th, Y, Fe, Nb, P, Al, Ti, V, Na, K), interpolirane vrednosti

Fig. 2. Areal distribution of factor 1 scores (L.a, Sc, Th, Y, Fe, Nb, P, Al, Ti, V, Na, K), interpolated values.

Glavne značilnosti porazdelitev posameznih prvin so naslednje:

Aluminij - Na obrobju ozemlja Pohorja in Kobanskega so vsebnosti Al od 6.33 do 8.28 %, na ozemlju Julijskih Alp in zahodnih Karavank pa med 0.1 in 1.2 %. Najvišja vsebnost je na poplavni ravnici Ledave pred Lendavo (8.52 %), ki teče pretežno po ozemlju molase. Med 7.5 in 8 % Al je v vzorcih z obrežij Poljskave neposredno pred izlivom v Dravinjo, Poljanske Sore pri Škofji Loki ter Idrijce pred Idrijo.

Železo - Vrednosti Fe so na vznožju Pohorja in Kobanskega med 4.37 in 6.64 %, v Julijskih Alpah in zahodnih Karavankah pa med 0.12 in 0.77 %. Visoki vsebnosti Fe imata tudi vzorca na obrežju Mure, jugovzhodno od Radencev (4.8 %) in obrežju Ledave (4.74 %).

Kalij - Najvišje vsebnosti K niso samo na poplavnih ravninah na obrobju Pohorja in Kobanskega, kjer znašajo od 1.05 do 2 %, temveč tudi na obrežju Pesnice pri Dornavi (2.27 %), v vzorcih v okolici Litije (1.55 - 2.29 %), na poplavnih ravninah ob obeh Sorah (2.06 in 2.24 %) ter ob Črni nad Črno pri Kamniku (2.47 %), ki je tudi najvišja vsebnost nasploh. Vsebnosti v Julijskih Alpah so najnižje in znašajo od 0.1 do 0.37 %.

Natrij - To je prvina, ki najbolj natančno opredeljuje nekarbonatno/klastični značaj faktorja 1. Vse visoke in višje vsebnosti so na ozemlju Pohorja in Kobanskega (0.9 do 1.55 %), na ozemlju molasnih sedimentov vzhodne Slovenije (do 1.34 %) ter na ozemlju andezitov in tufov v okolici Mozirja (do 1.32 %). Višji sta tudi vsebnosti Na na flišnem ozemlju pri Vremskem Britofu (1.01 in 1.06 %). Vsebnosti v Julijskih Alpah in zahodnih Karavankah ne presegajo 0.23 %.

Fosfor - Najvišjo vsebnost P ima vzorec pri Ledavi pred Lendavo (0.238 %), na Pohorju in Kobanskem so vrednosti med 0.107 in 0.142 %, v Julijskih Alpah in zahodnih Karavankah pa so vsebnosti okoli 0.02 %. Več P je tudi na ozemlju srednjega toka Krke, od 0.07 do 0.15 %.

Titan - Porazdelitev Ti je povsem podobna Fe, in sicer: na ozemlju Pohorja in na Kobanskem so vsebnosti med 0.5 in 0.96 %, le malo nižje so v severovzhodni Sloveniji. Na severozahodu so vsebnosti Ti nizke in znašajo do 0.07 %.

Lantan - Vse visoke vsebnosti La so vezane na Pohorje in Kobansko (43 do 132 g/t), višje vsebnosti pa so značilnost vzhodne Slovenije (do 42 g/t). V Julijskih Alpah in zahodnih Karavankah so vrednosti La do 4 g/t.

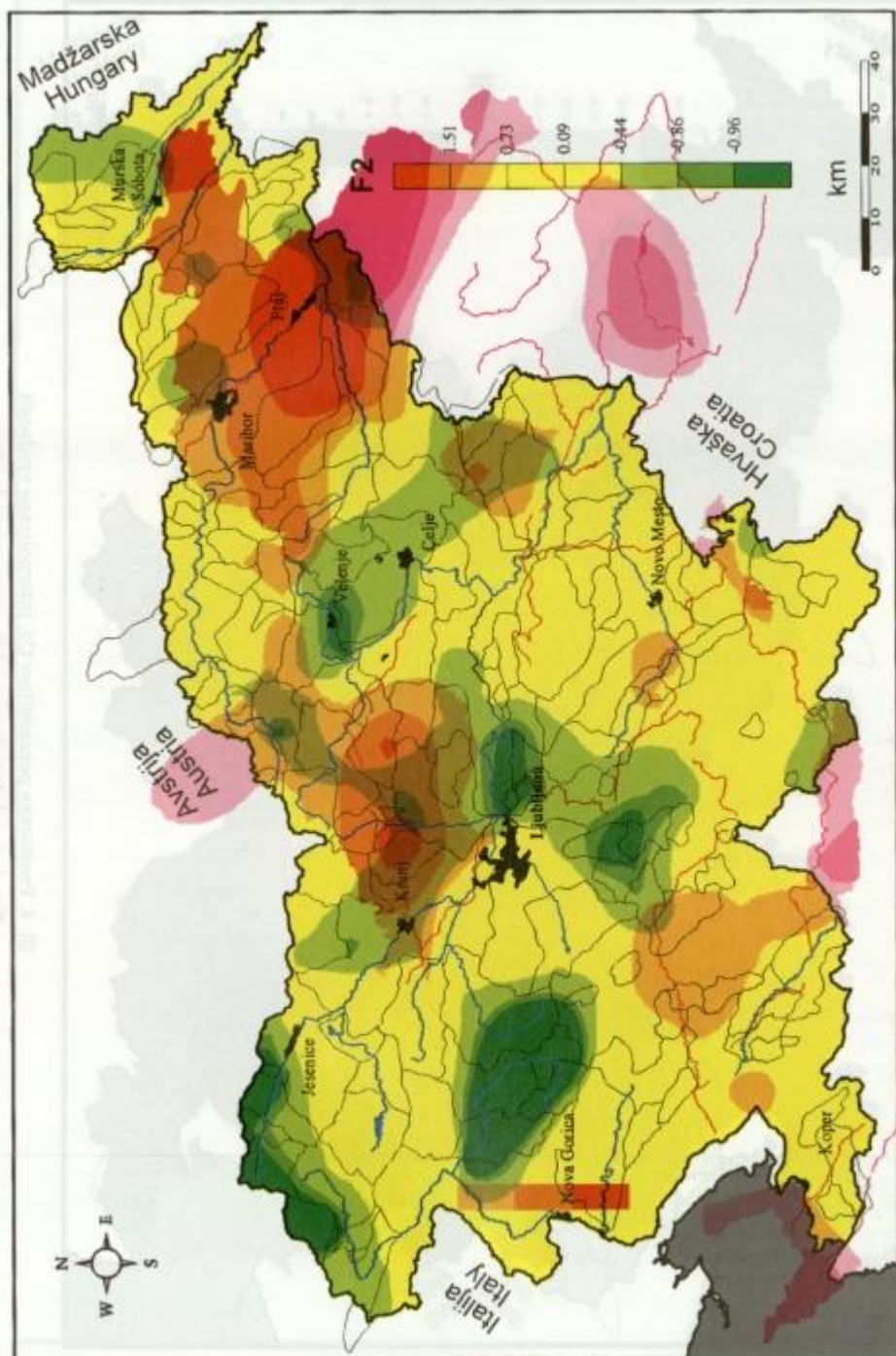
Niobij - Vsebnosti Nb na Pohorju in Kobanskem se gibljejo od 7 do 29 g/t, v severovzhodni Sloveniji so do 11 g/t, v severozahodni pa znašajo večinoma le 1 g/t. Dva vzorca odvzeta pri Idrijci, pred in za Idrijo, imata tudi visoki vsebnosti (12 in 13 g Nb/t).

Skandij - Kaže podobno porazdelitev kot P z izjemo ozemlja Krke, kjer so vsebnosti okoli povprečja. Na Pohorju in Kobanskem so vrednosti Sc med 13 in 24 g/t, v severozahodni Sloveniji pa med 1.4 in 2.8 g/t.

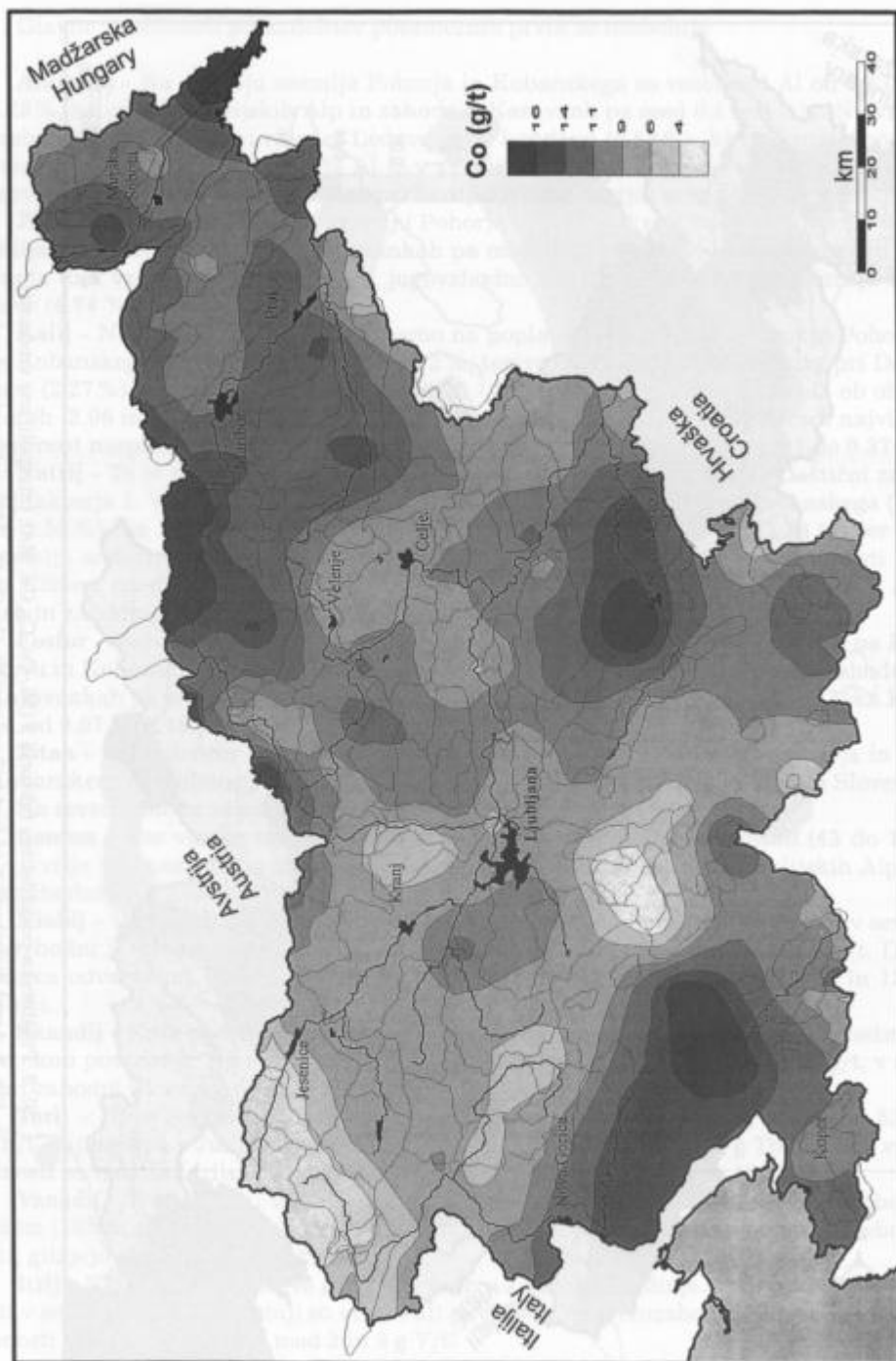
Torij - Najvišje vsebnosti so na ozemlju Pohorja in Kobanskega, od 14 do 53 g Th/t, najnižje pa v Julijskih Alpah in zahodnih Karavankah (1 do 3 g Th/t). Višje vrednosti so tudi na Idrijskem ozemlju (15 in 22 g/t) in ob Sorah (14 in 15 g/t).

Vanadij - Dve najvišji vsebnosti V sta na poplavnih ravninah potokov na Kobanskem (185 in 178 g/t). V Julijskih Alpah in zahodnih Karavankah so najnižje vsebnosti, gibljejo se med 3 in 26 g/t.

Itrij - Največja vsebnost 48 g Y/t je v vzorcu z obrežja Mislinje. Tudi ostale vsebnosti v severovzhodni Sloveniji so visoke ali povišane. V severozahodni Sloveniji so vsebnosti najnižje in znašajo med 3 in 9 g Y/t.

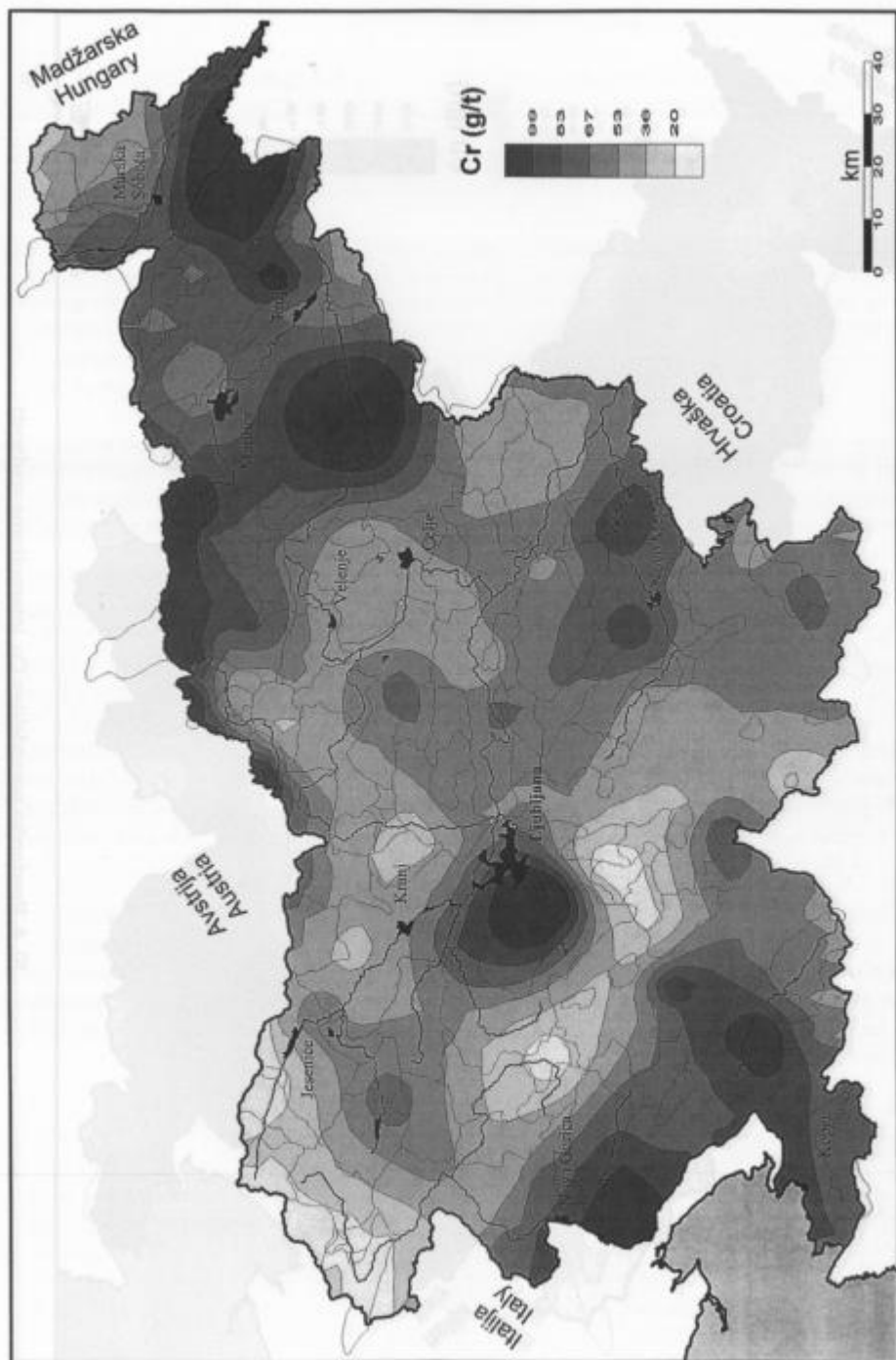


Sl. 3. Prostorska porazdelitev faktorja 2 (Ni, Co, Cr, Cu, Mn), interpolirane vrednosti
 Fig. 3. Areal distribution of factor 2 scores (Ni, Co, Cr, Cu, Mn), interpolated values



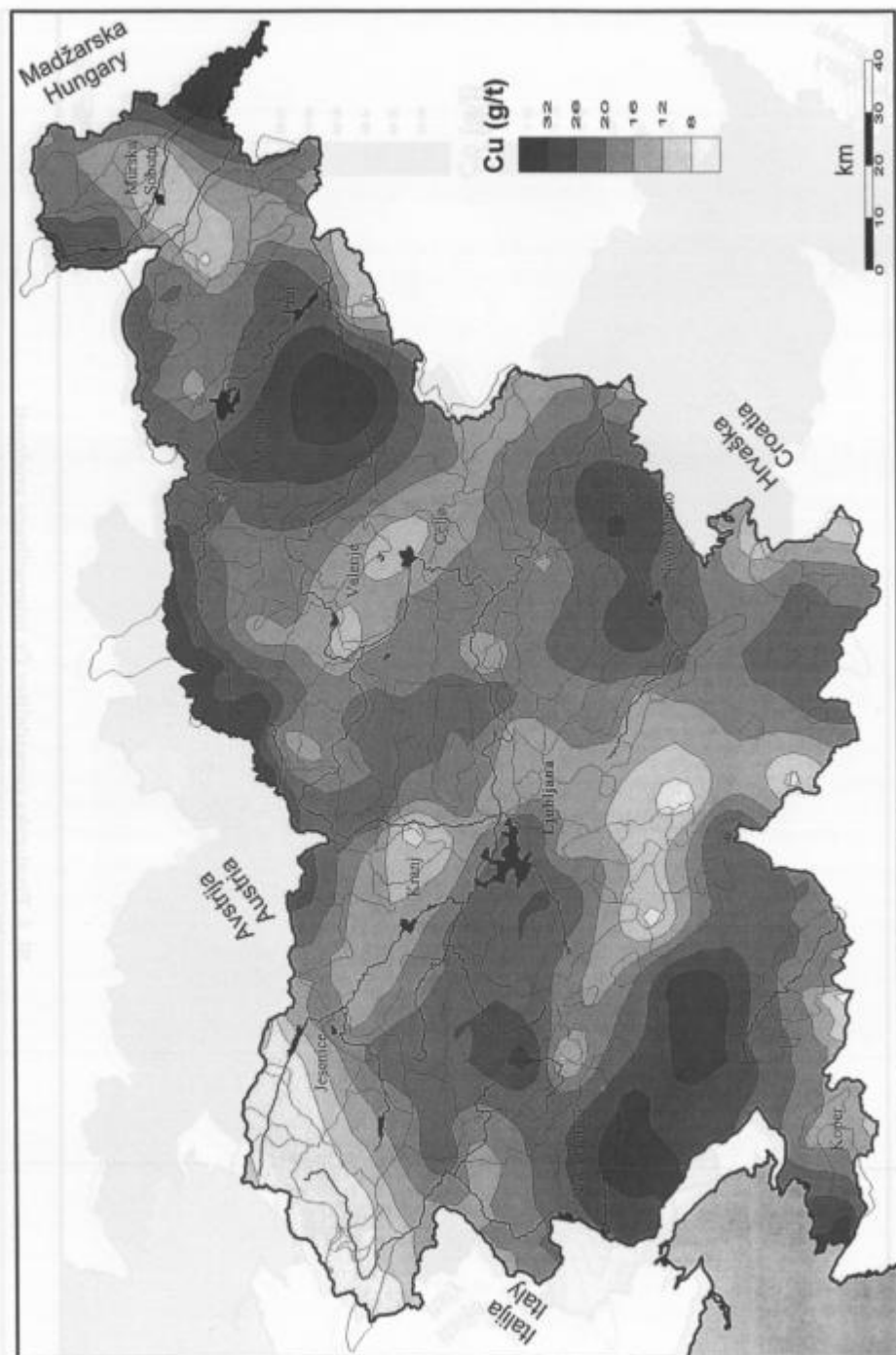
Sl. 4. Prostorska porazdelitev Co, interpolirane vrednosti

Fig. 4. Areal distribution of Co, interpolated values



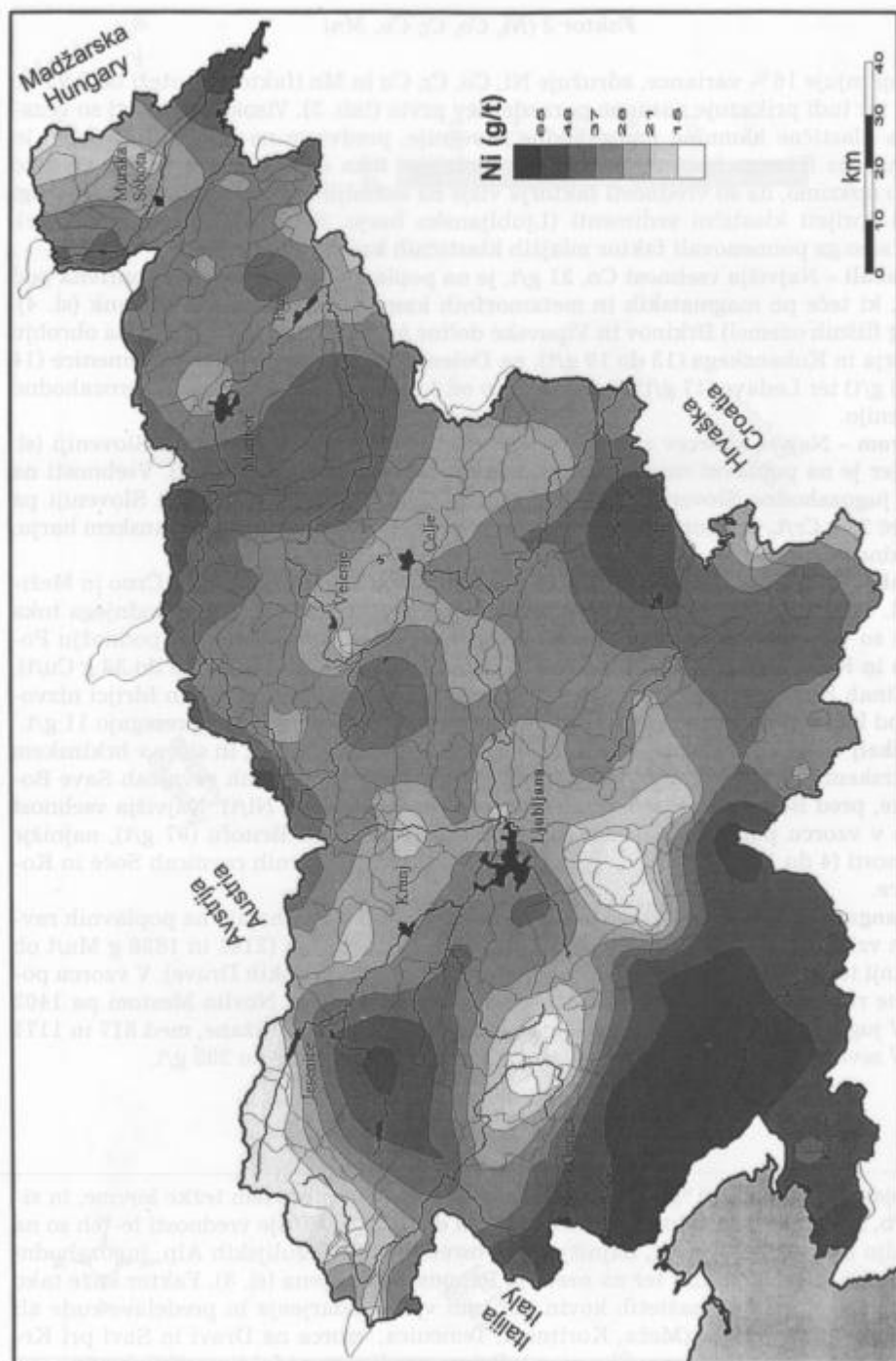
Sl. 5. Prostorska porazdelitev Cr, interpolirane vrednosti

Fig. 5. Areal distribution of Cr, interpolated values



Sl. 6. Prostorska porazdelitev Cu, interpolirane vrednosti

Fig. 6. Areal distribution of Cu, interpolated values



Sl. 7. Prostorska porazdelitev Ni, interpolirane vrednosti
Fig. 7. Areal distribution of Ni, interpolated values

Faktor 2 (Ni, Co, Cr, Cu, Mn)

Pojasnjuje 16 % variance, združuje Ni, Co, Cr, Cu in Mn (faktorske uteži od 0.93 do 0.66) ter tudi prikazuje naravno porazdelitev prvin (tab. 3). Visoke vrednosti so vezane na klastične kamnine jugozahodne Slovenije, predvsem na ozemlja istrskega in brkinskega flišnega bazena ter ozemlje srednjega toka reke Krke (sl. 3). Na splošno lahko opazimo, da so vrednosti faktorja višje na ozemljih, kjer izdanjajo fliš in drugi slabo sprijeti klastični sedimenti (Ljubljansko barje, Slovenske gorice, Pomurje). Zato smo ga poimenovali faktor mlajših klastičnih kamnin.

Kobalt - Najvišja vsebnost Co, 21 g/t, je na poplavni ravnici potoka Koprivna pod Peco, ki teče po magmatskih in metamorfnih kamninah vzhodnih Karavank (sl. 4). Poleg flišnih ozemelj Brkinov in Vipavske doline so visoke vsebnosti Co še na obrobju Pohorja in Kobanskega (13 do 19 g/t), na Dolenjskem v dolinah Krke in Temenice (14 do 20 g/t) ter Ledave (17 g/t). Vsebnosti Co od 1 do 5 g/t so značilne za severozahodno Slovenijo.

Krom - Največ vzorcev z visokimi vsebnostmi Cr je v severovzhodni Sloveniji (sl. 5), kjer je na poplavni ravnici Ščavnice najvišja vsebnost (176 g Cr/t). Vsebnosti na flišu jugozahodne Slovenije so med 99 in 148 g Cr/t, v severozahodni Sloveniji pa največ 22 g Cr/t. Opozorili bi še na visoko vsebnost 156 g Cr/t na Ljubljanskem barju, vzhodno od Notranjih goric.

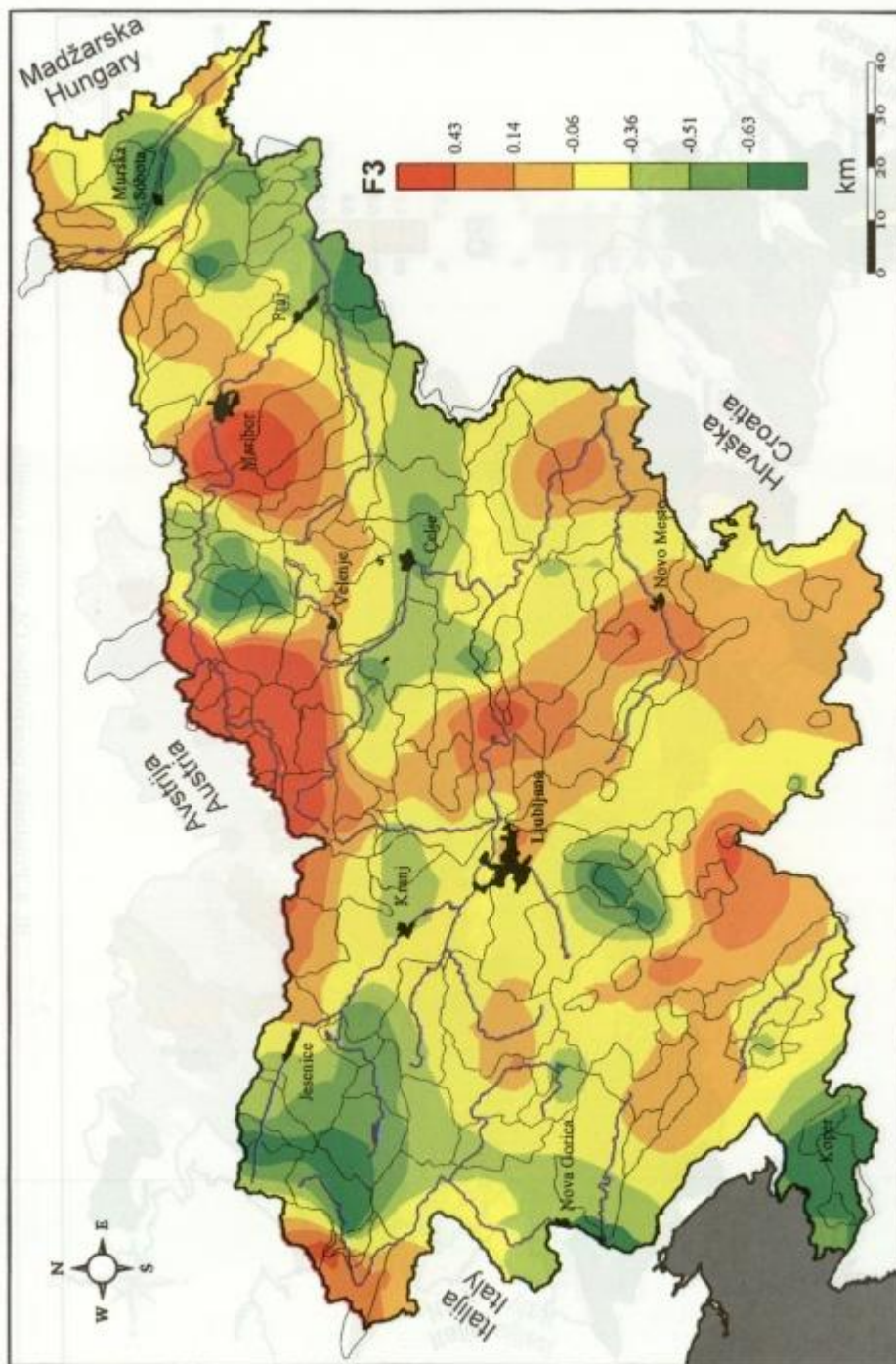
Baker - Najvišja vsebnost Cu 50 g/t je na poplavni ravnici Meže med Črno in Mezi-co (sl. 6). Tudi ostale vsebnosti v poplavnih sedimentih srednjega in spodnjega toka Meže so v najvišjem razredu (nad 32 g Cu/t). Visoke vsebnosti so še v podnožju Pohorja in Kobanskega (13 do 42 g Cu/t), flišu jugozahodne Slovenije (15 do 38 g Cu/t), v dolinah Krke in Temenice (23 do 42 g Cu/t) ter Ledave (42 g Cu/t) in Idrijci nizvodno od Idrije (37 g Cu/t). V severozahodni Sloveniji vsebnosti Cu ne presegajo 11 g/t.

Nikelj - Vse visoke vsebnosti Ni so v zahodni Sloveniji (sl. 7), in sicer v brkinskem in istrskem flišnem bazenu (od 43 do 97 g Ni/t) ter na poplavnih ravninah Save Bohinjke, pred Bohinjsko Bistrico in za Nomenjem (65 in 73 g Ni/t). Najvišja vsebnost Ni je v vzorcu poplavnega sedimenta Reke pri Vremskem Britofu (97 g/t), najnižje vrednosti (4 do 16 g Ni/t) pa so v Julijskih Alpah, na poplavnih ravninah Soče in Koritnice.

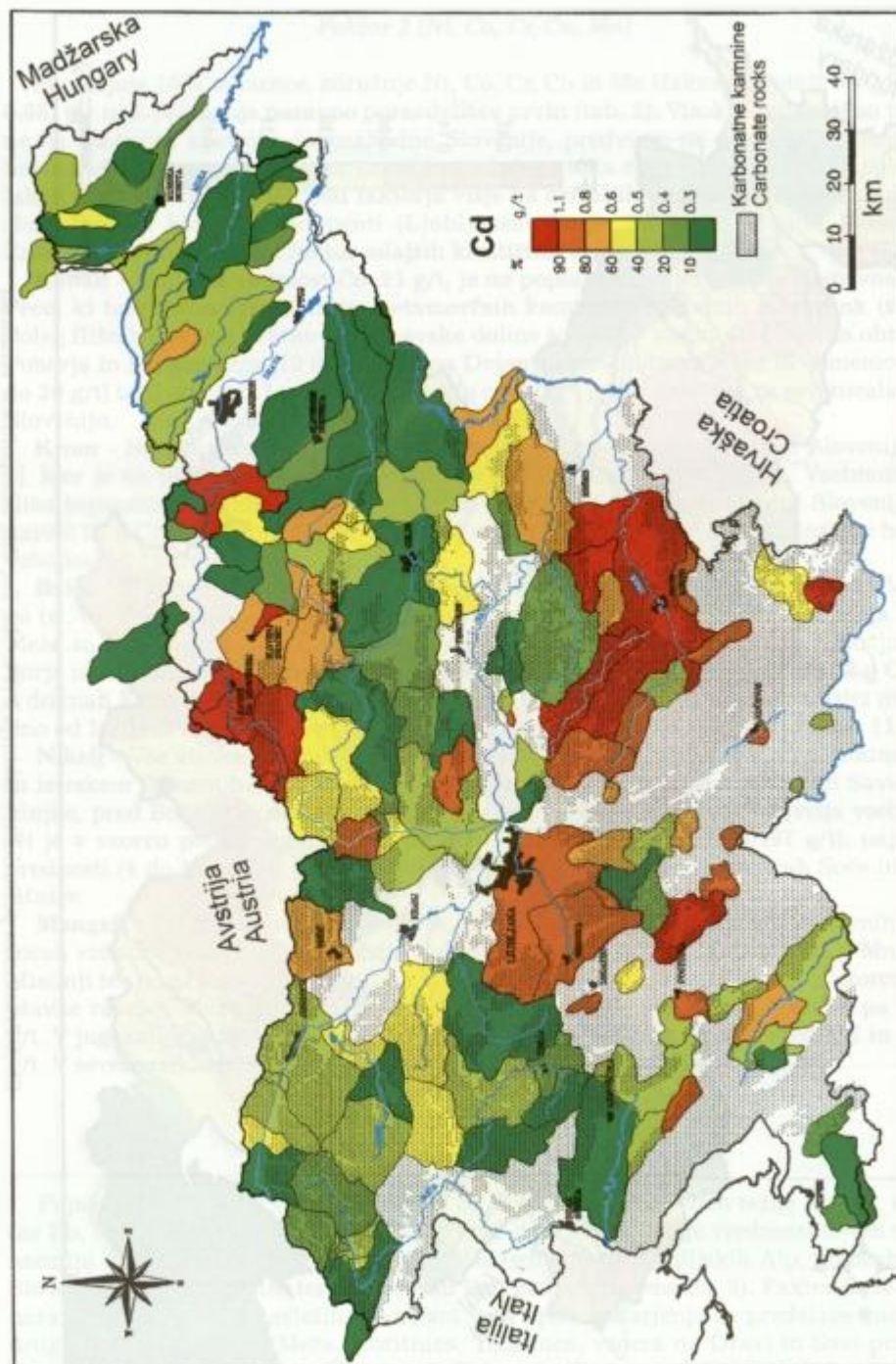
Mangan - Vse visoke vsebnosti Mn se, za razliko od Ni, nahajajo na poplavnih ravninah vzhodne Slovenije v podnožju Pohorja in Kobanskega (2141 in 1656 g Mn/t ob Mislinji ter od 811 do 1042 g Mn/t ob severnih in južnih pritokih Drave). V vzorcu poplavne ravnice Mure je vsebnost Mn 1405 g/t, pri Krki pod Novim Mestom pa 1402 g/t. V jugozahodni Sloveniji so vsebnosti Mn, razen v vzorcu Rižane, med 817 in 1171 g/t. V severozahodni Sloveniji so vsebnosti Mn najnižje, od 69 do 203 g/t.

Faktor 3 (Pb, Mo, Zn, Cd)

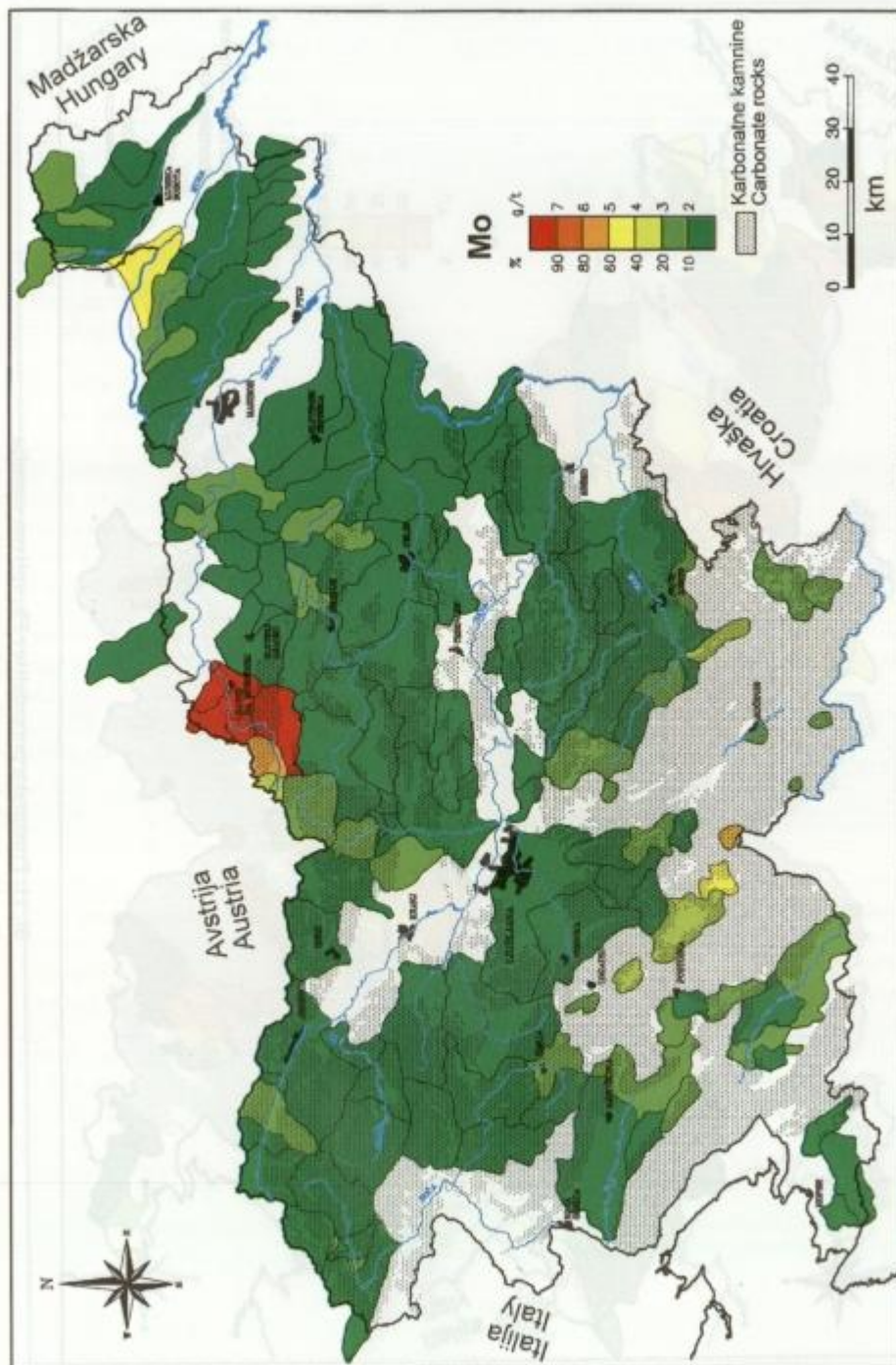
Pojasnjuje skoraj 15 % variance (tab. 3). Predstavlja predvsem težke kovine, in sicer Pb, Mo, Zn in Cd (faktorske uteži od 0.93 do 0.86). Najvišje vrednosti le-teh so na ozemlju mežiškega rudišča, najnižje pa v osrednjem delu Julijskih Alp, jugozahodni Sloveniji, Vipavski dolini ter na ozemlju Panonskega bazena (sl. 8). Faktor kaže tako naravno porazdelitev naštetih kovin kot tudi vpliv rudarjenja in predelave rude ali drugih onesnaževalcev (Meža, Koritnica, Temenica, vzorca na Dravi in Savi pri Krškem, potok Rak v Rakovem Škocjanu). Poimenovali smo ga faktor težkih kovin.



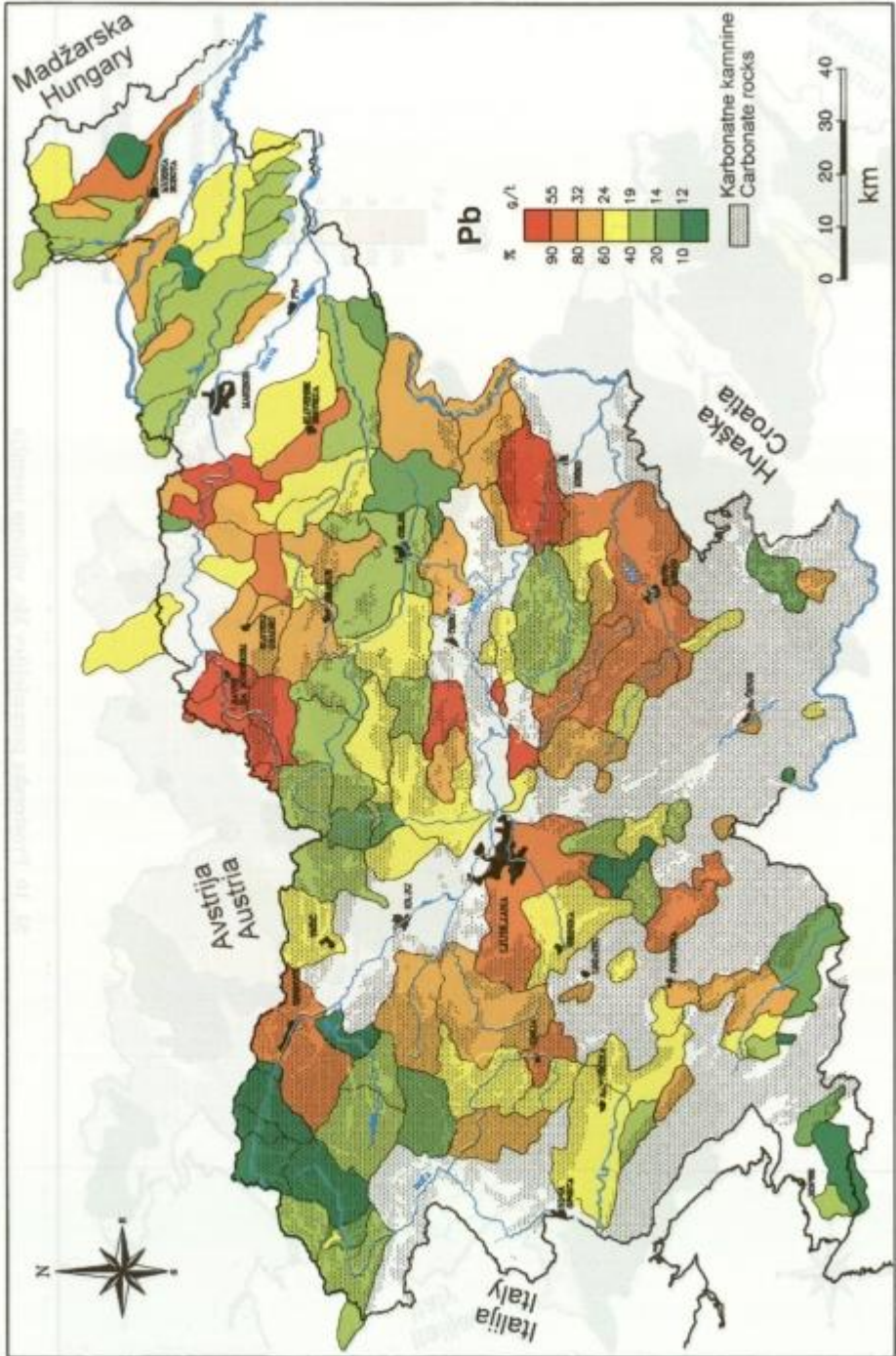
Sl. 8. Prostorska porazdelitev faktorja 3 (Pb, Mo, Zn, Cd), interpolirane vrednosti
 Fig. 8. Areal distribution of factor 3 scores (Pb, Mo, Zn, Cd), interpolated values



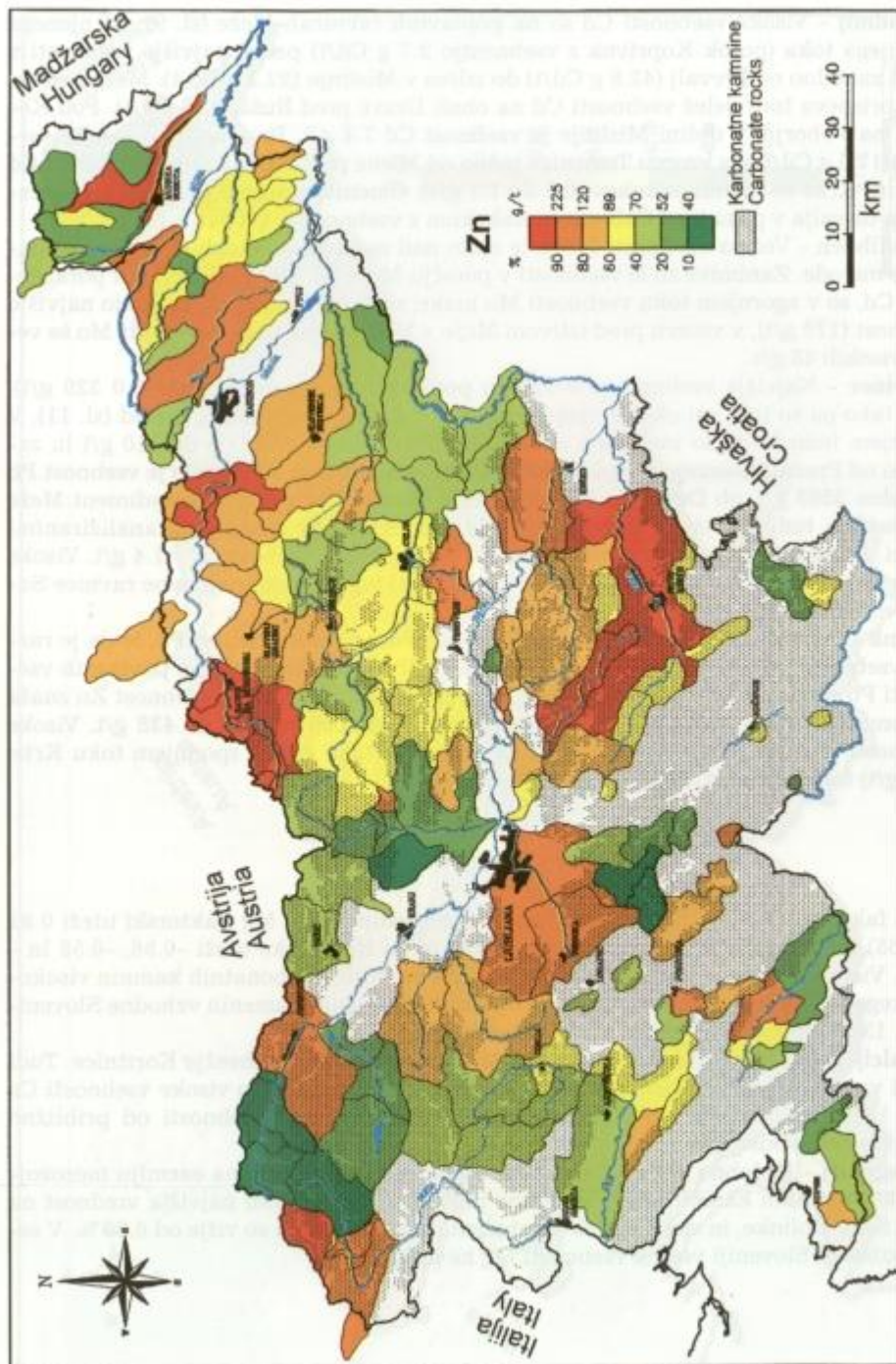
Sl. 9. Prostorska porazdelitev Cd, vplivna ozemlja
 Fig. 9. Areal distribution of Cd, areas of influence



Sl. 10. Prostorska porazdelitev Mo, vplivna ozemlja
 Fig. 10. Areal distribution of Mo, areas of influence



Sl. 11. Prostorska porazdelitev Pb, vplivna ozemlja
Fig. 11. Areal distribution of Pb, areas of influence



SL 12. Prostorska porazdelitev Zn, vplivna ozemlja
Fig. 12. Areal distribution of Zn, areas of influence

Kadmij - Visoke vsebnosti Cd so na poplavnih ravninah Meže (sl. 9): od njenega zgornjega toka (potok Koprivna z vsebnostjo 2.7 g Cd/t) preko najvišje vsebnosti v celoti zahodno od Prevalj (42.8 g Cd/t) do izliva v Mislinjo (22.2 g Cd/t). Meža nedvomno prispeva tudi delež vsebnosti Cd na obali Drave pred Rušami (3.0 g/t). Pod Koprjami na Pohorju, v dolini Mislinje je vsebnost Cd 7.4 g/t. Presenetljivo visoka vsebnost 17.5 g Cd/t je v vzorcu Temenice južno od Mirne peči. Višje so tudi vrednosti Cd v dolini Krke in njenih pritokov (0.7 do 1.1 g/t). Omeniti moramo tudi vzorce zakrselega ozemlja v pasu med Čabrom in Rakekom z vsebnostmi Cd okoli 1 g/t.

Molibden - Večina vrednosti Mo je le malo nad mejo zaznavnosti (1 ali 2 g/t) analitske metode. Zanimive so le vsebnosti v porečju Meže (sl. 10). Podobno kot porazdelitev Cd, so v zgornjem toku vsebnosti Mo nizke, nato pri Prevaljah dosežejo najvišjo vrednost (179 g/t), v vzorcu pred izlivom Meže v Mislinjo pa znaša vsebnost Mo še vedno visokih 43 g/t.

Svinec - Najvišja vsebnost je v vzorcu poplavnih sedimentov Meže (10 320 g/t), prav tako pa so tudi vsi okolni vzorci uvrščeni v najvišji vsebnostni razred (sl. 11). V zgornjem toku Meže so vsebnosti okoli 150 g Pb/t, nato naraščajo do 910 g/t in zahodno od Prevalj dosežejo preko 10 000 g Pb/t. Pred izlivom v Mislinjo je vsebnost Pb še vedno 3563 g/t, ob Dravi pri Rušah pa celo visokih 252 g Pb/t. Za sediment Meže so značilne tudi najvišje vrednosti Mo, Cd, Zn, Sb in As med vsemi analiziranimi vzorci. Poleg tega je na omenjenem ozemlju tudi najvišja vsebina Ag - 1.4 g/t. Visoke vrednosti Pb so tudi v okolici Litije (87 do 384 g/t) ter v vzorcu poplavne ravnice Save pred Krškimi (56 g/t).

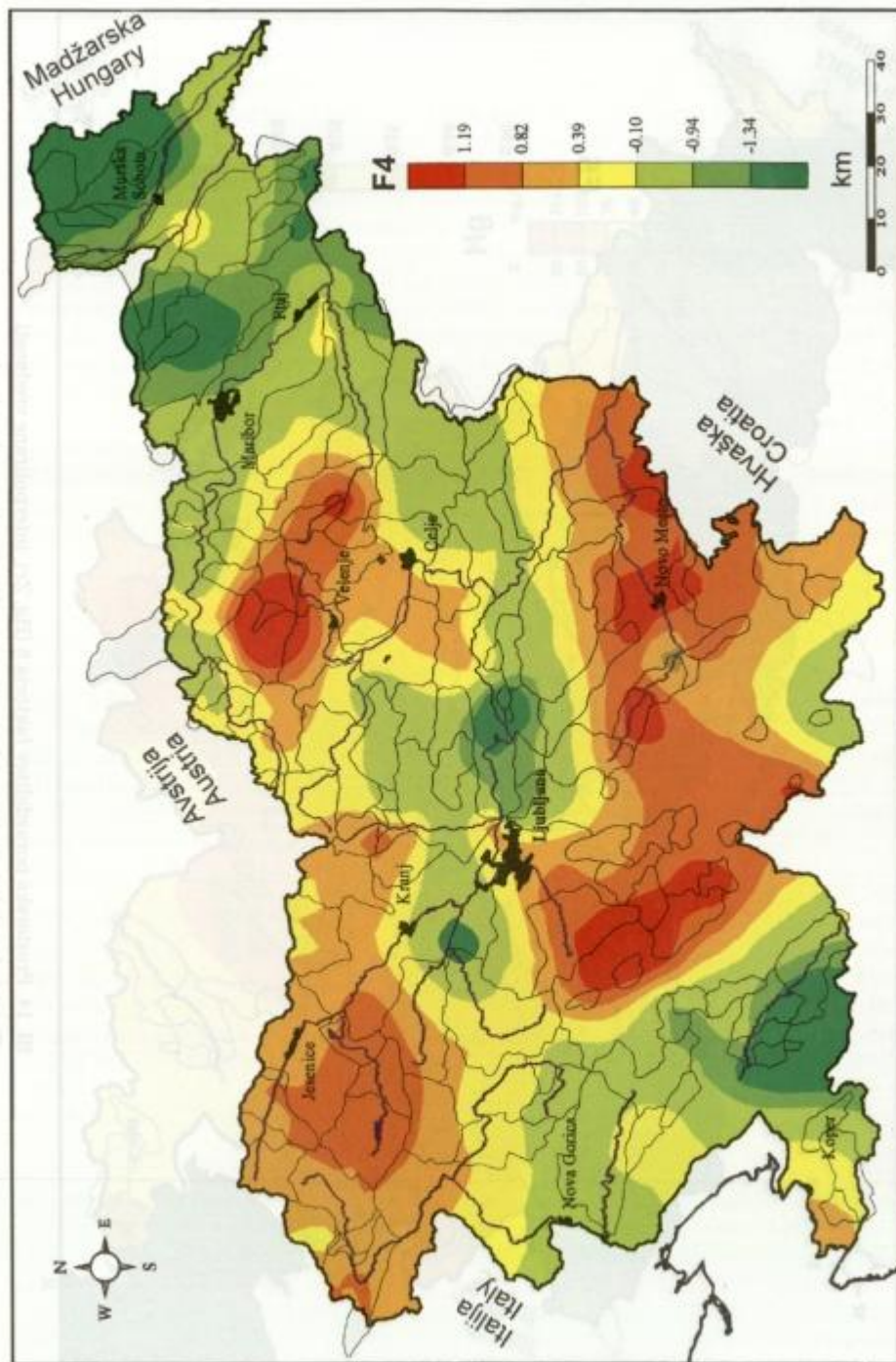
Cink - Porazdelitev Zn vzdolž toka Meže je podobna porazdelitvi Pb, le da je razpon vsebnosti od 591 do 7565 g Zn/t (sl.12). Tudi na ostalih ozemljih povišanih vsebnosti Pb so visoke vsebnosti Zn, razen v severozahodni Sloveniji. Vsebnost Zn znaša v vzorcu Koritnice 396 g/t, v dolini Soče pa so vsebnosti od 154 do 438 g/t. Visoke vrednosti ima Zn še na poplavni ravnici Temenice (250 g/t), v spodnjem toku Krke (236 g/t) ter ob Ledavi (225 g Zn/t).

Faktor 4 (Ca, Mg, -Na, -K, -La)

Ta faktor pojasni 10 % variance (tab.3) in združuje Ca in Mg (faktorski uteži 0.81 in 0.65) ter z negativnim predznakom Na, K in Al (faktorske uteži -0.56, -0.58 in -0.43). Visoke pozitivne vrednosti faktorja so na ozemljih karbonatnih kamnin visokogorskega reliefa, nizke vrednosti pa na ozemljih klastičnih kamenin vzhodne Slovenije (sl. 13). Poimenovali smo ga karbonatni faktor.

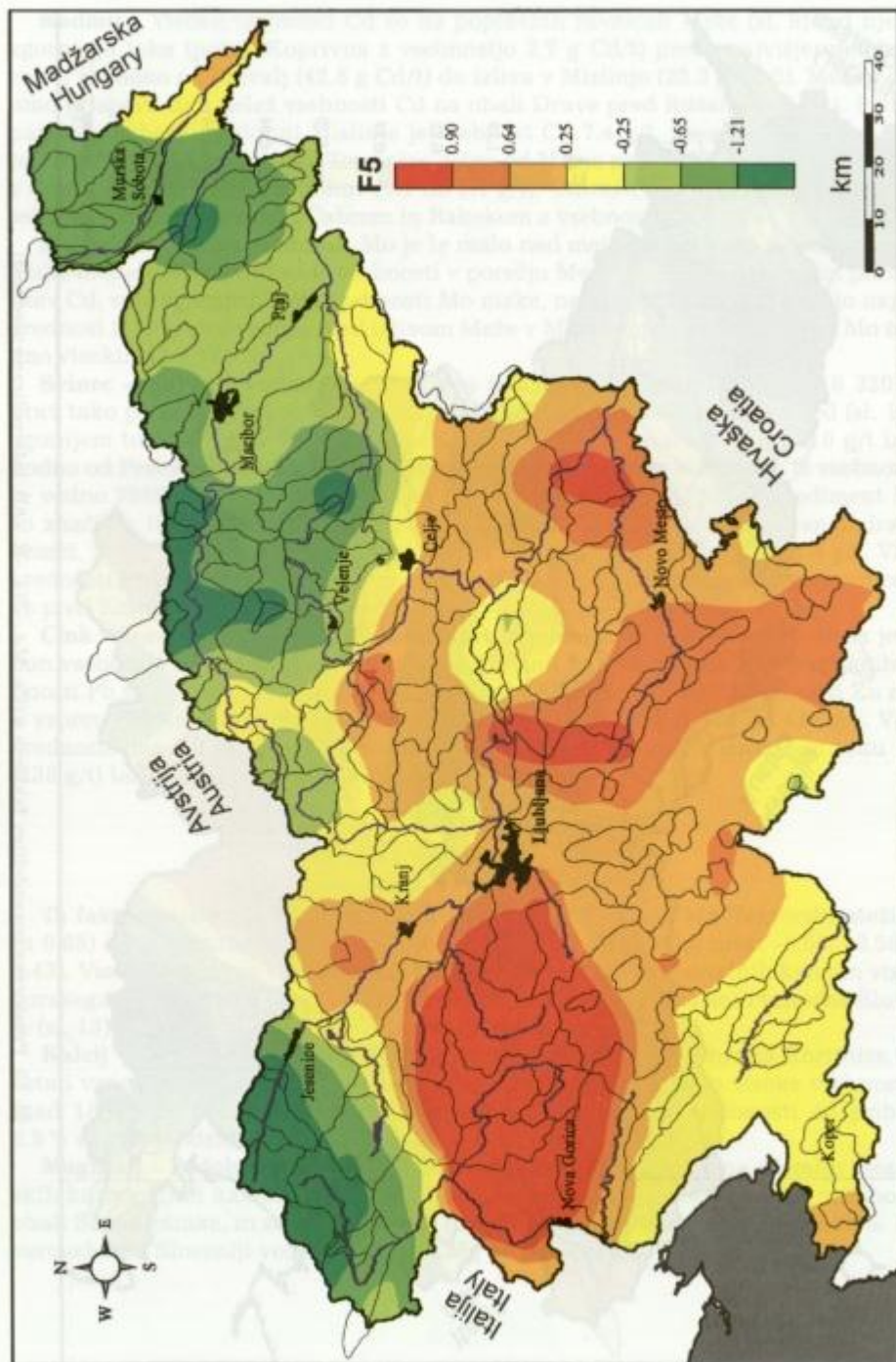
Kalcij - Najvišja vsebnost, in sicer 21.09 % Ca je v vzorcu z obrežja Koritnice. Tudi ostali vzorci ozemlja Julijskih Alp in zahodnih Karavank imajo visoke vsebnosti Ca (nad 18 %), za razliko od vzhodne Slovenije, kjer znašajo vsebnosti od približno 0.5 % do nekaj odstotkov.

Magnezij - Podobno kot za Ca so tudi vsebnosti Mg najvišje na ozemlju mezozojskih karbonatnih kamnin severozahodne Slovenije, kjer je tudi najvišja vrednost na obali Save Dolinke, in sicer 14.8 % Mg, preostale vrednosti pa so višje od 6.39 %. V severovzhodni Sloveniji večina vsebnosti Mg ne presega 1 %.



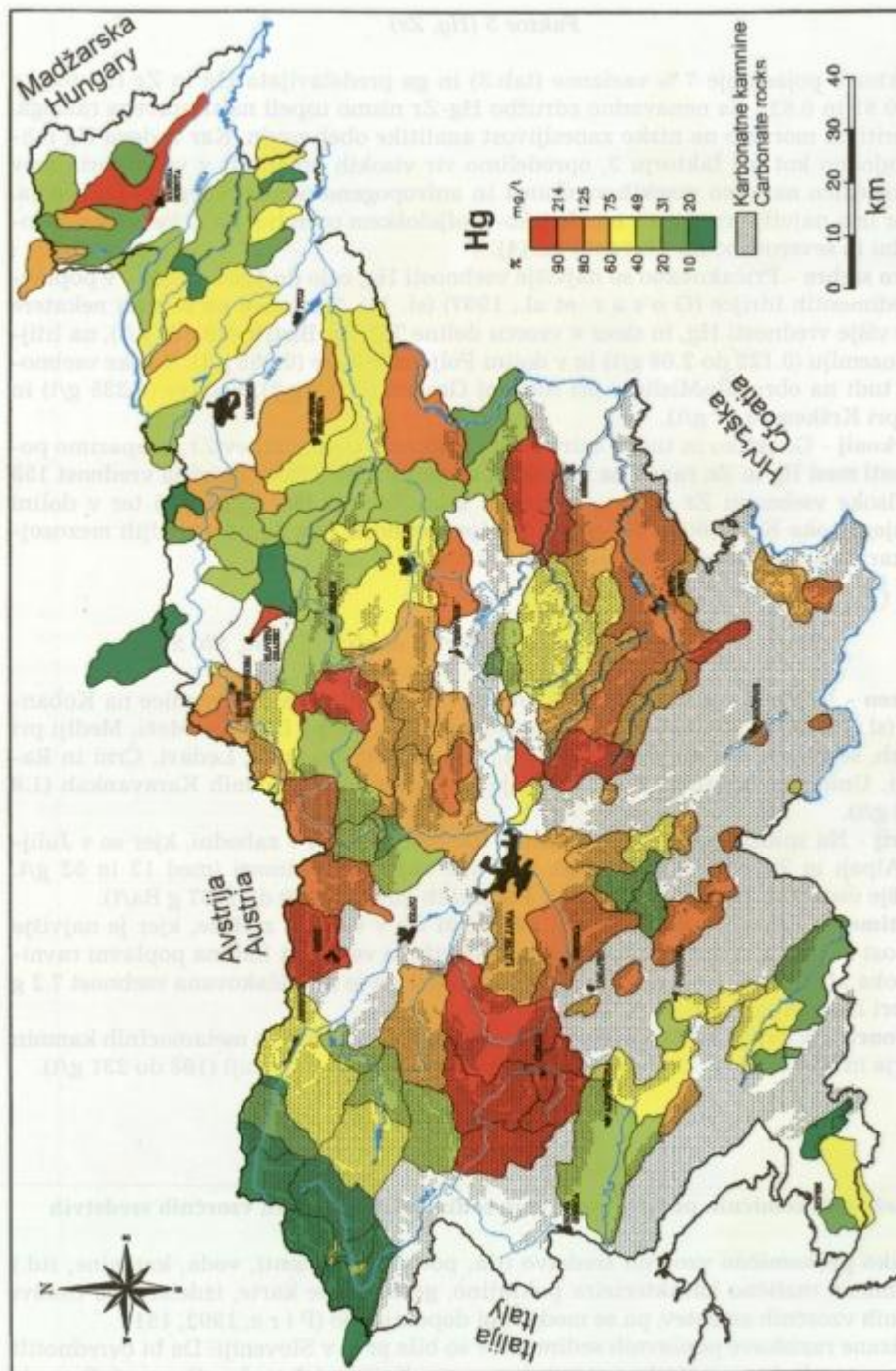
Sl. 13. Prostorska porazdelitev faktorja 4 (Ca, Mg., -Na, -K, -Al), interpolirane vrednosti

Fig. 13. Areal distribution of factor 4 scores (Ca, Mg., -Na, -K, -Al), interpolated values



Sl. 14. Prostorska porazdelitev faktorja 5 (Hg, Zr), interpolirane vrednosti

Fig. 14. Areal distribution of factor 5 scores (Hg, Zr), interpolated values



Sl. 15. Prostorska porazdelitev Hg, vplivna ozemlja

Fig. 15. Areal distribution of Hg, areas of influence

Faktor 5 (Hg, Zr)

Faktor 5 pojasnjuje 7 % variance (tab.3) in ga predstavljata Hg in Zr (faktorske uteži 0.81 in 0.82). Za nenavadno združbo Hg-Zr nismo uspeli najti pravega razloga, opozoriti pa moramo na nizko zanesljivost analitike obeh prvin. Kar zadeva Hg lahko, podobno kot pri faktorju 3, opredelimo vir visokih vrednosti v večini primerov kot posledico naravno visokih vrednosti in antropogeno povzročenega onesnaženja. Faktor ima najvišje vrednosti na idrijsko-škofjeloškem ozemlju, najnižje pa v severozahodni in severovzhodni Sloveniji (sl.14).

Živo srebro - Pričakovano so najvišje vsebnosti Hg, celo do 1264 g Hg/t, v poplavnih sedimentih Idrije (G o s a r et al., 1997) (sl. 15). Zanimive pa so tudi nekatere druge višje vrednosti Hg, in sicer v vzorcu doline Tržiške Bistrice (0.635 g/t), na litij-skem ozemlju (0.125 do 2.08 g/t) in v dolini Poljanske Sore (0.455 g/t). Visoke vsebnosti so tudi na obrežjih Mislinje pri Slovenj Gradcu (0.810 g/t), Ledave (0.235 g/t) in Save pri Krškem (0.81 g/t).

Cirkonij - Genetsko in tudi z ozirom na prostorsko porazdelitev Zr ne opazimo podobnosti med Hg in Zr, razen na idrijskem ozemlju, kjer je tudi najvišja vrednost 158 g/t. Visoke vsebnosti Zr so še v srednjem toku Savinje (68 do 81 g/t) ter v dolini spodnjega toka Krke (60 in 65 g/t). Najnižje vsebnosti ima Zr na ozemljih mezozojskih karbonatnih kamnin severozahodne Slovenije (1 do 12 g/t).

Prvine, ki niso bile zajete v faktorski analizi (As, Ba, Sb, Sr)

Arzen - Najvišja vsebnost As 39.7 g/t je na poplavni ravnici Črmenice na Kobanskem (sl. 16). Približno polovico manjše vsebnosti As so na Dravi in Meži, Mediji pri Izlakah, še nekoliko nižje (med 12 in 14.5 g/t) pa pri Ščavnici, Ledavi, Črni in Radomlji, Unici ter Poljanski Sori. Najnižje vsebnosti so v zahodnih Karavankah (1.8 do 2.3 g/t).

Barij - Na splošno je več Ba v vzhodni Sloveniji kot pa v zahodni, kjer so v Julijskih Alpah in Zahodnih Karavanah tudi vse najnižje vrednosti (med 12 in 52 g/t). Najvišje vsebnosti imajo trije vzorci v Posavskih gubah (1180 do 1437 g Ba/t).

Antimon - Omenili smo že visoke vsebnosti Sb v vzorcih z Meže, kjer je najvišja vsebnost 67 g/t (sl. 17). Po pričakovanju je povišana vsebnost tudi na poplavni ravnici potoka Medija pri Trojanah (19.3 g/t), vsekakor pa je nepričakovana vsebnost 7.2 g Sb/t pri Dragonji.

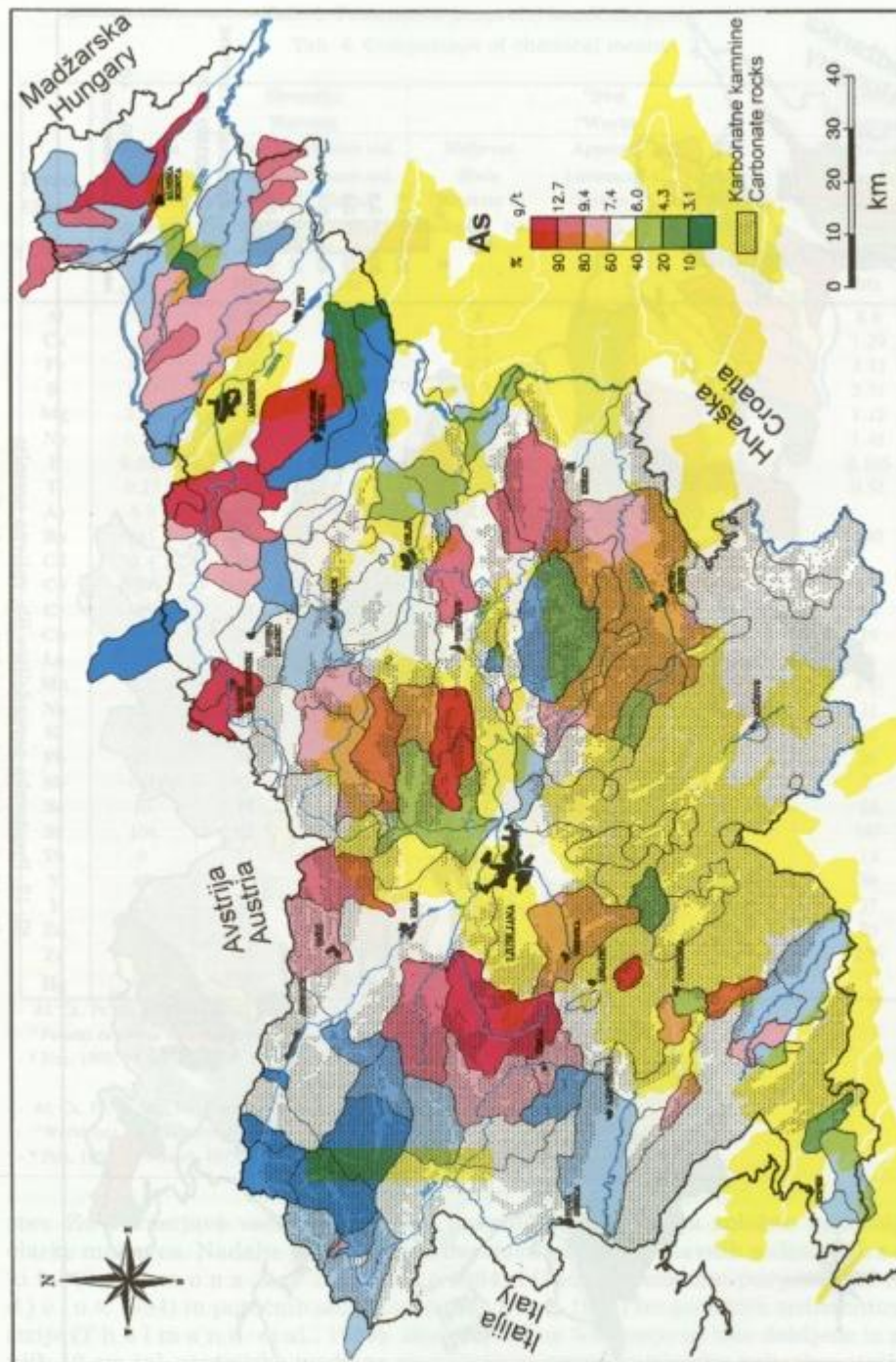
Stroncij - Najvišje vsebnosti Sr so na ozemlju magmatskih in metamorfnih kamnin Pohorja in Kobanskega (169 do 346 g/t) in v jugozahodni Sloveniji (198 do 231 g/t).

Razprava

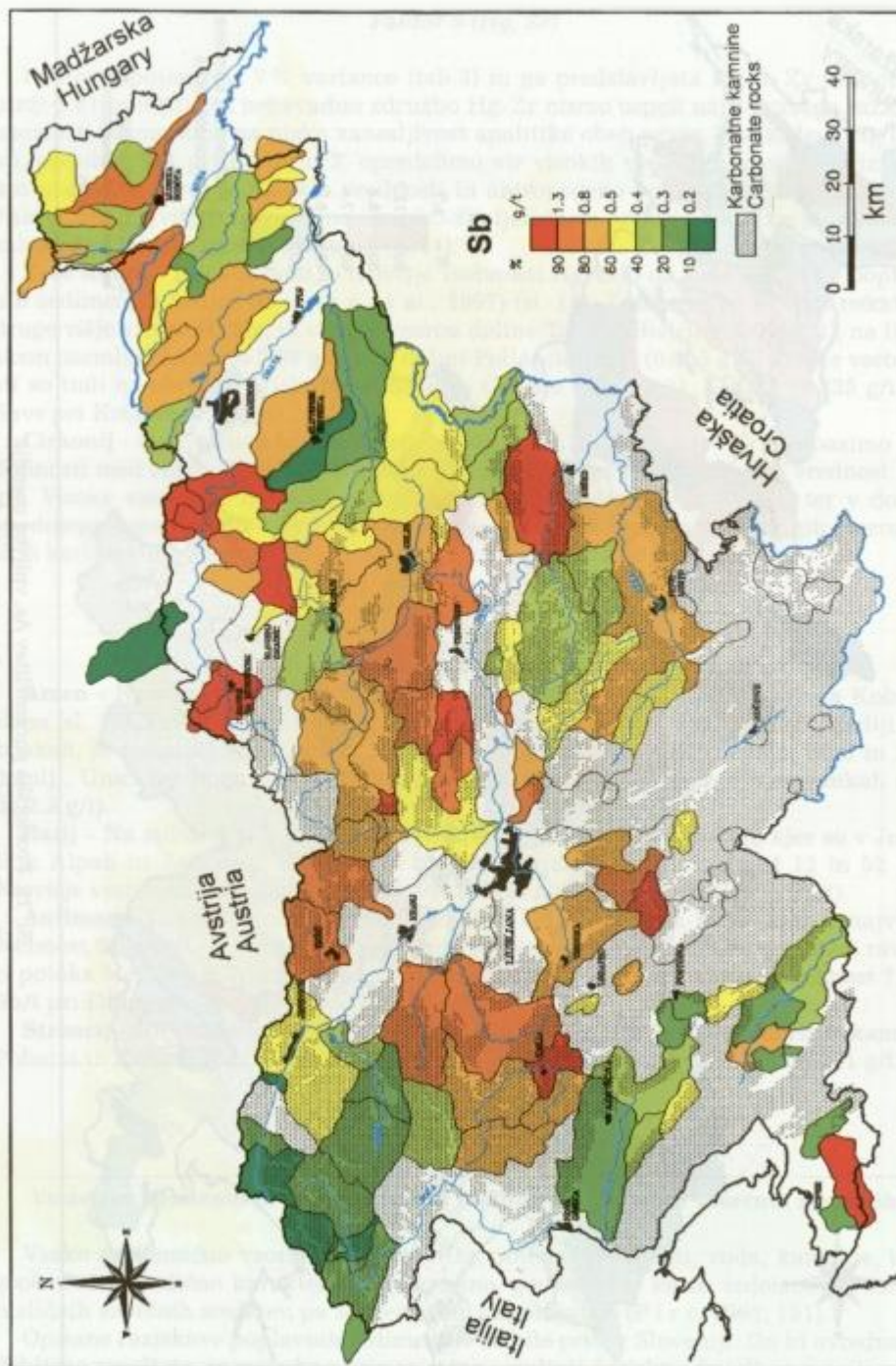
Vsebnosti kemičnih prvin v poplavnih sedimentih in drugih vzorčnih sredstvih

Vsako geokemično vzorčno sredstvo (tla, potočni sedimenti, voda, kamnine, itd.) geokemično različno karakterizira pokrajino, geokemične karte, izdelane na osnovi različnih vzorčnih sredstev, pa se med seboj dopolnjujejo (P i r c, 1992, 151).

Opisane raziskave poplavnih sedimentov so bile prve v Sloveniji. Da bi ovrednotili dobljene rezultate, so potrebne primerjave z rezultati raziskav drugih vzorčnih sred-



Sl. 16. Prostorska porazdelitev As, vplivna ozemlja
 Fig. 16. Areal distribution of As, areas of influence



Sl. 17. Prostorska porazdelitev Sb, vplivna ozemlja
 Fig.17. Areal distribution of Sb, areas of influence

Tab. 4. Primerjava povprečij kemičnih prvin

Tab. 4. Comparison of chemical means

Prvina Element	Poplavni sedimenti Overbank sediments N=142 Me	Slovenija Slovenia		Svet World			Avstrija Austria
		Tla Soil (Andjelov, 1994) N=819 Me	Potočni sed. Stream sed. (Sodar, 1995) N=129 Me	Muljevec Shale (Turekian & Wedepohl, 1961)	Apnenec Limestone (Bowen, 1982)	Tla Soil (Ure & Berow, 1982)	Potočni sed. Stream sed. (Thalmann et al., 1989) N=29 700 Me
		Al	5.18	6.92	6.62	8	0.7
Ca	5.82	0.78	1.98	2.2	34	2	1.29
Fe	2.77	3.8	3.04	4.7	1.7	3.2	3.72
K	1.17	1.4	1.48	2.7	0.3	1.8	2.31
Mg	2.31	0.83	0.83	1.5	0.6	0.8	1.12
Na	0.72	0.47	0.72	1	0.1	1.1	1.48
P	0.053	0.06	0.04	0.07	0.07	0.08	0.105
Ti	0.27	0.36	0.29	0.5	0.03	0.5	0.51
As	6.8	*4	7	13	1	11.3	
Ba	281	360	271	580	90	568	490
Cd	0.4	0.5	0.4	0.22	0.03	0.6	
Co	10	26	12	19	0.1	12	15
Cr	60	88	66	90	11	84	64
Cu	19	23	23	45	5.1	26	19
La	24	30	28	**40	**4.1	**30	51
Mn	606	904	695	850	620	760	850
Nb	5	6	7	**18	**0.3	**15	21
Ni	32	47	37	68	7	34	30
Pb	21	34	22	20	5.7	29	26
Sb	0.4	*2	0.4	1.5	0.3	1.7	2
Sc	10	13	13	13	1	10	14
Sr	104	82	98	140	610	278	187
Th	9	11	9	***12	***1.7	***13	13
V	69	113	72	130	45	108	98
Y	12	15	12	**41	***3.8	**50	37
Zn	78	103	81	95	20	60	80
Zr	28	45	42	160	20	345	256
Hg	60	*160	90	180	160	100	

- Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P in Ti v %, Hg v mg/t, ostale prvine v g/t

- ¹⁾ Podatki za svet iz Salmons & Förstner, 1984

- * Pirc, 1993; ** Schroll, 1975; *** Rose et al., 1979

- Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P and Ti in %, Hg in mg/t, other elements in v g/t

- ¹⁾ World data from Salmons & Förstner, 1984

- * Pirc, 1993; ** Schroll, 1975; *** Rose et al., 1979

stev. Za primerjave vsebnosti prvin v potočnih sedimentih na splošno uporabljamo clarke muljevca. Nadalje je smiselna primerjava prvin v poplavnih sedimentih s clarke tal (S a l o m o n s & F ö r s t n e r, 1984, 149) in slovenskimi povprečji tal (A n d j e l o v, 1994) in potočnih sedimentov (S o t l a r, 1995) ter potočnih sedimentov Avstrije (T h a l m a n n et al., 1989). Mediane tal za Slovenijo so bile dobljene iz zgornjih 10 cm tal, avstrijske mediane pa veljajo za vzorce z ozemlja nekarbonatnih ka-

mnin (tab. 4). Zaradi obsežnih karbonatnih ozemelj v Sloveniji smo navedli tudi Clarke apencev.

Opozoriti pa moramo na ugotovljeno nezanesljivo analitiko posameznih prvin v vzorcih poplavnih sedimentov. Podobno lahko predvidevamo tudi za določitve v ostalih vzorčnih medijih. Zaradi tega upoštevajmo zadržano zlasti podatke za As_h , Cd, Hg, Sb_h in Zr.

Na splošno kažejo poplavni sedimenti manjšo vsebnost večine opazovanih kemičnih prvin kot svetovna muljevca in tla z izjemo Ca in Mg. Njuni višji vrednosti, kot tudi višje ali nižje vrednosti nekaterih drugih prvin pripisujemo geološki zgradbi Slovenije, ki sestoji pretežno iz karbonatnih kamnin. V primerjavi s tlemi Slovenije je v poplavnih sedimentih Ca in Mg več. Za obe prvini velja, da se v tleh v naših klimatskih razmerah izpirata v globino (Č i r i ć, 1984). Po kemični sestavi so poplavni sedimenti pričakovano najbolj podobni potočnim sedimentom. Večja razlika je le za Ca in Mg, njune vrednosti so višje v poplavnih sedimentih. Delno lahko to pripišemo tudi samemu izvajanju vzorčenja potočnih sedimentov, kjer zbiramo praviloma čim drobnejšo (glinasto) frakcijo in posledičnemu izpadu karbonatnih drobcov iz vzorca.

Kemične prvine v poplavnih sedimentih in tleh vplivnih ozemelj

Poplavni sedimenti predstavljajo naraven kompozitni vzorec materiala vplivnega ozemlja nad mestom odvzema vzorca (E d e n, 1994). Da bi to preverili na ozemlju Slovenije, smo primerjali vsebnosti v poplavnih sedimentih in tleh vplivnih ozemelj poplavnih sedimentov. Uporabili smo podatke študije za izdelavo karte naravne radioaktivnosti, kjer so bili tudi analizirani točkovni vzorci površinskih 10 cm tal v vzorčni mreži 5 x 5 km (A n d j e l o v, 1994). Iz celotne podatkovne baze 819 vzorcev tal smo lahko izločili 393 vzorcev, ki izvirajo iz 43 vplivnih ozemelj vzorcev poplavnih sedimentov. V vsakem vplivnem ozemlju vzorca poplavnega sedimenta je bilo od 4 do 31 vzorcev tal. Za vsako vplivno ozemlje smo izračunali aritmetične sredine posameznih prvin v talnih vzorcih ter jih primerjali z vsebnostmi v poplavnem sedimentu (tab. 5). Tako smo lahko obravnavali 43 oz. 40 parov opazovanj (za As_h in Sb_h). Koefficienti korelacije r med prvinami v poplavnih sedimentih (ps) in srednjimi vrednostmi prvin v tleh (X_{tla}) vplivnih ozemelj vzorcev poplavnega sedimenta so visoko značilni za Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti, Ba, Ni, Sc, Sr, V in Zr. Lahko zaključimo, da so v dobri korelaciji večina glavnih prvin in le nekaj slednih prvin, medtem ko tiste, katere je človek izkoriščal ali vnašal v naravno okolje, zaradi specifičnosti posameznih vzorčnih medijev niso v medsebojni odvisnosti. To velja predvsem za kovine, kot so Cd, Cu, Mo, Pb, Zn, Sb_h ter As_h .

Osnovne geokemične značilnosti posameznih ozemelj Slovenije

V površinskih vzorčnih materialih, ki so najpogosteje uporabljani v geokemičnih raziskavah za sledenje mineralnih surovin, geokemično kartiranje ali v študijah onesnaženja okolja, se vedno srečujemo z vprašanjem geokemičnega ozadja. Omenili smo že, da geološka podlaga najbolj vpliva na kemično sestavo poplavnih sedimentov.

Pridobljeni podatki in geokemične karte poplavnih sedimentov nam omogočajo grobi opis geokemičnih značilnosti nekaterih predelov Slovenije (tab. 6), predvsem kje lahko pričakujemo visoke ali nizke vsebnosti posameznih prvin.

Tab. 5. Koeficienti korelacije r vsebnosti kemičnih prvin v vzorcih poplavnih sedimentov in tleh vplivnih ozemeljTab. 5. Correlation coefficients r of chemical composition of overbank sediment and soils in the areas of influence

Prvina Element	N	r	X_{ps}	X_{ts}	s_{ps}	s_{ts}
Al _{ps} - Al _{ts}	43	.66***	4.66	6.36	2.01	1.16
Ca _{ps} - Ca _{ts}	43	.70***	7.18	3.49	5.77	2.82
Fe _{ps} - Fe _{ts}	43	.65***	2.60	3.52	1.17	.79
K _{ps} - K _{ts}	43	.71***	1.16	1.43	.49	.38
Mg _{ps} - Mg _{ts}	43	.66***	2.79	1.50	2.69	.72
Na _{ps} - Na _{ts}	43	.80***	.73	.50	.37	.25
P _{ps} - P _{ts}	43	-.07	.059	.076	.040	.027
Ti _{ps} - Ti _{ts}	43	.58***	.31	.35	.19	.14
Ba _{ps} - Ba _{ts}	43	.58***	286.44	340.29	164.16	119.09
Cd _{ps} - Cd _{ts}	43	-.01	1.42	1.02	6.59	.70
Cr _{ps} - Cr _{ts}	43	.43**	68.58	82.33	36.59	20.82
Cu _{ps} - Cu _{ts}	43	.17	19.39	29.20	9.89	12.74
La _{ps} - La _{ts}	43	.21	23.70	28.31	12.14	7.29
Mn _{ps} - Mn _{ts}	43	.06	648.07	963.39	323.35	334.55
Mo _{ps} - Mo _{ts}	43	.04	5.46	1.80	27.88	.78
Nb _{ps} - Nb _{ts}	43	.24	5.67	6.16	3.62	2.07
Ni _{ps} - Ni _{ts}	43	.60***	37.37	49.33	21.41	17.59
Pb _{ps} - Pb _{ts}	43	.01	20.59	37.22	9.47	13.43
Sc _{ps} - Sc _{ts}	43	.60***	9.05	12.53	4.22	2.50
Sr _{ps} - Sr _{ts}	43	.67***	125.30	102.21	48.83	45.96
Th _{ps} - Th _{ts}	43	.47**	9.39	9.72	4.88	2.55
V _{ps} - V _{ts}	43	.54***	70.35	105.78	32.01	33.30
Y _{ps} - Y _{ts}	43	.17	13.56	17.01	5.53	5.89
Zn _{ps} - Zn _{ts}	43	.8	82.90	108.82	45.29	21.62
Zr _{ps} - Zr _{ts}	43	.64***	34.67	43.93	20.91	18.48
As _{ps} - As _{ts}	40	.17	6.54	7.19	2.83	3.17
Sb _{ps} - Sb _{ts}	40	.06	.62	3.62	1.14	1.46

- Indeks ps pomeni meritve v vzorcih poplavnih sedimentnih, indeks tla pa v tleh

- N - število obravnavanih vplivnih ozemelj, r - koeficient korelacije, X_{ps} - povprečna vrednost poplavnih sedimentov obravnavanih vplivnih ozemelj, X_{ts} - povprečna vrednost tal obravnavanih vplivnih ozemelj, s - standardni odklon

- Kritične vrednosti pri različnih nivojih zaupanja P: * 0.257 za P=95%, ** 0.358 za P=99%, *** 0.490 za P=99.9% (Le Maitre, 1982)

- Subscript ps means contents in overbank sediment, and subscript tla in soil

- N - number of considered drainage areas, r - correlation coefficient, X_{ps} - means for overbank sediment influence areas, X_{ts} - means for soil in the influence areas, s - standard deviation

- Critical values for various significance levels P: * 0.257 for P=95%, ** 0.358 for P=99%, *** 0.490 for P=99.9% (Le Maitre, 1982)

1) Večina prvin (Al, Fe, K, Na, P, Ti, Ba, Co, Cr, La, Mn, Nb, Ni, Sc, Th, V, Y, Zr) ima najnižje vsebnosti v severozahodni Sloveniji, to je na ozemljih Julijskih Alp in zahodnih Karavank, kjer izdanzajo razmeroma čisti apnenci in dolomiti. Po pričakovanju so na tem ozemlju najvišje vsebnosti Ca in Mg.

2) Vzorci poplavnih sedimentov na ozemlju povodja Krke imajo glede na karbonatno geološko sestavo vplivnega ozemlja svojevrstno geokemično sestavo. Faktorske vrednosti vseh 5 faktorjev, v katerih je zajetih 25 prvin, so visoke. Nekoliko bolj izrazito povišane so vsebnosti P in As.

Tab. 6. Značilnosti geokemične sestave poplavnih sedimentov za nekatera ozemlja Slovenije
 Tab. 6. Characteristics of geochemical composition of overbank sediments for certain regions of Slovenia

OZEMLJE - PREVLAJUJOČE KAMNINE TERRITORY - PREVAILING ROCKS	Poplavni sedimenti - Overbank sediments			
	Vsebnosti prvin (ocena) Element contents (estimation)			
	Najvišje Highest	Visoke High	Najnižje Lowest	Nizke Low
SZ SLOVENIJA - KARBONATI NW SLOVENIA - CARBONATES	Ca, Mg		Al, Fe, K, Na, P, Ti, Ba Co, Cr, La, Mn, Nb, Ni, Sc, Th, V, Zr, Y	
DOLENJSKA - KARBONATI DOLENJSKA - CARBONATES		*F1, F2, F3, F4, F5, P, As		
POHORJE, KOBANSKO - MAGMATSKÉ IN METAMORFNE KAMNINE MAGMATIC AND METAMORPHIC ROCKS	P, Na, Al, Ti, Fe, Co, La, Nb, Sc, Sr, Th, V, Y	Ba, K		Ca, Mg, Zr
JZ SLOVENIJA - FLIŠ SW SLOVENIA - FLYSCH	Ni, Co, Cr	Cu, Mn, Zr	Mg	
SV SLOVENIJA - MOLASA NE SLOVENIA - MOLASSE		P, Nb	Ca, Mg	
IDRIJSKO OZEMLJE IDRIJA TERRITORY	Hg, Nb	As, Th	Cr, Mn, Ni	Co
MEŽIŠKO OZEMLJE MEŽICA TERRITORY	Pb, Zn, Cd, Mo, As, Sb	Ba		

- * Povišani F1 (Al, Fe, Ti, K, Na, P, Ti, La, Nb, Sc, Th, V, Y); F2 (Co, Cr, Cu, Mn, Ni); F3 (Cd, Mo, Pb, Zn); F4 (Ca, Mg); F5 (Hg, Zr), P and As

- * Increased F1 (Al, Fe, Ti, K, Na, P, Ti, La, Nb, Sc, Th, V, Y); F2 (Co, Cr, Cu, Mn, Ni); F3 (Cd, Mo, Pb, Zn); F4 (Ca, Mg); F5 (Hg, Zr), P and As

3) Za ozemlje magmatskih in metamorfirnih kamnin Pohorja in Kobanskega ter v nižinah tudi njihovih razpadnih produktov (kvartarne in ivniške plasti), so značilne predvsem visoke vsebnosti Al, Fe, K, Na, P in Ti ter Ba, Co, La, Nb, Sc, Sr, Th, V in Y in nizke vsebnosti Ca, Mg in Zr.

4) V poplavnih sedimentih flišnega ozemlja jugozahodne Sloveniji so najvišje vsebnosti Ni, Cr in Co ter visoke Cu, Mn in Zr.

5) Molasno ozemlje severovzhodne Slovenije odlikujejo najnižje vsebnosti Ca in Mg ter višje vsebnosti Nb in P.

6) Za idrijsko in mežiško ozemlje so po pričakovanju značilne najvišje vsebnosti težkih kovin (Hg, Pb, Zn, Cd, Mo, Sb) in As, katere najdemo v mineralih rudnikov Idrija in Mežica.

Sklepi

Namen raziskave je bil vpeljati v slovenski prostor uporabo poplavnih sedimentov kot vzorčno sredstvo za geokemično kartiranje. Med prvimi v svetu smo uporabili in ovrednotili najmlajše poplavne sedimente, kakršne so zapustile velike poplave v letu 1990 in izdelali geokemične karte posameznih prvin.

Medianska povprečja kemičnih prvin poplavnih sedimentov in sedimentov aktiv-

nih vodotokov Slovenije so podobna. Primerjava poplavnih sedimentov s clarki muljevca in tal je pokazala, da so v poplavnih sedimentih vsebnosti večine opazovanih prvin nižje. Razlike pripisujemo zlasti geološki zgradbi Slovenije, ki je sestavljena v veliki meri iz karbonatnih kamnin. S primerjavo poplavnih sedimentov s tlemi Slovenije pa smo ugotovili močno soodvisnost večine glavnih prvin in le nekaterih slednih prvin (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti, Ba, Sc, Th, V, Zr), za razliko od večine težkih kovin, ki tega ne izkazujejo.

Številne visoke vsebnosti posameznih kovin v poplavnih sedimentih (Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Pb, Sb, Zn) lahko povežemo z znanimi rudišči in rudnimi pojavi ter razvito industrijo.

Vpliv reliefa in klime na preperevanje kamnin se jasno odraža v poplavnih sedimentih. Visokogorski relief in pretežno mehansko preperevanje kamnin sta glavna povzročitelja najvišjih vsebnosti Ca in Mg in najnižjih vsebnosti večine opazovanih kemičnih prvin v poplavnem sedimentu karbonatnega ozemlja Julijskih Alp. Izjemno nizke vsebnosti Ca in Mg ter visoke vsebnosti večine opazovanih prvin pa so rezultat nizkega reliefa in pretežno kemičnega preperevanje karbonatnih kamnin porečja Krke.

Zahvale

Avtorji se zahvaljujemo Inštitutu za geologijo, geotehniko in geofiziko, ki nam je omogočil delo na prikazani problematiki ter Ministrstvu za znanost in tehnologijo Republike Slovenije za financiranje raziskave. Posebna zahvale gre prof. dr. Simonu Pircu, ki je ves čas spremljal in sodeloval pri našem delu kot projektni vodja in mentor naših podiplomskih študijev, za tehtne pripombe in prevod v angleščino.

The use of recent overbank sediments in geochemical mapping of Slovenia

Introduction

Geochemical map is a basis for understanding the geochemical characteristics of a territory, and it assists in monitoring man-produced changes. The information contained in geochemical maps illustrates certain fundamental characteristics of structure and composition of the terrain that usually cannot be disclosed by other geologic or geophysical data (P i r c, 1992).

Geochemical maps are based on sampling and determination of concentrations of individual chemical elements in natural surficial materials. In geochemical mapping the sediments of active surface streams the river (brook) sediments have been routinely used as sampling material (B o g e n et al., 1992). O t t e s e n et al. (1989) legitimately questioned the representability of stream sediments for characterization of geochemical composition of a territory, and favoured in this sense the overbank sediment. This material is also drainage sediment which is deposited, however, from extremely high waters when water flux is greater than the capacity of the stream bed. Rivers therefore overflow their banks and run over the flood plains. They carry suspended material that becomes deposited on the plains when the water level starts dropping. During heavy rains the erosion in the drainage area is increased, and this is the reason why the sediment that is produced in these conditions is more representative of the territory upstream the sampling point than the ordinary stream sediment.

A group of geochemists from 12 western European geological surveys studied in the frame of the association FOREGS (Forum of European Geological Surveys) for five years (1988 to 1993) various aspects of overbank sediments in different European countries (Demetriades et al., 1990; Bölviken et al., 1993). They found overbank sediments an ideal sampling medium for geochemical mapping of western Europe because they (1) are present in all countries, (2) detected the already known geochemical provinces, (3) keep in their deeper parts the record of the pristine distribution of chemical elements, and (4) because the results of sampling the stream sediments correspond well to surface part of the overbank sediments.

The first promising results of investigations of the overbank sediments (Ottesen et al., 1989; Demetriades et al., 1990) and heavy inundations in 1990 that left much deposited material on flooded river banks all across Slovenia alerted us to start the sampling and studying of the recent overbank sediments and construction of experimental geochemical maps.

Materials and methods

Sampling

The overbank sediments were at the time of sampling (November 1990) the most recent surface material on riverbanks that was left by the flood waters when they receded to their beds. Most of samples were collected immediately after the floods. A few areas, however, were sampled later, in 1993 and 1994. The final total number of samples was 134 (Fig. 1).

On every selected flood plain a composite sample from at least three points in the perimeter of 50 m was collected. With a small plastic shovel 1-2 kg of material was collected into a plastic bag. In most of the cases the sampled material consisted of medium to fine grained sand and silt that usually were deposited on grassland.

Preparation for analysis

The sampled material was first dried on the open air and then in the fan oven at 40 °C. When dry, it was halved. Half of the material was saved, and the other half sieved through stainless steel sieves to grain size of 0.125 mm. The size that passed through this sieve was the material for analysis.

Digestion and chemical analysis

After the four acid digestion (HClO_4 - HNO_3 - HCl - HF) (ACME, 1995) the ICP was used to determine the concentrations of 35 elements: 8 major elements (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti, P) and 27 trace elements (Ag, As, Au, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, La, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc, Sb, Sn, Sr, Th, U, V, W, Y, Zn, Zr). Mercury was determined after aqua regia digestion with flameless atomic absorption spectrometry (AAS). A part of samples was analysed after aqua regia digestion also by ICP with hydride generation on As, Sb, Bi, Ge, Se and Ti. The mentioned determinations are marked h in the following text and in tables.

The samples were analysed in 1992, 1993 and 1995 (Tab. 1).

Reliability of analytical procedures

Censored values are called those analytical results that are below the lower, or above the upper limit of detection (M i e s c h, 1976, 26-27). Owing to more than 20% of censored values among the samples Ag, As, Au, Be, Bi, Mo, Sb, Sn, U, W, Bi_h, Ge_h, Se_h and Te_h were excluded from further consideration. As an exception, only Cd (25% of censored values below the LLD) was retained, and Mo that was recorded only in the Mežica region. For the elements with less than 20% of determinations below the detection limit, the censored values were substituted by 70% of the lower detection limit.

The accuracy of the analytical method was estimated by geological standard materials that were randomly included into the series of geochemical samples of sediments and soils that were analysed in 1992 to 1995 in the ACME Laboratories in Vancouver, Canada. Precision was monitored by replicating 34 randomly selected samples.

It follows that in general the applied analytical methods were very reliable for Al, Fe, K, Mg, Na, Ti, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Sc and V, reliable for As_h, Ca, La, Ni, Pb, Sr, Th, Y and Zn, and hardly reliable for Cd, Hg, Sb_h and Zr. No recommended values for Nb in standards were available.

Results of study

Basic statistics on chemical composition

Method of parametric and non-parametric statistics were used for estimating the statistical parameters of elemental composition of the overbank sediment.

From the procedures were first removed all determinations of Ag, As, Au, Be, Bi, Ge, Se, Sn, Te, U and W, as most of them were below the lower detection limit. The normality tests indicated for natural values of Al, Fe, K, Na, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Sc and V determinations a better approach to normality than their logarithms (Tab. 2). For other elements (Ca, Mg, P, Ti, Cd, La, Nb, Pb, Sr, Th, Y, Zn, Zr, Hg, As_h and Sb_h) the logarithms of their determinations give a better fit to normal distribution.

Factor analysis

For estimating the associations between elements the R mode factor analysis was used (D v i s, 1986). From the group of 28 considered elements Ba and Sr were eliminated because of lack of association with other elements. Further, As_h and Sb_h were determined in 116 samples only, and were therefore not included into the factor analysis.

With a five factor solution, 84% of total variance is explained (Tab. 3). For most of the variables the communalities are higher than 80%. Results of factor analysis are convergent with the results of the cluster analysis. Further, the factor scores for each sample were calculated which permitted to plot the geographic distribution of factors in Slovenia, and to draw maps.

Geochemical maps for overbank sediments

Owing to their already mentioned advantages the overbank sediments could be a good sampling medium for producing regional geochemical maps of Slovenia. Their major disadvantage, however, was that these sediments could not be found everywhere on the territory. In spite of the insufficient coverage of the national territory, we decided to draw the maps. The maps should be considered preliminary and less reliable for the following reasons: sampling the overbank sediment was not carried out along a regular spacing, and localities of samples were selected on the flooded areas only with respect to their easy access. Therefore the sample spacings are irregular, sampling density is small, and coverage insufficient: certain large drainage-basins were not sampled.

The six class intervals for elemental contents and factor scores were determined according to the values of the following percentiles of distributions: 0-10, 10-30, 30-50, 50-70, 70-90 and 90-100.

The graphical display of mapped elemental contents and factor scores was done in two ways:

(a) according to areas of influence. These are the parts of the drainage basins situated above the sampling point. The method gives a quite objective estimate of average chemical composition of the territory, and permits a rough but reliable detecting of locations of natural or man-made sources of anomalous concentrations.

(b) with interpolation method on the ground of universal kriging based on the linear type of the semivariogram. Geochemical maps produced in this way look smoother, and show well the broad regional elemental trends.

Elemental distributions in overbank sediments

The geochemical maps of factor scores and individual elements (Figs. 2 to 17) permit to plot the areal distributions and comparisons with the geologic composition, known ore deposits and other pertinent characteristics of the territory (relief, land use, urbanization, etc.).

Factor 1 (La, Sc, Th, Y, Fe, Nb, P, Al, Ti, V, Na, K)

By the first factor 36% of total variance within the data is accounted for, from La with factor loading 0.88 to K with the loading 0.63. The factor could be named according to the locations of its scores the factor of weathering of the igneous and metamorphic rocks and the molasse clastics. The highest positive scores occur on areas of outcropping igneous and metamorphic rocks of Mt. Pohorje and Kobansko, and on clastics of the margin of the Pannonian basin in northeastern Slovenia, and also in the Krka valley, and west in the foothills of the Alps. The most negative scores are found in northwest Slovenia, on Mesozoic limestones and dolomites of Julian Alps, in east Karavanke and in Savinja Alps, and on areas of carbonate and clastic rocks of southwest Slovenia.

Factor 2 (Ni, Co, Cr, Cu, Mn)

The factor explains 16% of total variance (Tab. 3). Also in it, the natural elemental

distribution is reflected. High scores occur on outcropping clastic rocks of southwest Slovenia, especially in the areas of the Istria and Brkini flysch basins and area of the middle course of the Krka river (Figs. 3 to 7). In general it can be seen that the factor 2 elements are higher in areas of exposed flysch and other clastic, less consolidated rocks (Ljubljana Moor, Slovenske gorice, Mura river region). Therefore it was preliminarily called the factor of younger clastic beds.

Factor 3 (Pb, Mo, Zn, Cd)

Almost 15% of total variance are accounted for by the factor (Tab. 3). Loaded on it are chiefly the heavy metals Pb, Mo, Zn and Cd. The highest contents of these occur in the region of the Mežica Pb-Zn deposit, and the lowest ones in the central part of Julian Alps, southwest Slovenia, Vipava valley and margins of the Pannonian basin (Figs. 8 to 12). The factor illustrates the natural distribution of the enumerated elements as well as the influence of mining and smelting of ores, and of other pollutants (rivers Meža, Koritnica, Temenica, two samples on the rivers Drava, and Sava near Krško, the brook Rak in Rakov Škocjan). The factor is named the heavy metals factor.

Factor 4 (Ca, Mg, -Na, -K, -Al)

It accounts for 10% of the total variance (Tab. 3) and is bipolar: earth alkali elements Ca and Mg loaded on the positive segment, and alkali elements Na and K, and Al on the negative one. High positive scores are typical for regions of carbonate rocks exposed in higher mountainous relief and low negative scores for clastic beds, and carbonate beds outcropping in low relief.

Factor 5 (Hg, Zr)

The factor explains 7% of total variance (Tab. 3). The unusual association of Hg with Zr had to remain unexplained. It should be mentioned, however, that the analytical method for determination of both elements was far from reliable. As in factor 3, the source of high Hg values can be defined in most of instances as a result of naturally high contents in rocks, and man-made pollution. The highest scores of the factor are in the Idrija-Škofja Loka region, and the lowest scores in the north Slovenia - in its western and eastern parts (Figs. 14 and 15).

Discussion

Elemental composition of overbank sediments and other sampling media

The investigations reported in the present paper are the first in which the overbank sediment in Slovenia is used. For interpreting the results they were compared to Clarkes of shale, soils and limestone (Salomons & Förstner, 1984), soil means for Slovenia (Andjelo v, 1994), stream sediments for Slovenia (Sotlar, 1995) and stream sediments for Austria (Thalman et al, 1989) (Tab. 4).

The general tendency of the studied overbank sediments are lower mean contents

of most of the considered elements than in world averages for shale and soil, except for Ca and Mg. Their higher means are attributed to the geological composition of Slovenia that is dominated by outcropping carbonate rocks.

With respect to soils of Slovenia the overbank sediments are enriched in Ca and Mg. Both elements are known to be profoundly leached in soil in our climatic conditions (Čirič, 1984). As expected, the elemental composition of the overbank sediments was found similar to a high degree to that of the stream sediments. A major difference occurs with Ca and Mg that are higher in the overbank sediments. This might be attributed in part to the differences in the sampling procedure; as a rule, for stream sediments the finest (clayey) fraction is usually collected, which contains a low proportion of carbonate particles.

Chemical elements in stream sediments and soils of their areas of influence

The overbank sediments represents a natural composite sample, which contains material from entire catchment basin upstream from the sampling site (Edeň, 1994). For verification, elemental contents of overbank sediments were compared with data for soils from a study for the radiometric map of Slovenia (Andjelov, 1994). The topsoil to 10 cm depth was sampled in a grid of 5x5 km. From the data matrix of 819 soil samples 393 samples were selected. They characterize the 43 overbank sediment areas of influence. For each of these areas from 4 to 31 soil samples were considered. The average contents in soils samples expressed by arithmetic means were compared to contents of corresponding overbank sediments (Tab. 5).

In this way 43 sets of elemental contents (40 for As_h and Sb_h) were compared. The correlation coefficients between elements in overbank sediments (subscribed ps) and the elemental means in soil (X_{tla}) of areas of influence are highly significant for Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti, Ba, Ni, Sc, Sr, V and Zr. Correlation is consequently good for most of the major elements and for a few trace elements. In contrast, the elements that occur in ores that were mined, or introduced by other anthropogenic activities into the natural environment do not show correlation. This is especially true for metals as Cd, Cu, Mo, Pb, Zn, Sb_h and As_h .

Geochemical characteristics of regions in Slovenia

In applications of surface sampling materials for geochemical surveys for mineral exploration or geochemical mapping for environmental purposes the question that is always present concerns the geochemical background. What is the natural background and what is not? The geologic substrate has a major influence on the composition of the overbank sediments. The analytical data and geochemical maps constructed thereof are a good means for broad scale geochemical characterization of Slovenia (Tab. 6). Here are a few regional geochemistry characteristics:

(1) Most elements (Al, Fe, K, Na, P, Ti, Ba, Co, Cr, La, Mn, Nb, Ni, Sc, Th, V, Y, Zr) have their lowest mean contents in northwestern Slovenia, in the areas of the Julian Alps and west Karavanke Mountains with relatively clean limestones and dolomites outcropping. As expected, here Ca and Mg are abundant.

(2) Overbank sediment samples in the Krka drainage area have a peculiar composition with respect to greatly predominant carbonate composition of the supply area.

The scores of all five factors on which 25 chemical elements are loaded are here positive and high. Even more increased are contents of P and As.

(3) For the areas of exposed igneous and metamorphic rocks of Pohorje and Kobansko, and their weathered products in young Tertiary and Quaternary beds especially high contents of Al, Fe, K, Na, P and Ti, beside Ba, Co, La, Nb, Sc, Sr, Th, V and Y are typical, and low contents of Ca, Mg and Zr.

(4) Overbank sediments of the flysch deposits of the southwest Slovenia contain the highest Ni, Cr and Co values, and high Cu, Mn and Zr values.

(5) The molasse deposits of northeast Slovenia are characterized by the lowest contents of Ca and Mg, and higher contents of Nb and P.

(6) Typical for the Idrija and Mežica metal ores mining areas are as expected the highest contents of heavy metals (Hg, Pb, Zn, Cd, Mo, Sb) and As, the minerals of which occur in the ores.

Conclusions

The aim of the study was the introduction into the Slovenian practice of the use of overbank sediments as the sampling material for geochemical mapping. Among the first in the world by us the recent overbank sediments, those deposited during the great floods in 1990, were used and interpreted, the corresponding geochemical maps made.

The mean chemical composition of overbank sediments and active stream sediments of Slovenia is similar. Comparison of overbank sediments with Clarkes for shale and soil showed lower means of most of considered elements in overbank sediments of Slovenia. The reason is attributed to the geologic composition of Slovenia that is dominated by high proportion of carbonate rocks. In comparison to the soils of Slovenia, however, a strong correlation of most of major elements was observed, but only a part of trace elements (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti, Ba, Sc, Th, V, Zr), and certainly not most of the heavy elements that do not show this association between the overbank sediment and the soil.

Numerous high contents of certain metals in the overbank sediments (Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Pb, Sb, Zn) could be related to known mineral deposits and ore occurrences, and with industry.

The influence of relief and climate on the rate of weathering is clearly visible in the overbank sediments. The high mountain relief and predominant mechanical weathering are the decisive contributors to high contents of Ca and Mg, and of the lowest contents of most considered chemical elements in the overbank sediment of the carbonate rock territory of the Julian Alps. The extremely low contents of Ca and Mg, and high values of the majority of chemical elements are, in contrast, the results of low relief and predominantly chemical weathering of carbonate rocks and very thick, mineral rich soils of the Krka drainage basin.

Acknowledgments

The authors are thankful to the Institute for Geology, Geotechnics and Geophysics, which made possible for us to work on the presented project and the Ministry for Science and Technology of the Republic of Slovenia for financing this research work.

We would like to express special gratitude to Prof. Dr. Simon Pirc, who provided us with background knowledge and information and helped us in many ways. He also acted as a project director, our tutor for postgraduate studies, adviser and translator into English as well.

Literatura - References

- Abbey, S. 1983: Studies in „standard samples“ of silicate rocks and minerals 1969 - 1982. - Geological Survey of Canada, 109 pp., Ottawa.
- ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD. 1993-1997: Assaying and geochemical analyses. - Acme Analytical Laboratories Ltd., Vancouver B. C.
- Andjelov, M. 1994: Rezultati radiometričnih in geokemičnih meritev za karto naravne radioaktivnosti Slovenije. - *Geologija*, 36, 223-248, Ljubljana.
- Blejec, M. 1976: Statistične metode za ekonomiste. - Ekonomska fakulteta, Univerza v Ljubljani, 687 str., Ljubljana
- Bogen, J., Bölvikén, B. & Ottesen, R. T. 1992: Environmental studies in Western Europe using overbank sediment. - In: Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins. Proceedings of the Oslo Symposium, Avgust 1992. IAHS Publ. 210, 317-325, Oslo.
- Bölviken, B., Bogen, J., Demetriades, A., DeVos, W., Ebbing, J., Hindel, R., Ottesen, R. T., Salminen, R., Schermann, O. & Swennen, R. 1993: Final report of the Working Group on Regional Geochemical Mapping 1986-93. - Forum of European Geological Surveys (FOREGS). Geological survey of Norway (NGU), Open File Report 93.092, 18 pp., 6 append.
- Bölviken, B., Kullerud, G. & Loucks, R. R. 1990: Geochemical and metallogenic provinces: A discussion initiated by results from geochemical mapping across northern Fennoscandia. - *J. Geochem. Explor.*, 39, 49-90, Amsterdam.
- Breznik, M. 1991: Analiza ujme 1990, kritika, naloge. - *Ujma* 5, 121-123, Ljubljana.
- Čirić, M. 1984: *Pedologija*. - SOUR Svjetlost, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, 311 str., Sarajevo.
- Darnley, A. G., Björklund, A., Bölvikén, B., Gustavsson, N., Koval, P. V., Plant, J. A., Steinfeld, A., Tauchid, M. & Xie Xuejing. 1995: A global geochemical database for environmental and resource management. Recommendations for International Geochemical Mapping. - Final report of IGCP Project 259, 122 pp., UNESCO Publishing
- Davis, J.C. 1986: *Statistic and data analysis in geology*. - Willey & Sons, 651 pp., New York.
- Demetriades, A., Locutura, J. & Ottesen, R. T. (Ed.) 1990: *Geochemical Mapping of Western Europe Towards the year 2000*. - Pilot project report, WEGS, Working Group on Regional Geochemical Mapping.
- Eden, P. 1994: Wide-spaced sampling of overbank sediment, till, humus and river water in Fennoscandia. Applicability for global geochemical mapping and environmental assessment. - Academic disertation, Aabo Akademi University, 49 pp., 4 app., Aabo.
- Eden, P. & Björklund, A. 1994: Ultra-low density sampling of overbank sediment in Fennoscandia. - *J. Geochem. Explor.*, 51, 265-289, Amsterdam.
- Gosar, M., Pirc, S. & Bidovec, M. 1997: Mercury in the Idrija River sediments as a reflection of mining and smelting activities of the Idrija mercury mine. - *J. Geochem. Explor.*, 1997, 58, 2/3, 125-131, Amsterdam.
- Kolbezen, M. & Škerjanc, K. 1991: *Katastrofalno visoke vode v Sloveniji 1.11.1990*. - V: *Vodna ujma - Slovenija - november 1990*. Posvetovanje v Slovenj Gradcu, Nivo Celje, Celje.
- Miesch, A. T. 1976: *Geochemical survey of Missouri; methods of sampling, laboratory analyzing, and statistical reduction of data*. - Geological survey professional paper, USGS, 954-a, 39 pp., Washington.
- Mikoš, M. 1996: *Poplav ne moremo odpraviti, lahko pa jih s premišljeno dejavnostjo omejimo*. - V: *časnik DELO, Znanost*, 20.12.1996, Ljubljana.
- Kauranne, K. 1988: In: Darnley, A. G. (Ed. and Project Leader), *NEWSLETTER NO.6, 1994, International Geochemical Mapping Projects 259 & 360*, Canada.
- Orožen Adamič, M. 1991: *Škoda ujme 1990 v Sloveniji*. - *Ujma* 5, 124-126, Ljubljana.
- Ottesen, R. T., Bogen, J., Bölvikén, B. & Volden, T. 1989: Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping. - *J. Geochem. Explor.*, 32, 257-277, Amsterdam.
- Pirc, S. 1992: *Geokemija okolja*. - V: *Onesnaževanje in varstvo okolja*, *Geologija in tehnika za okolje*, zbornik, 145-158, Ljubljana.

Perišić, M., 1983: Primjena geostatistike (knjigi 1 in 2). - Rudarski institut Beograd, 534 str., Beograd.

Potts, J. P. 1993: Laboratory Methods of Analysis. - In: Analysis of Geological Materials, Marcel Dekker, Inc., 123-220, New York.

Rose, A. W., Hawkes, H. E. & Webb, J. S. 1979: Geochemistry in mineral exploration, II ed. - Academic press, 657 pp., London.

Salomons, W. & Förstner, U. 1984: Metals in the Hydrocycle. - Springer-Verlag, 348 pp., Berlin.

Schroll, E. 1975: Analytische Geochemie, Band I. - Enke, 292 S., Stuttgart.

Sotlar, K. 1995: Potočni sediment kot vzorčno sredstvo za izdelavo geokemične karte Slovenije. - 114 str., Ljubljana. (Diplomsko delo, Knjižnica odseka za geologijo, NTF).

Thalman, F., Schermann, O., Schroll, E. & Hausberger, G. 1989: Geochemischer Atlas der Republik Österreich. Textteil, 144 S., - Ferdinand Berger & Söhne Ges., Wien.

Xie, H. & Cheng, H., 1997: The suitability of floodplain sediment as a global sampling medium: evidence from China. - J. Geochem. Explor., 58, 51-62, Amsterdam.

Geokemične raziskave tal na območju Jesenic

Robert Štup, Milica Klemenčič & Miroslav Čadež

Geological Survey of Slovenia

Trzinjeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

Stane Pilič

University of Ljubljana, Faculty for Natural Sciences and Technology

Department of Geology

Edinova 22, 1000 Ljubljana

Soil sample geochemistry collection and geochemical data, heavy metals, Slovenia
 Količina vzorčnih presvetilov, geochemični podatki, težki kovinski elementi, Slovenija

ABSTRACT

The purpose of geochemical investigations is the general goal was to establish contents and distribution of chemical elements in soils, and to separate the natural from the man-generated geochemical anomalies.

Heavy and transitional rare distributions of 21 elements (Al, Ca, Fe, B, Mg, Ti, Ba, Cs, Co, Cr, Hg, La, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Y, Zn and Zr). Based on comparison of distributions of these elements in soils and urban atmosphere (background) and with data of Slovenia two natural geochemical anomalies were distinguished in the Jesenice area: (1) Pb, W, Ti, Ba, Ca, Ni, Sr, Y, Zr and (2) Cd, Cu, Hg, and two anomalies (one was influenced by natural structure of mining and rock making) U, Co, Mg, Mn, Fe, Ba and Sr (3) Ni.

INTRODUCTION

Natural geochemical anomalies in different regions of soil represent variations in moderate percentages of chemical elements and are with general geochemical parameters given as background values.

Prisotnost in koncentracija težkih in prehodnih redkih kovinskih elementov (Al, Ca, Fe, B, Mg, Ti, Ba, Cs, Co, Cr, Hg, La, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Y, Zn, Zr) v tleh in v ozračju mesta Jesenice kaže na prisotnost naravnih geochemičnih anomalij. Na osnovi primerjave vsebnosti teh elementov v tleh in v ozračju mesta Jesenice (ozračje) in s podatki iz Slovenije smo razločili dve naravnih geochemičnih anomaliji (1) Pb, W, Ti, Ba, Ca, Ni, Sr, Y, Zr in (2) Cd, Cu, Hg in dve anomaliji (ena je vplivena na naravno strukturo rudarstva in kamnolomstva) U, Co, Mg, Mn, Fe, Ba in Sr (3) Ni.

Geochemical Soil Survey at Jesenice area, Slovenia

Geokemične raziskave tal na območju Jesenic

Robert Šajn, Milan Bidovec & Mateja Gosar

Geological Survey of Slovenia
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

Simon Pirc

University in Ljubljana, Faculty for Natural Sciences and Technology,
Department of Geology
Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana

Key words: geochemistry, pollution, soil, household dust, heavy metals, Slovenia
Ključne besede: geokemija, onesnaženje, tla, bivalni prah, težke kovine, Slovenija

Abstract

The purpose of geochemical investigations in the Jesenice area was to establish contents and distribution of chemical elements in soils, and to separate the natural from the man-produced geochemical distributions.

Shown and commented are distributions of 21 elements (Al, Ca, Fe, K, Mg, Ti, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, La, Mn, Nb, Ni, Pb, Sc, Th, V, Zn and Zr). Based on comparison of distributions of these elements in soils and urban sediments (household and attic dust) of Slovenia two natural geochemical associations were distinguished in the Jesenice area (Al-Fe-K-Ti-Ba-La-Nb-Sc-Th-V-Zr and soil pH-Ca-Mg), and two associations that were influenced by several centuries of mining and iron making (Cd-Cu-Hg-Mn-Pb-Zn and Fe-Cr-Ni).

Povzetek

Namen geokemičnih raziskav na območju Jesenic je bil ugotoviti vsebnosti in prostorske porazdelitve kemičnih prvin v tleh ter ločiti naravne geokemične porazdelitve prvin od antropogeno povzročenih.

Prikazali in komentirali smo porazdelitve 21 kemičnih prvin (Al, Ca, Fe, K, Mg, Ti, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, La, Mn, Nb, Ni, Pb, Sc, Th, V, Zn in Zr). Na osnovi primerjave vsebnosti teh prvin v tleh in urbanih sedimentih (stanovanjski in podstrešni prah) Slovenije smo na območju Jesenic ločili dve naravni geokemični združbi (Al-Fe-K-Ti-Ba-La-Nb-Sc-Th-V-Zr in talni pH-Ca-Mg) in dve združbi, ki predstavljata porazdelitev, na katero je vplivala večstoletna železarska dejavnost (Cd-Cu-Hg-Mn-Pb-Zn in Fe-Cr-Ni).

Introduction

Iron making in the Jesenice area is traditional. The development of mines and furnaces started end of 14th century as testified by the Ortenburg mining regulations. In the second half of the 18th century a number of the properties were bought by Valentin Ruard who started to extend and restore the mining prospects. A number of prospects were owned also by gross merchant Zois. End of 18th century the Zois family ran into financial difficulties owing to obsolete technology and foreign competition. For these reasons in 1869 the Carniolan industrial society was founded. Two bloom areas fused into one that was the largest industrial enterprise in the Duchy of Carniola. From the bloom areas at the banks of the Sava river new modern ironworks was developed, and the settlement grew into an industrial town that assisted the development to many other activities (<http://www.jesenice.si/jeobc.html>; R e s m a n, 1990).

In the Jesenice area a number of investigations of pollution associated chiefly to emissions of the steelworks were performed. Not known was, however, the "heritage" of several centuries of pollution own to ironmaking, and its impact on the geochemical properties of the landscape. In 1994 we started in the frame of a Alps-Adria project the systematic investigation of soils by sampling them according to pedologic horizons, and analysing a large number of chemical elements in them.

General

Geography and Geology

The Jesenice area is situated in the northwest part of Slovenia (Fig. 1). North of the town is the N-E trending Karavanke mountain range, in the west the Julian Alps and in the south the wooded high plateau of Mežakla. In the valley that passes in the southeast into the Ljubljana basin flows the river Sava. The area is mountainous and it belongs physiographically to the Southern Alps, and its southeastern part is flat. The administrative, political and economic centre is the town of Jesenice, a typical industrial town with ironmaking tradition, inhabited by a population of about 20,000 (<http://www.jesenice.si/jeobc.html>; R e s m a n, 1990).

The territory is situated at the contact of three geotectonic units: the south Karavanke, the Ljubljana basin and the Julian Alps (B u s e r & C a j h e n, 1980; B u s e r, 1980; J u r k o v š e k, 1986a and b). The south Karavanke are separated by the NW-SE trending Sava fault from the Julian Alps and the Ljubljana basin. In the structure of the southern Karavanke the Košuta nappe and the Southern Karavanke nappe can be distinguished. The central ridge of Karavanke is built by the Košuta nappe that consists predominantly of carbonate rocks of Lower to Upper Triassic age. The southern Karavanke nappe, in the area between the Košuta nappe and the Sava fault, consists mostly of Paleozoic clastic and carbonate rocks. The Radovljica-Bled subsided basin in the southeast is filled by Quaternary deposits in the extreme part of the Ljubljana basin. In the southeast, the Mežakla plateau consists of Lower to Upper Triassic carbonate rocks (B u s e r & C a j h e n, 1980; J u r k o v š e k, 1986b).

The area is cut by faults of predominantly dinaric (NW-SE) direction. Dominant among them is the Sava fault. The course of the Sava valley is conditioned by it. Long dinaric faults were formed in the Upper Pliocene, and the Ljubljana basin

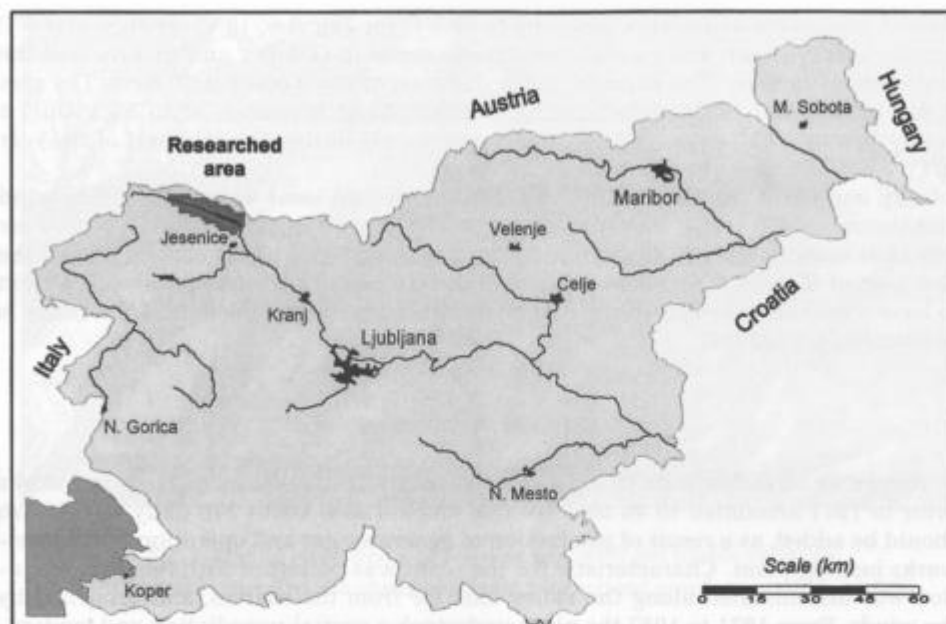


Fig. 1. Researched area

Sl. 1. Lega raziskanega območja

started to sink along them at the start of Pleistocene. The formed basin was filled by large amounts of mainly carbonate fluvial material (B u s e r & C a j h e n, 1980; J u r k o v š e k, 1986b).

The final touch to the physiography was given by the glacial age. In spite of heavy glacial impact, the valley remained relatively narrow. Characteristic of glaciations are remains of lateral moraines at Mala Mežakla, and front and lateral moraines at Blejska Dobrava. After retreat of the glacier at Mojstrana a smaller dam lake was formed.

On the highest steep slopes lithosols occur. Rendzinas are frequent on limestones and dolomites, carbonate talus and glacial drift. In favourable conditions rendzinas pass into eutric cambisols or calcareous cambisols on limestones and dolomites. On silicate (siliceous) clastic rocks largely rankers develop, and to a smaller extent, also dystric cambisols.

Climatic Characteristics

The Jesenice area is characterized by a predominance of continental properties of Middle European climate owing to the distance from the sea and the high mountainous barriers in-between. The rainfall regime is of submediterranean type. Appreciable differences in altitudes result into four climatic belts: the submountainous, mountainous, subalpine and alpine climatic belts (Š i p e c, 1990).

The essential characteristics of climate are cold winters and fresh summers. The

mean temperature at Jesenice amounts to -2.5°C for January, 18°C for July, and 8°C for the average year. The rainfall maximums occur in October and in July, and the minimum in January. The average yearly duration of snow cover is 30 days. The area is not considerably subject to forming of atmospheric inversion, or to fogs. Only a yearly average of 10 days are foggy, occurring mainly during the cold part of the year (Š i p e c, 1990).

Very important for distributing of pollution are two local winds, the valley wind and the mountain wind. The first blows mostly during nights when the cooled air descends towards the Ljubljana basin. The mountain wind blows usually during the first part of the day. It forms by heating of the air, and is directed up the valley. Next to local winds also the cyclonic air circulation transversely to the axis of the valley is present (Š i p e c, 1990).

Estimate of Pollution

According to earlier data (Š i p e c, 1990) the daily dust emission from ironworks prior to 1971 amounted to 48 tons. To this amount also about 270 daily tons of ash should be added, as a result of production of generator gas and operation of the steelworks heating plant. Characteristic for the plant was pollution with red dust. Pollution was disseminated along the valley axis far from the sources, and propelled by the winds. From 1971 to 1987 the plant undertook a partial remediation and modernization. The energy concept of steelworks was changed, the furnaces reconstructed, and dust collectors and cleaning devices installed. At that time also regular monitoring of pollution was started. Then followed modernization of Steelworks 1 that further reduced the dust emissions. After 1987 follows the final sanitation with abandoning of furnaces and Siemens-Martin ovens, and with the start of Steelworks 2 (O s o j n i k et al., 1988, 1990).

It was estimated that the emission from Steelworks 1, Steelworks 2 and the plants for regeneration of hydrochloric acid emit daily approximately 2 t dust and 950 kg SO_2 (Š i p e c, 1990). Traffic and communal emissions contribute during heating season about 7 t SO_2 daily. Iron works are indubitably the principal factor of environmental degradation, followed by dense traffic in the valley, and by households in the town. The contribution of iron works is gradually diminishing.

Materials and Methods

Sampling

Soil sampling in the Jesenice area was performed at a $1,4 \times 1,4$ km grid (Figs. 1 and 2). In 44 localities pedologic profiles were dug, and in total 122 samples of soil horizons collected. Sampled were principally soils on carbonate rocks (30 localities), followed by sandstone (6 localities) and Quaternary fluvial deposits (8 localities). Soil types (Š k o r i č, 1977) comprised rendzinas in 16 cases, calcareous cambisols in 16 cases, dystric cambisols in 5 cases, ranker in 2, and agricultural soil, fluvisol, luvisol and eutric cambisol in each one case.



Fig. 2. Digital relief model of Jesenice area with soil profile locations

Sl. 2. Digitalni model reliefa območja Jesenic z lokacijami vzorčenja v talnih profilih

Preparation of Samples and Analysis

Preparing of samples for chemical analysis was done along the lines given by Pirc et al. (1991) that is similar to recommendations of the UNESCO IGCP 259 project (Darney et al., 1994). The sampled material was first air dried for 15 days, and then 48 hours in a fan oven at 40°C. The dry soil was gently crushed in a ceramic mortar. The material was then passed through a stainless steel sieve with 2 mm openings and quartered, and then crushed and milled to the analytical grain size of 0,063 mm.

Analysis in the ACME laboratories in Vancouver, Canada, was performed by plasma emission spectrometry (ICP) after a total 4 acid digestion. The 0,5 g sample was dissolved at 200°C in 10 ml mixture of HClO₄, HNO₃, HCl and HF. In total, 35 elements were determined by ICP (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Ti, Ag, As, Au, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, La, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, U, V, W, Y, Zn and Zr). Hg was determined after aqua regia digestion with atomic absorption spectrometry (AAS) according to the cool evaporation procedure (ACME, 1994).

Potential acidity was determined by the procedure in which 10 g of sieved soil sample is left for 24 hours in 25 ml 0,1 N CaCl₂, mixed, left for 24 hours, mixed again and pH measured (Rhoades, 1982; Hodnik, 1988).

A number of randomly selected samples was replicated for estimation of precision. Geologic standard materials GXR-6, SJS-1 and SRM-2711 (Abbey, 1983; Epstein, 1990) were used for estimating accuracy. All soil samples, replicates and geologic standards were submitted to laboratory in a random succession. This procedure assured unbiased treatment of samples and random distribution of possible drift of analytical conditions across all samples.

Sensitivity, Accuracy and Precision on Analysis

The sensitivity in the sense of the lower limit of detection was adequate for 28 out of 36 analysed chemical elements. The elements Ag, Au, Be, Bi, Mo, Sb, Sn and U, however, were removed from further statistical analysis (M i e s c h, 1976), since their contents in the majority of analysed samples appeared to be below the lower detection limit of the analytical method. Excluded were also determinations of W and Co because of the evidence on contamination of samples from grinding equipment made out of W-Co steel, as established in former studies (Š a j n, 1995).

Accuracy of analytical method for the remaining 26 elements was estimated by calculation of relative systematic error between the determined and recommended values of geological standards. Most analysed elements show in the range of the actual soil samples very low deviations. The means of elements in analysed standards generally differ for less than 15% of the recommended values. Larger negative deviations showed Mg, P, Cd, La, Pb and Th, and larger positive deviations Cr.

Precision of determinations was controlled by relative differences between pairs of analytical determinations of the same samples (B l e j e c, 1976). Precision was considered good, since of the 26 considered elements only Cd, Th and Zr showed less accurate results.

The reliability of analytical procedures, as shown by the mentioned control of sensitivity, accuracy and precision, was considered adequate for using the determined elemental contents in further statistical analyses.

Results of Study

In statistical analysis all 122 samples of soil horizons were used. For estimation of the association between chemical elements multivariate statistical analyses of cluster and R mode factor analysis were used (L e M a i t r e, 1982, K o š m e l j, 1983, D a v i s, 1986, R o d i o n o v et al., 1987). For the measure of similarity between variables the product-moment correlation coefficient (r) was applied. In the final multivariate analyses only 21 elements were retained. The elements Na, P, As, Sr and Y were excluded because of the lack of significant associations with other chemical elements. These elements formed independent clusters, or they resulted into low communalities in factor analysis.

For illustration of results of the cluster analysis the dendrogram based on relative association D/D_{max} in percent were used (Fig. 3), and of the factor analysis the matrix of higher rotated factor loadings (Tab. 2).

The geographic distribution of elemental composition of topsoil and of the lower soil horizons is illustrated by maps of scores of extracted factors (Figs. 4a to 7b) and maps of contents of Cd (Figs. 9a and 9b), Pb (Figs. 10a and 10b) and Zn (Figs. 11a and 11b). In the process of construction of geochemical maps the interpolation method of universal kriging with linear variogram was applied (P e r i š i ć, 1983; D a v i s, 1986). In interpolation of elemental contents 44 samples of topsoil and 78 samples of lower soil horizons were taken in consideration. The basic cell for interpolation was of the size of 200 x 200 m.

For class limits the percentile values of distribution of the interpolated values were taken. Seven classes with the values of the following percentiles were selected: 0-10, 10-25, 25-40, 40-60, 60-75, 75-90, 90-100. The classes around the average are broader, and the classes at both extremes narrower.

Tab. 1. Averages of content of elements in different sample materials (average values of Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P and Ti are in %, Hg in mg/t, remaining elements in g/t)

Tab. 1. Povprečja vsebnosti prvin v različnih vzorčnih sredstvih (povprečne vrednosti Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P in Ti so v %, Hg v mg/t, preostalih prvin pa v g/t.)

	Clarke	Slo	Jes-ZT	Jes-ST	Jes-SP	Jes-PP
Al	7.10	6.92	7.01	4.10	1.60	2.50
Ca	1.50	0.78	1.21	1.04	8.10	9.10
Fe	4.00	3.80	4.04	2.86	2.20	13.0
K	1.40	1.40	1.10	0.54	0.69	0.55
Mg	0.50	0.83	1.30	0.46	2.50	2.40
Na	0.50	0.47	0.33	0.20	0.77	0.29
P	0.08	0.06	0.04	0.07	0.10	0.05
Ti	0.50	0.36	0.26	0.18	0.10	0.09
As	6	4	18	16	-	-
Ba	500	360	253	179	706	57
Cd	0.4	0.5	0.8	2.1	2.8	6.2
Cr	70	88	60	52	299	193
Cu	30	23	16	26	131	154
Hg	60	160	263	795	385	950
La	40	30	25	18	29	10
Mn	1000	904	594	770	1413	4139
Nb	10	6	11	7	5	4
Ni	50	47	34	27	96	82
Pb	35	34	44	292	256	1437
Sc	7	13	13	8	2	5
Sr	250	82	111	68	99	154
Th	9	11	9	5	2	3
V	90	113	80	57	30	91
Y	40	15	13	10	5	13
Zn	90	103	108	293	1386	2592
Zr	400	45	47	32	16	18

Clarke - Clarke in soil; Svetovno povprečje vsebnosti prvin v tleh (Bowen, 1979)

Slo - Slovenian average of elements in soil; Slovensko povprečje vsebnosti prvin v tleh; n = 817 (Andjelov, 1994); Hg, n = 119 (Pirc, 1993)

Jes-ZT - Average of elements in top soil in Jesenice area; Povprečje vsebnosti prvin v zgornjem talnem horizontu na območju Jesenic; n = 44

Jes-ST - Average of elements in bottom soil in Jesenice area; Povprečje vsebnosti prvin v spodnjih talnih horizontih na območju Jesenic; n = 78

Jes-SP - Average of elements in household dust in Jesenice area; Povprečje vsebnosti prvin v stanovanjskem prahu na območju Jesenic; n = 3 (Sajn, 1998)

Jes-PP - Average of elements in attic dust in Jesenice area; Povprečje vsebnosti prvin v podstrešnem prahu na območju Jesenic; n = 3 (Sajn, 1998)

Tab. 2. Characteristic values of rotated factor loadings; n = 122
 Tab. 2. Dominantne vrednosti rotiranih faktorskih obremenitev; n = 122

	F1	F2	F3	F4	Kom
Al	0.98				99
Sc	0.95				94
Ti	0.95				93
Th	0.93				90
V	0.90				84
La	0.87				79
Zr	0.79				66
Ba	0.76				60
K	0.72				55
Nb	0.71				54
Zn		0.97			97
Cu		0.92			88
Pb		0.92			88
Hg		0.90			85
Cd		0.88			81
Mn		0.77			62
Cr			0.95		94
Fe			0.93		90
Ni			0.92		88
Ca				0.95	94
Mg				0.94	91
pH				0.83	72
Var	34	23	13	12	82

F1 ... F4 - Factor Loadings; Faktorske obremenitve
 Kom - Communality in %; Komunalnost v %
 Var - Variance in %; Varianca v %

Discussion

With the factor analysis the initial 22 considered variables were reduced to 4 factors, synthetic variables that represent the geochemical associations of chemical elements. The four factors explain more than 80% of variability within data (Tab. 2). The geochemical associations suggested by results of factor analysis are confirmed also by the outcomes of the cluster analysis (Fig. 3).

The geochemical distributions in soils of the Jesenice area are compared with the means for Slovenian soils (A n d j e l o v, 1994), the means for urban sediments from three localities in the Jesenice area (Š a j n, 1998) and with world averages for soils

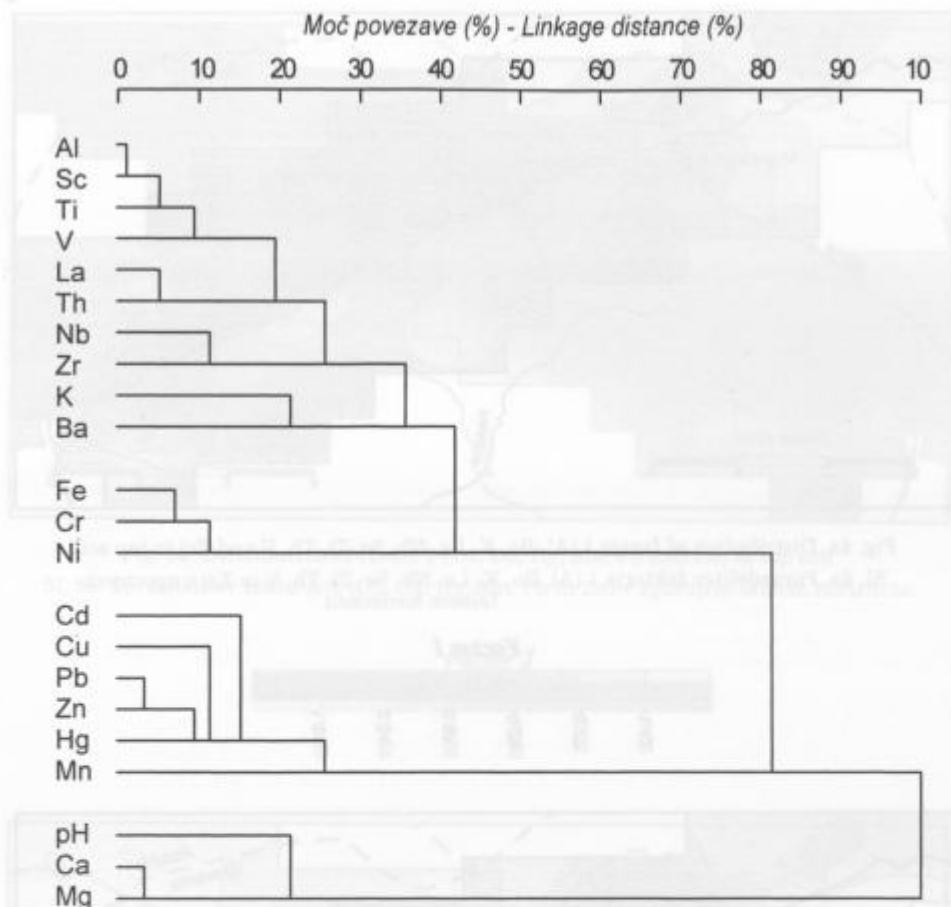


Fig. 3. Dendrogram of cluster analysis; $n = 122$

Sl. 3. Dendrogram clusterske analize; $n = 122$

(Bowen, 1979) (Tab. 1). The samples of all listed studies in Slovenia were analysed in the same laboratory by using the same procedures of digestion and analysis. The urban sediments in Šajn's (1998) study are (1) household dust which is closely associated to rooms where inhabitants live, and (2) attic dust that keeps accumulating in attics.

Natural Distribution of Chemical Elements

The natural geochemical distributions are suggested by factors 1 and 4 by which about 45% of total variation within data is accounted for. The factor scores of these factors are the lowest in the topsoil horizons, and they increase in horizons with depth.

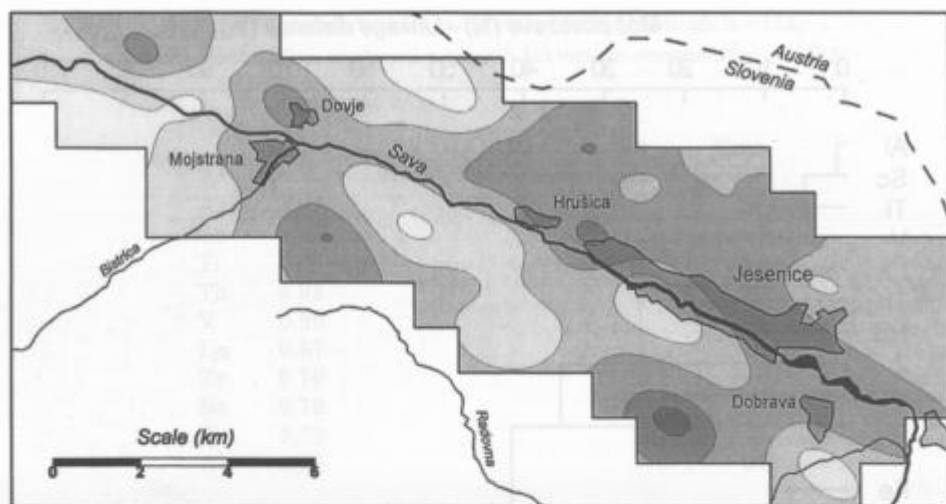


Fig. 4a. Distribution of factor 1 (Al, Ba, K, La, Nb, Sc, Ti, Th, V and Zr) in top soil
Sl. 4a. Porazdelitev faktorja 1 (Al, Ba, K, La, Nb, Sc, Ti, Th, V in Zr) v zgornjem talnem horizontu

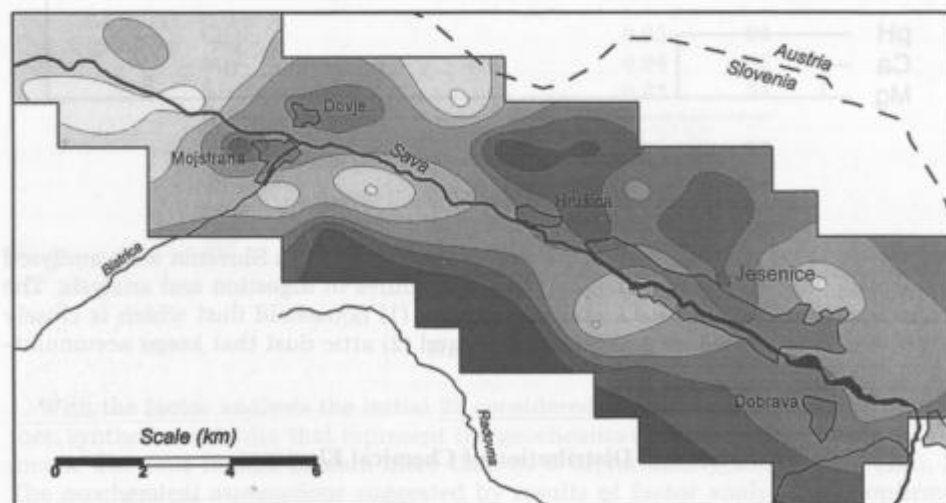
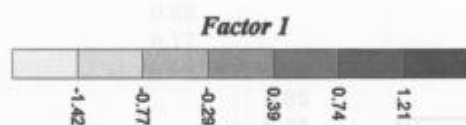


Fig. 4b. Distribution of factor 1 (Al, Ba, K, La, Nb, Sc, Ti, Th, V and Zr) in bottom soil
Sl. 4b. Porazdelitev faktorja 1 (Al, Ba, K, La, Nb, Sc, Ti, Th, V in Zr) v spodnjem talnem horizontu

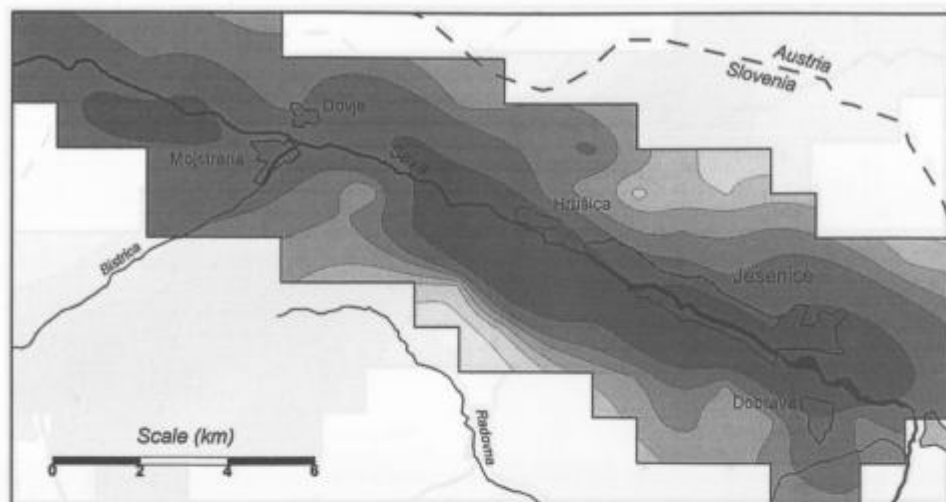


Fig. 5a. Distribution of factor 2 (Cd, Cu, Hg, Mn, Pb and Zn) in top soil
Sl. 5a. Porazdelitev faktorja 2 (Cd, Cu, Hg, Mn, Pb in Zn) v zgornjem talnem horizontu

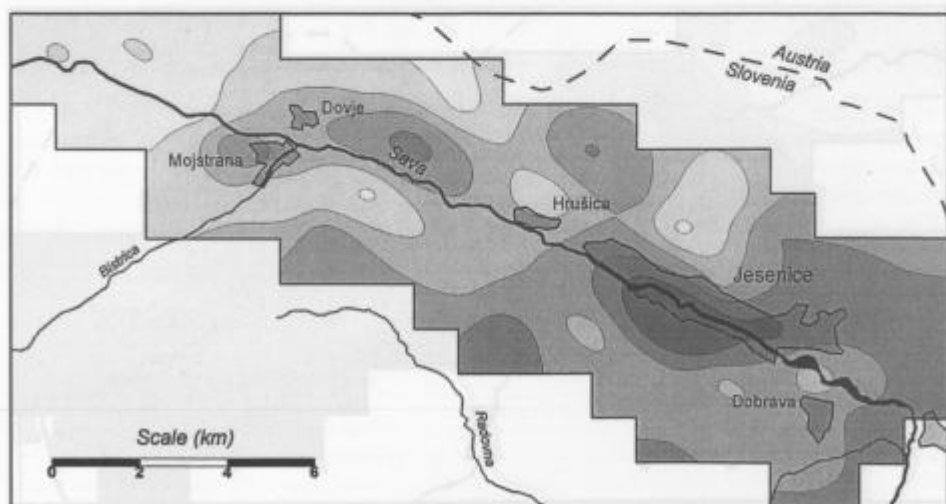
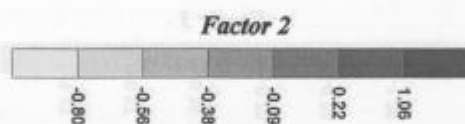


Fig. 5b. Distribution of factor 2 (Cd, Cu, Hg, Mn, Pb and Zn) in bottom soil
Sl. 5b. Porazdelitev faktorja 2 (Cd, Cu, Hg, Mn, Pb in Zn) v spodnjem talnem horizontu

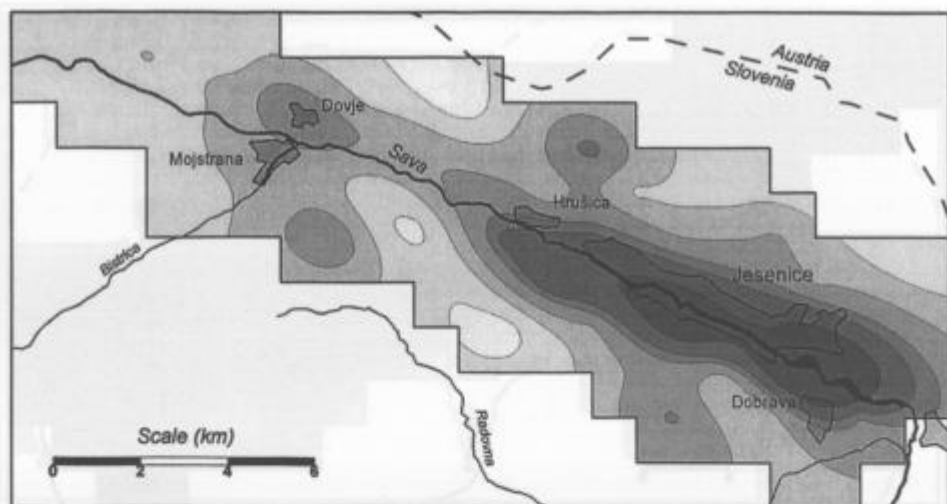


Fig. 6a. Distribution of factor 3 (Cr, Fe and Ni) in top soil
 Sl. 6a. Porazdelitev faktorja 3 (Cr, Fe in Ni) v zgornjem talnem horizontu

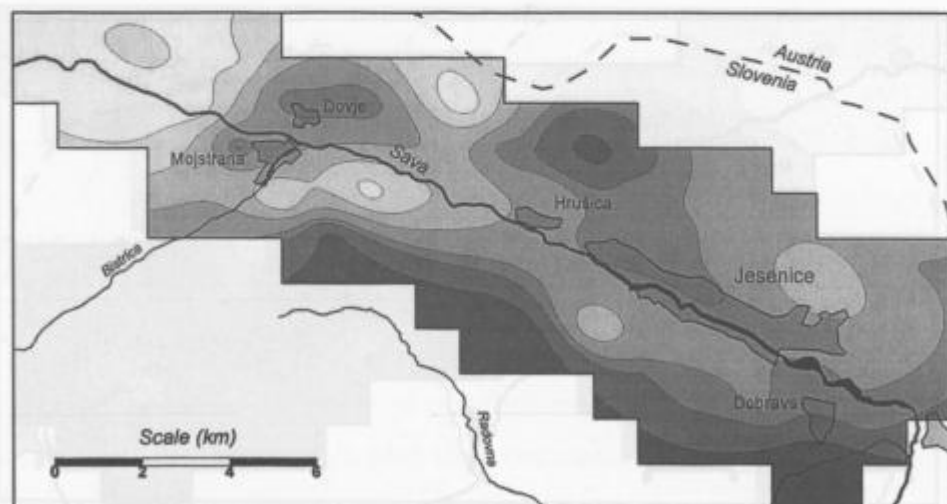
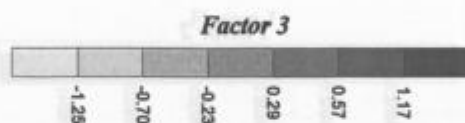


Fig. 6b. Distribution of factor 3 (Cr, Fe and Ni) in bottom soil
 Sl. 6b. Porazdelitev faktorja 3 (Cr, Fe in Ni) v spodnjem talnem horizontu

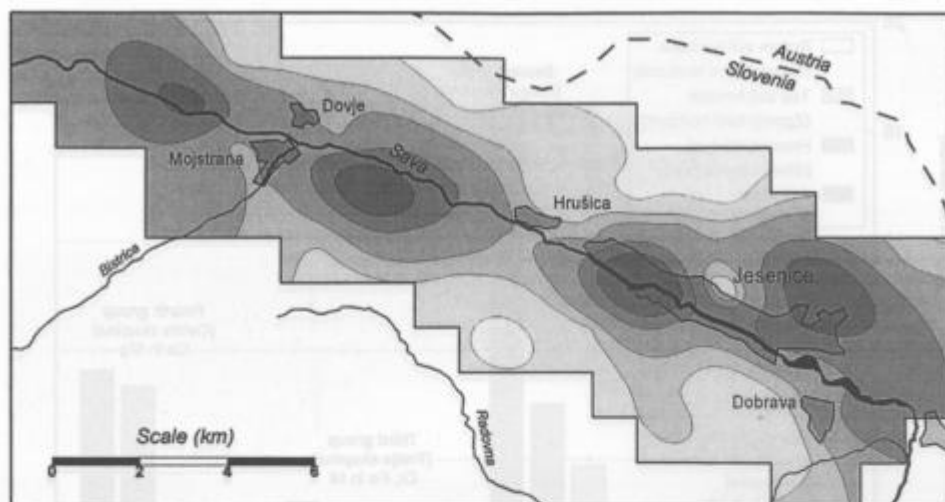


Fig. 7a. Distribution of factor 4 (Ca, Mg and pH) in top soil
Sl. 7a. Porazdelitev faktorja 4 (Ca, Mg in pH) v zgornjem talnem horizontu

Factor 4

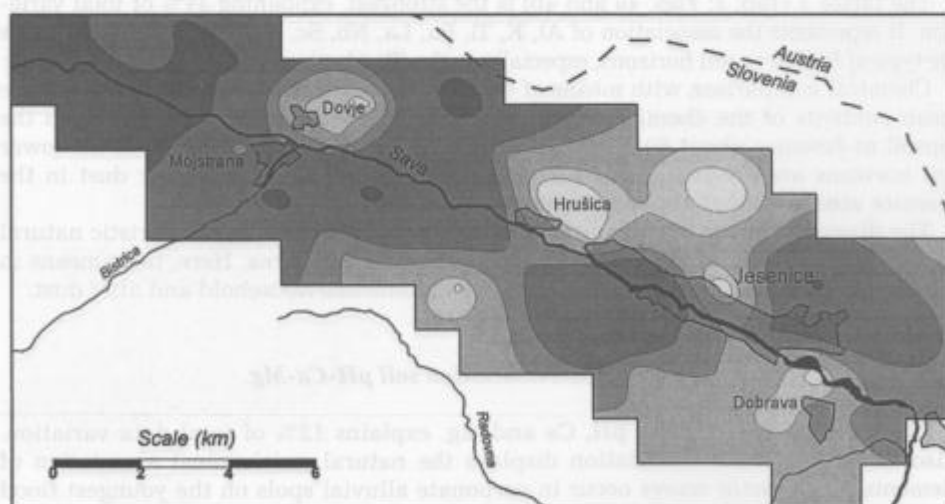
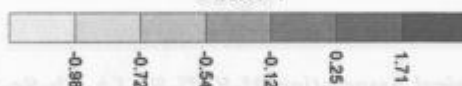


Fig. 7b. Distribution of factor 4 (Ca, Mg and pH) in bottom soil
Sl. 7b. Porazdelitev faktorja 4 (Ca, Mg in pH) v spodnjem talnem horizontu

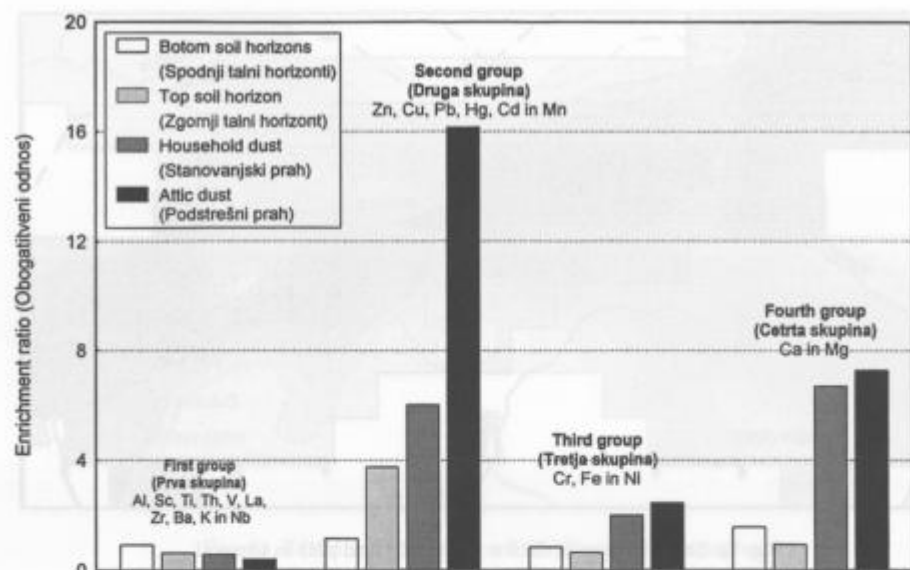


Fig. 8. Average enrichment ratios of element group with regard sampled material
Sl. 8. Povprečni obogatitveni odnosi skupin prvin glede na vzorčeno sredstvo

Geochemical Association Al-K-Ti-Ba-La-Nb-Sc-Th-V-Zr

The factor 1 (Tab. 2; Figs. 4a and 4b) is the strongest, explaining 34% of total variation. It represents the association of Al, K, Ti, Ba, La, Nb, Sc, Th, V and Zr. High values are typical for lower soil horizons, especially in the (B_{17}) horizon of calcareous cambisols.

Chemical comparison with means of soils in Slovenia (Tab. 1; Fig. 8) shows that the mean contents of the chemical elements associated with the first factor are in the topsoil at Jesenice about 60% of soils in Slovenia, while their contents in the lower soil horizons are about the same. The contents in household and attic dust in the Jesenice area are about 40% of the estimated means for Slovenia.

The discussed group of chemical elements represents a most characteristic natural pattern of behaviour of chemical elements in the Jesenice area. Here, their means in soils are appreciably higher than in the urban sediments, household and attic dust.

Geochemical Association soil pH-Ca-Mg

The factor 4, loaded with pH, Ca and Mg, explains 12% of total data variation. Also this geochemical association displays the natural geochemical association of elements. High factor scores occur in carbonate alluvial spols on the youngest flood plains of the river Sava. The values increase with depth (Figs. 7a and 7b).

Ca and Mg are typical elements of the carbonate rocks. In comparison with the soil means for Slovenia (Tab. 1; Fig. 8), for Jesenice somewhat lower values were established in topsoils, and up to 50% higher values in the lower soil horizons. The high

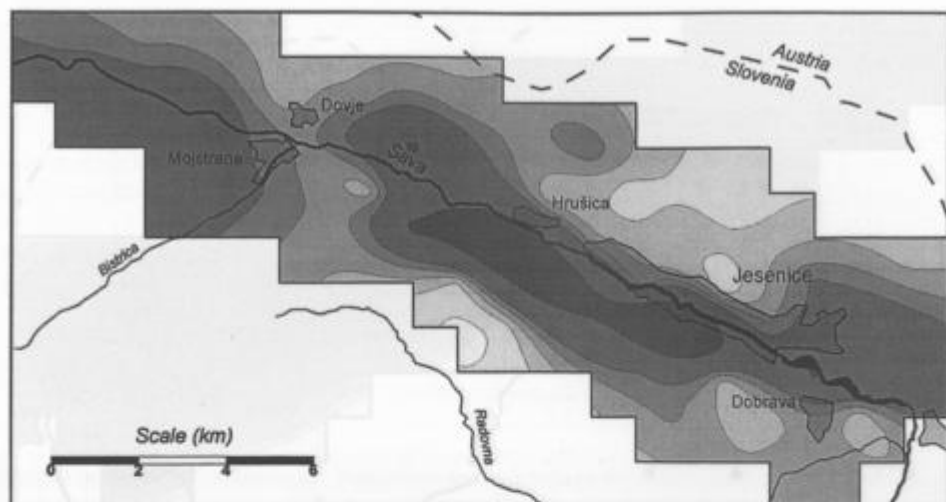


Fig. 9a. Distribution of cadmium in top soil
Sl. 9a. Porazdelitev kadmija v zgornjem talnem horizontu

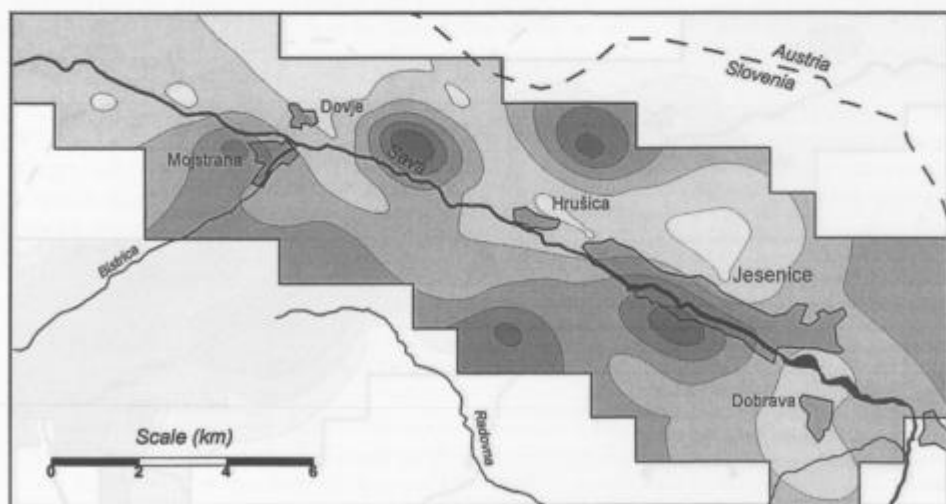
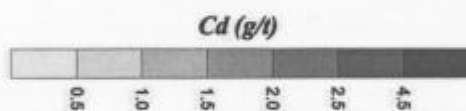


Fig. 9b. Distribution of cadmium in bottom soil
Sl. 9b. Porazdelitev kadmija v spodnjem talnem horizontu

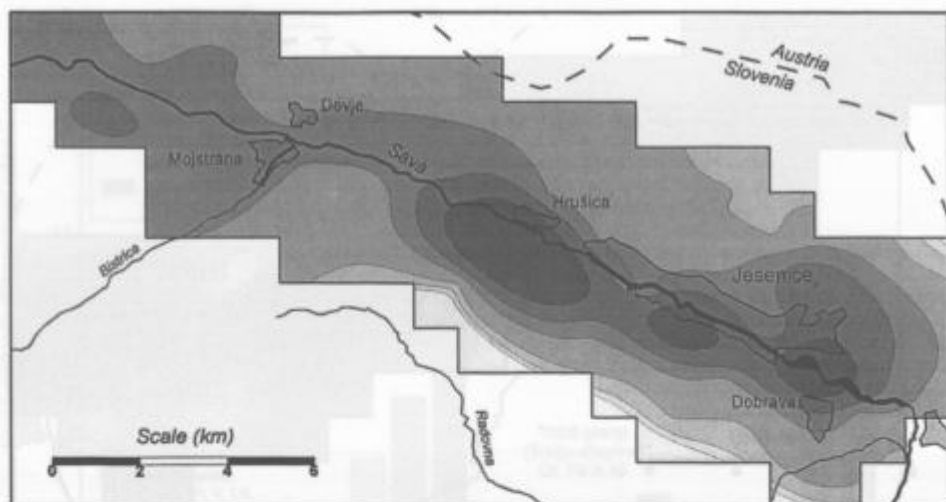


Fig. 10a. Distribution of lead in top soil

Sl. 10a. Porazdelitev svinca v zgornjem talnem horizontu

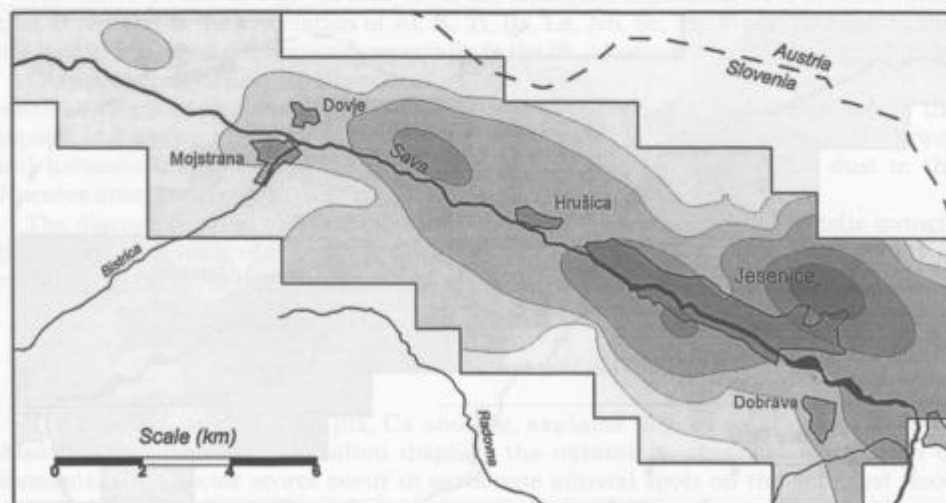
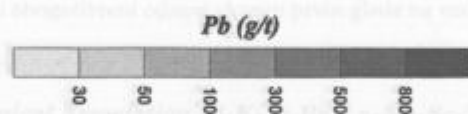


Fig. 10b. Distribution of lead in bottom soil

Sl. 10b. Porazdelitev svinca v spodnjem talnem horizontu

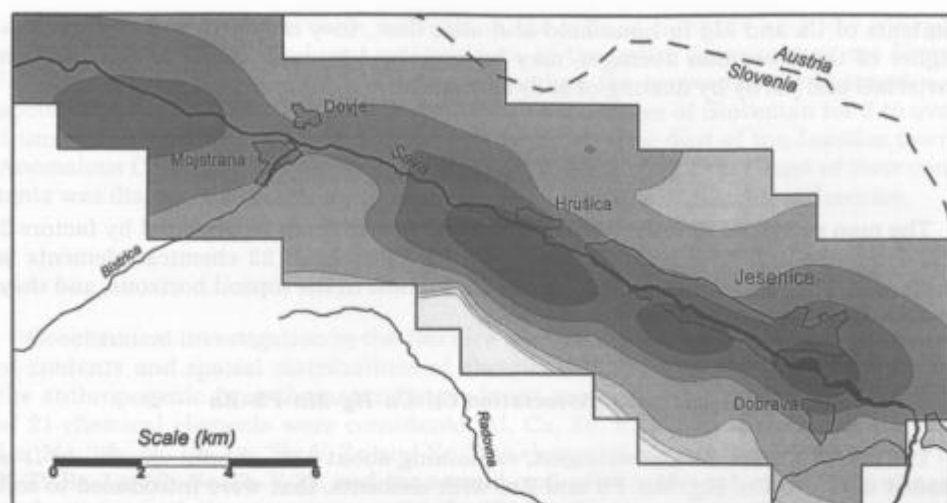


Fig. 11a. Distribution of zinc in top soil
 Sl. 11a. Porazdelitev cinka v zgornjem talnem horizontu

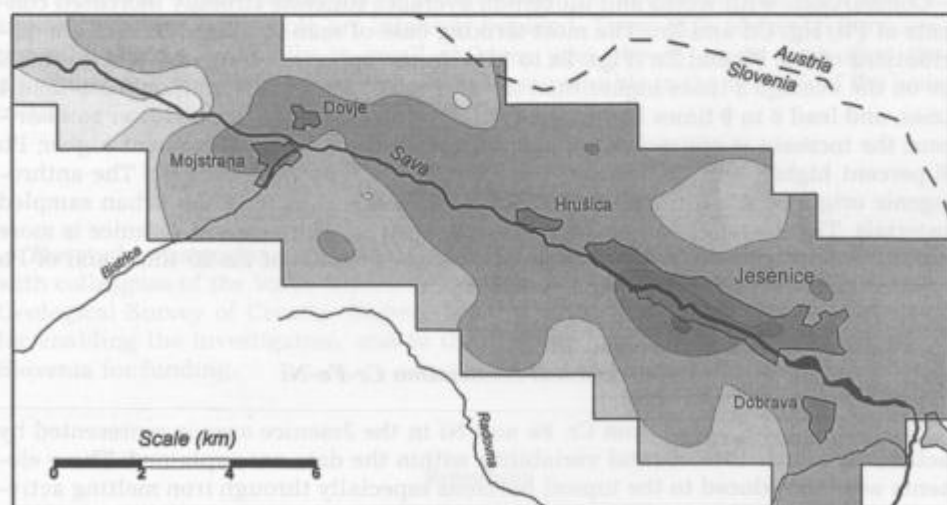
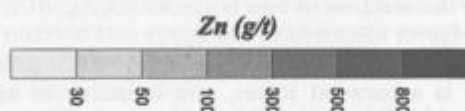


Fig. 11b. Distribution of zinc in bottom soil
 Sl. 11b. Porazdelitev cinka v spodnjem talnem horizontu

contents of Ca and Mg in household and attic dust, they may be more than 8 times higher of the Slovenian averages, may be explained by weathering of construction materials and partly by dusting of soils and roads.

Man-made Elemental Distributions

The man produced distributions of chemical elements are represented by factors 2 and 3 by whom 36% of total variability of the considered 22 chemical elements is explained. The scores of these factors are the highest in the topsoil horizons, and they tend to diminish with depth.

Geochemical Association Cd-Cu-Hg-Mn-Pb-Zn

The factor 2 is the second strongest, explaining about 23% of total variability. It is loaded with Cd, Cu, Hg, Mn, Pb and Zn, with elements, that were introduced to soil as a result of anthropogenic activities. The factor scores drop with soil depth: they are several times higher in the topsoil horizons than in the lower soil horizons (Figs. 5a and 5b). These differences are more contrasting on highly polluted localities with lower soil horizons of brown soils. The differences are less expressed in rendzinas in which most often only the samples of two horizons (O_hA_h , AC), were collected.

The impact of the 2 factor elements in the upper soil horizon extends in a 2 to 4 km wide belt along the entire length of the Sava valley. At Mojstrana, where the valley widens, the influence is somewhat lower, and it increases again when it narrows westwards. The shape of the contamination halo is controlled much by the mentioned two local winds.

Comparisons with world and Slovenian averages suggests strongly increased contents of Pb, Hg, Cd and Zn. The most striking case of man produced impact are distributions of Cd, Pb and Zn (Figs. 9a to 11b). In the upper soil horizons, zinc contents are on the average 3 times higher than the average of Slovenia, cadmium more than 4 times, and lead 8 to 9 times higher than the Slovenian average. In the lower soil horizons, the increase is appreciable smaller, Cd is on the average 60 percent higher, Pb 30 percent higher, and Zn is about the same as the Slovenian average. The anthropogenic origin of most of Cd, Pb and Zn is especially drastic in the urban sampled materials. The average contents of Cd in attic dust in the houses at Jesenice is more than 12 times higher than the average of soils in Slovenia, of Zn 25 times and of Pb for more than 42 times higher (Tab. 1; Fig. 8).

Geochemical Association Cr-Fe-Ni

The geochemical association Cr, Fe and Ni in the Jesenice area is represented by factor 3 by which 13% of total variability within the data are explained. These elements were introduced to the topsoil horizons especially through iron melting activities, especially in the narrow area of Jesenice (Fig. 6a). In the rest of the investigated territory, the major part of contents of these metals is of geogenic origin; they tend to accumulate especially in the (B_{tz}) horizon of the calcareous cambisols (Figs. 6a and 6b).

In comparison to the average contents in the soils of Slovenia area, the average contents in topsoil and in lower soil horizons of the entire Jesenice area are lower. However, in the halo of about 10 km² surrounding the ironworks the averages are about 40 % higher. High contents that surpass the averages of Slovenian for 2 to over 3 times are found in household and even more in the attic dust of the Jesenice town. Anomalous Cr, Fe and Ni in urban materials are another proof that most of their contents was dispersed into the environment by the metallurgic industry at Jesenice.

Conclusions

Geochemical investigation in the Jesenice area permitted to establish the estimates of contents and spatial distributions of chemical elements in soils, and to separate the anthropogenic from the naturally produced geochemical patterns. Distributions of 21 chemical elements were considered: Al, Ca, Fe, K, Mg, Ti, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, La, Mn, Nb, Ni, Pb, Sc, Th, V, Zn and Zr. Two elemental associations, the first Al-Fe-K-Ti-Ba-La-Nb-Sc-Th-V-Zr, and the second, soil pH-Ca-Mg, are considered of natural origin, and the associations Cd-Cu-Hg-Mn-Pb-Zn and Cr-Fe-Ni man made, influenced strongly by the iron metallurgy.

The established estimates of chemical elements and of geochemical trends of single elements and of their associations in the soils of Jesenice are a good basis for further research of geochemical distributions in other media, as air, air deposit, stream sediment and plants. These additional studies should permit to establish the natural and anthropogenic cycles of chemical elements in the urban environment, and permit to estimate the hazards for the population.

Alarming is the recognition in the household dust of the Jesenice area of very high values of Cd, Pb and Zn that are more than 20 times higher than in natural loose materials. The urban sediments, and especially the household dust, are the substances to which the people are intensely exposed. These high concentrations are a potential danger especially to small children who absorb much more dust than grownups, and are at the same time also more susceptible to the toxicity of the heavy metals.

Acknowledgements

The study was performed in the frame of the Alps-Adria common research project with colleagues of the Voest-Alpine, Linz, Austria, Geoeko Vienna, Austria and the Geological Survey of Croatia, Zagreb. Thanks to the Geological Survey of Slovenia for enabling the investigation, and to the Ministry for Science and Technology, R. Slovenia for funding.

References

- Abbey, S. 1983: Studies in „standard samples“ of silicate rocks and minerals 1969 - 1982. - Geological survey of Canada, 109 pp., Ottawa.
- Acme Analytical Laboratories Ltd. 1994: Assaying and geochemical analyses. - Acme analytical laboratories ltd., 10 pp., Vancouver B. C.

- A n d j e l o v, M. 1994: Rezultati radiometričnih in geokemičnih meritev za karto naravne radioaktivnosti Slovenije. - *Geologija* 36, 223 - 248, Ljubljana.
- B l e j e c, M. 1976: Statistične metode za ekonomiste. - Ekonomska fakulteta, Univerza v Ljubljani, 687 str., Ljubljana
- B o w e n, H. J. 1979: Environmental chemistry of the elements. - Academic Press, 318 pp., London.
- B u s e r, S. & C a j h e n, J. 1980: Osnovna geološka karta SFRJ, list Celovec 1:100.000. - Zvezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- B u s e r, B. 1980: Tolmač lista Celovec. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. - Zvezni geološki zavod Beograd, 62 str., Beograd.
- D a r n l e y, A.G., B j ö r k l u n d, A., B o l v i k a n, B., G u s t a v s s o n, N., K o v a l, P.V., P l a n t, J.A., S t e e n f e l t, A., T a u c h i d, M. & X u e j i n g, X. 1994: IGCP Project 259 & 360. - Newsletter 6, IUGS UNESCO, Geological Survey of Canada, 15 pp., Ottawa.
- D a v i s, J.C. 1986: Statistic and data analysis in geology. - Wiley & Sons, 651 pp., New York.
- E p s t e i n, M. S. 1990: Report of analysis. - U.S. Department of commerce, National institute of standards and technology, 16 pp., Gaithersburg, Maryland.
- H o d n i k, A. 1988: Kemične analize talnih vzorcev, rastlinskih vzorcev in odcednih vod. - Katedra za pedologijo, prehrano rastlin in ekologijo, BTF, Univerza v Ljubljani, 57-58 str., Ljubljana.
- J u r k o v š e k, B. 1986a: Osnovna geološka karta SFRJ, Beljak in Ponteča 1:100.000. - Zvezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- J u r k o v š e k, B. 1986b: Tolmač lista Beljak in Ponteča. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. - Zvezni geološki zavod Beograd, 58 str., Beograd.
- K o š m e l j, B. 1983: Uvod v multivariatno analizo. - Ekonomska fakulteta, Univerza v Ljubljani, 272 str., Ljubljana
- M i e s c h, A.T. 1976: Geochemical survey of Missouri; methods of sampling, laboratory analysing, and statistical reduction of data. - Geological survey professional paper, USGS, 9954-a, 39 pp., Washington.
- L e M a i t r e, R. W. 1982: Numerical Petrology; Statistical interpretation of geochemical data. - Elsevier Scientific Publishing Company, 281 pp., Amsterdam.
- O b č i n a J e s e n i c e 1998: spletna stran (<http://www.jesenice.si/jeobc.html>)
- O s o j n i k, A., P a v l i n, F., B e z l a j, D., K r a j n c, I. & R a v n i k, A. 1988: Vpliv modernizacije jeklarne na ekološke razmere v jeseniški dolini. - Metalurški zavod Ljubljana, 48 str., Ljubljana.
- O s o j n i k, A., P a v l i n, F., K r a j n c, I., K u n s t e l j, J. & Z a l o k a r, M. 1990: Vpliv modernizacije jeklarne na ekološke razmere v jeseniški dolini, III del. - Metalurški zavod Ljubljana, 14 str., priloge, Ljubljana.
- P e r i š i č, M. 1983: Primenjena geostatistika (knjigi 1 in 2). - Rudarski institut Beograd, 534 str., Beograd.
- P i r c, S., L e n a r č i č, T., P e h, Z. & S v r k o t a, R. 1987: Geochemical surveys on carbonate terrains in Yugoslavia 1985 - 1987. - Oddelek za geologijo, NTF, Univerza v Ljubljani, 121 pp., Ljubljana.
- P i r c, S. 1993: Regional geochemical surveys of carbonate rocks; final report. - Oddelek za geologijo, NTF, Univerza v Ljubljani, 30 pp., Ljubljana.
- R e s m a n, B. 1990: Jesenice. - V: Enciklopedija Slovenije, 4. zvezek, Mladinska knjiga, 294-296, Ljubljana.
- R h o a d e s, J. D. 1982: Soluble salts. - In: P a g e, A. L., ed., Methods of soil analysis, Part II. - Soil science society of America, 167 - 208, Madison, Wisconsin.
- R o d i o n o v, D. A., K o g a n, R. I., G o l u b o v a, V. A., S m i r n o v, B. I. & S i r o t i n s k a j a, S. V. 1987: Spravočnik po matematičeskim metodam v geologiji. - Nedra, 332 str., Moskva.
- Š a j n, R. 1995: Geokemične lastnosti tal na območju mesta Ljubljane. - Magistrsko delo, Oddelek za geologijo, NTF, Univerza v Ljubljani, 94 str., Ljubljana
- Š a j n, R. 1998: Geokemične lastnosti urbanih sedimentov na ozemlju Slovenije. - Doktorsko delo, Oddelek za geologijo, NTF, Univerza v Ljubljani, 251 str., Ljubljana.
- Š i p e c, S. 1990: Jesenice in njihova ekološko- geografska problematika. - Diplomsko delo, Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, 232 str., Ljubljana.
- Š k o r i č, A. 1977: Tipovi naših tala. - Sveučilišna naklada Liber, 134 str., Zagreb.

Pliocenski vodonosniki - pomemben vir neoporečne pitne vode za ptujsko-ormoško regijo

Pliocene Aquifers - the Source of drinking Water for Ptuj and Ormož Region, Slovenia

Ljubo Žlebnik & Franc Drobne

Geološki zavod Slovenije,
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: pitna voda, pliocenski vodonosniki, Ptujsko-ormoška regija
Key words: drinking water, Pliocene aquifers, Ptuj and Ormož region

Kratka vsebina

Mesto Ptuj s širšo okolico se oskrbuje s pitno vodo iz podtalnice Dravskega polja z zajetjem v Skorbi. Podtalnica se nahaja v kvartarnem dravskem produ sorazmerno plitvo pod površino (7-12,5 m) in je zaradi intenzivnega kmetijstva prekomerno onesažena z nitrati in pesticidi.

Zbrani geološki podatki ter globinske raziskave, so pokazali, da leže na vzhodnem delu Dravskega polja in zahodnem delu Ptujskega polja pod kvartarnimi dravskimi prodnimi naplavinami številne dokaj debele (10-25 m) mlajše pliocenske vodonosne prodne plasti. Med seboj so ločene z neprepustnimi glinami. Te vodonosne plasti izdanjajo v Slovenskih goricah severno in severovzhodno od Ptuja, kjer se napajajo s padavinami.

Na osnovi raziskav, ki so obsegale vrtanje, elektrokarotazne meritve, poizkusno črpanje in analize kakovosti vode, so bile v letih 1995-96 v Skorbi zajete 3-4 vodonosne pliocenske prodne plasti. Izvrtani so bili 3 vodnjaki globine 150-155 m. V vodnjakih je zgornja, oporečna podtalnica v kvartarnem produ zatesnjena z zacementiranimi jeklenimi cevmi, podtalnica v pliocenskih prodnih plasteh pa je zajeta s plastičnimi filterskimi cevmi.

Debelina zajetih pliocenskih vodonosnih plasti v vodnjakih niha od 50-57 m, izdatnost vodnjakov pa od 20-23 l/s. Skupaj dajejo vsi trije vodnjaki več od 60 l/s vode. Vodnjaki neprekinjeno obratujejo že od začetka leta 1996. Podtalna voda pa je po podatkih analiz kemično in bakteriološko neoporečna. Je brez pesticidov in z zelo nizko vsebnostjo nitratov (pod 1 mg N/l). Izmerjene koncentracije vseh zasledovanih pesticidov, tudi atrazina in desetilatrazina, ki sta stalna spremljevalca podtalnice Dravskega in Ptujskega polja, so bile manjše od detekcijske meje uporabljernih analitskih metod.

S tem je bila zagotovljena oskrba mesta Ptuja in okolice z dobro pitno vodo.

Abstract

The city of Ptuj and its larger surrounding areas are supplied with drinking water from Dravsko polje with the groundwater pumping station in Skorba. The groundwater is located in Quaternary gravel deposits of the Drava river, relatively close under the surface (7-12.5 m), and is contaminated with nitrates and pesticides

due to intensive agricultural activities in the area. These facts prompted Komunalno podjetje Ptuj to engage the Geological Survey in Ljubljana to investigate the possibilities for extracting high-quality drinking water from greater depths.

Disposable geological data and investigations of deep geological structures located numerous early Pliocene water-bearing gravel layers of considerable thickness (10-25 m), separated by impermeable clay layers, in the eastern part of Dravsko polje and western part of Ptujsko polje. These water-bearing layers crop out in Slovenske gorice, north and north-east of Ptuj, where they are recharged by precipitation.

The investigation in 1995-96 comprised exploratory drilling, electric logging, test pumping and water quality analyses and included 3-4 water-bearing Pliocene gravel layers in Skorba. Three wells of 150-155 m were drilled, in which the upper, contaminated groundwater in Quaternary gravel is sealed with cemented steel casing, and the groundwater in Pliocene gravel layers is captured with plastic filter casing.

The thickness of Pliocene water-bearing strata in the wells ranges from 50 to 57 m, and the well yield is 20-23 l/s. Together, the three wells yield more than 60 l/s of water, and have been exploited without interruption since the beginning of 1996. According to corresponding analyses, the ground water is chemically and bacteriologically unpolluted. It contains no pesticides and a very low concentration of nitrates (under 1 mg N/l). The concentrations of all pesticides monitored, including atrazine and desetilatrazine, which are constantly present in the ground water of Dravsko and Ptujsko polje, were smaller than the detection limit of applied analytical methods.

In this way, a high-quality drinking water supply was provided for Ptuj and its surroundings.

Uvod

Mesto Ptuj s širšo okolico se oskrbuje s pitno vodo iz podtalnice Dravskega polja z zajetjem v Skorbi. Podtalnica se nahaja v kvartarnem dravskemrodu, ki je na visoki terasi debel 28-30 m, na nizki pa okrog 24 m in je zelo dobro prepusten ($k = 1.10^{-2}$ do 6.10^{-3} m/s). Njena gladina je na visoki terasi v Skorbi pri srednjem vodnem stanju 12,5 m globoko, na nizki terasi pa 7 m. Vodonosna prodna plast je torej debela 15-17 m. Podtalnica se pretaka od zahoda proti vzhodu. Napaja se s pronicanjem padavin, ki padejo na polju in s ponikovanjem potokov, ki pritečejo s Pohorja. Izliva se v več studenčnic, ki izvirajo pod visoko dravsko teraso, delno pa se izliva neposredno v Dravo, oziroma v odprti odvodni kanal HE Zlatoličje ter v drenažni kanal vzdolž akumulacijskega bazena HE Formin.

Kvartarni dravski rod je na površju prekrit le z zelo tanko plastjo preperinske gline in humusa, zato je podtalnica izpostavljena neposrednemu onesnaževanju s površja. Onesnaževanje povzročajo intenzivno kmetijstvo, neurejena kanalizacija v naseljih ter nečista industrija na polju in njenem obrobju. Dodatno onesnaževanje izvira iz poniklih pohorskih potokov, v katere se izlivajo odplake iz bližnjih naselij.

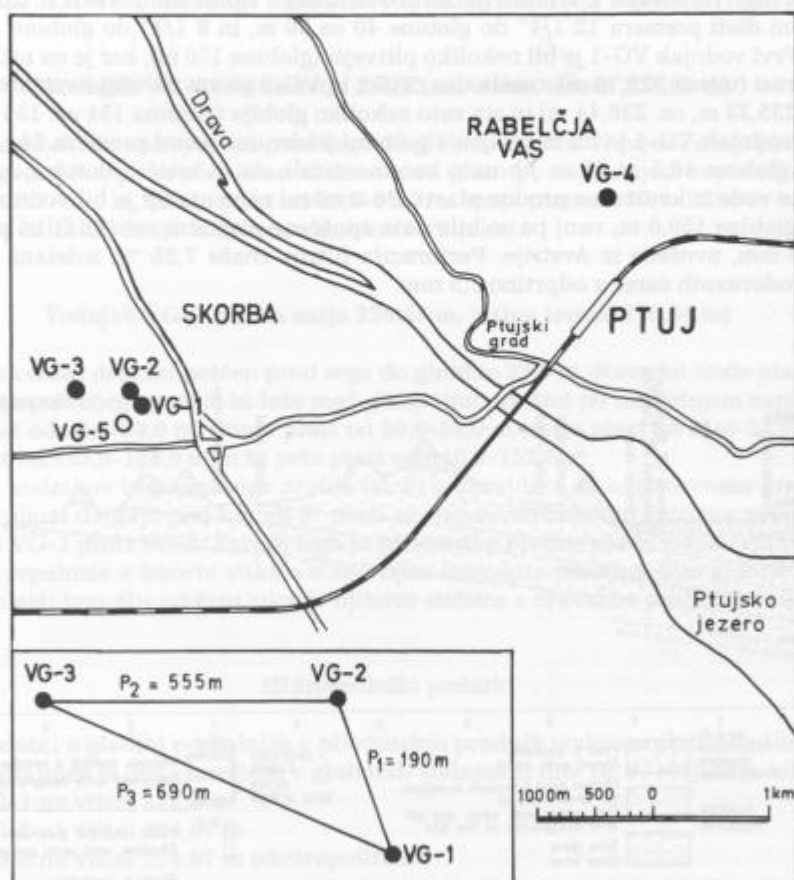
V zajetju Skorba je 7 vodnjakov globine 18,5-24,5 m. Njihova izdatnost niha od 40-70 l/s. Podatki kemičnih analiz vode iz vodnjakov kažejo dokaj visoko vsebnost NO_3 , že blizu zgornje dopustne meje ter sledove ostalih polutantov, predvsem pesticidov. Iz tega je razvidno, da kakovost pitne vode ni najboljša. Zaradi tega sta Komunalno podjetje Ptuj ter njihov svetovalec dr. Petrešin iz Univerze v Mariboru dala pobudo Geološkemu zavodu Ljubljana, da bi poiskali nove vire čistejših pitnih voda.

Podatki, ki so zbrani na Geološkem zavodu Ljubljana kažejo, da so na jugovzhodnem delu Dravskega polja, vzhodno od črte Šikole-Starše-Vurberg pod kvartarnim dravskim prodom mlajše pliocenske glinasto prodne plasti. Le-te izdanjajo v Slovenskih Goricah med Vurbergom, Ptujem in dolino Pesnice. Prodne plasti so debele 10

do 25 m in celo več ter so vložene med plasti gline. So nekoliko slabše prepustne od kvartarnega proda, vendar se razprostirajo na zelo širokem območju in zato vsebujejo velike zaloge podzemne vode. Ta ni izpostavljena neposrednemu onesnaževanju s površja in je zato primerna za vodooskrbo.

Skupna debelina skladovnice pliocenskih prodno glinastih plasti je po podatkih globokih vrtin P-1 in P-2 v Ptujskih toplicah preko 1000 m.

Prepustnost pliocenskega proda je bila preiskana s črpalnimi poskusi na območju strojnice HE Zlatoličje, kjer le-ta znaša povprečno $9,5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Na osnovi tega smo ocenili, da bi bilo mogoče s 150 m globokim vodnjakom iz 100 m debele pliocenske vodonosne plasti črpati okrog 12 l/s vode pri znižanju gladine za 15 m. Pri tem pa bi bilo treba onemogočiti dotok neustrezne vode iz kvartarnega dravskega proda. V ta namen bi bilo treba vodnjak vsaj do globine 30 m zaceviti s polnimi cevmi in jih zacementirati.



Sl. 1. Položajna skica globokih vodnjakov v črpališču Skorba

Fig. 1 Locality map of deep wells in pumping station Skorba

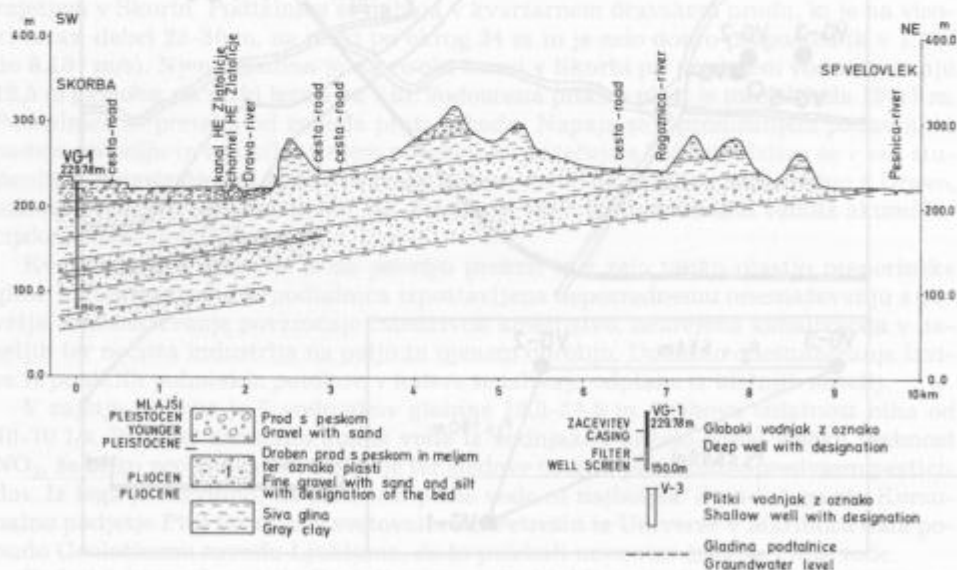
Na osnovi podatkov, ki smo jih zbrali in naše ocene izdatnosti pliocenskih prodnih plasti, so se na Komunalnem podjetju Ptuj odločili, da na območju Skorbe zajamejo vodo v pliocenskih prodnih plasteh s 3-4 vodnjaki. Njihov položaj je razviden iz priložene karte (sl. 1). V prvi fazi so bili v letih 1995-96 izdelani 3 vodnjaki, v letu 1998 pa je v načrtu še en vodnjak.

Podatki o vodnjakih

Tehnični podatki

Vsi trije vodnjaki, ki smo jih poimenovali VG-1, VG-2 in VG-3 je izvrtalo vrtalno podjetje ing. Verbovska z vrtalno garnituro Schramm Rotadrill T 450H z izplako in kotalnimi dletmi premera 12 1/4" do globine 40 oz 50 m, in 8 1/4" do globine 150, oz. 155 m. Prvi vodnjak VG-1 je bil nekoliko plitvejši (globine 150 m), ker je na nižji kvartarni terasi (višina 229,78 m), ostala dva, VG-2 in VG-3 pa sta na višji kvartarni terasi (višina 235,33 m, oz. 236,44 m) in sta zato nekoliko globlja (globina 154 oz. 155 m).

Prvi vodnjak VG-1 je bil zacevljen s polnimi jeklenimi cevmi premera 244,5/229,3 mm do globine 40,5 m, ki so jih nato zacementirali, da so izločili dotok neustrezne podtalne vode iz kvartarne prodne plasti. Po izvršeni cementaciji je bil vodnjak izvrtan do globine 150,0 m, vanj pa so bile nato spuščene plastične cevi in filtri premera 165/150 mm, uvožene iz Avstrije. Perforacija filtrov znaša 7,25 %, izdelana pa je v obliki vodoravnih zarez z odprtino 1,5 mm.



Sl. 2 Pregledni geološki presek Skorba - Sp. Velovlek
Fig. 2 General geological section Skorba - Sp. Velovlek

Drugi in tretji vodnjak sta bila izdelana na povsem enak način, le da je zacevitev s polnimi jeklenimi in plastičnimi cevmi in filtri nekoliko drugačna. V vodnjak VG-2 so bile vgrajene polne jeklene cevi do globine 44,8 m, plastične cevi in filtri pa do globine 154,8 m. V vodnjaku VG-3 segajo polne jeklene cevi do globine 50,0 m, plastične cevi in filtri pa do globine 154 m.

Geološki podatki

Vodnjak VG-1 (višina ustja 229,78 m, višina terena 229,28 m)

Pleistocenski dravski peščen prod sega do globine 24,0 m. Navzdol slede plasti pliocenske gline, med katere so vložene peščeno prodne plasti. Prva pliocenska prodna plast je v globini 33,0 m 65,0 m, druga v globini 90,5-105,0 m in tretja v globini 110-128,0 m.

Vodnjak VG-2 (višina ustja 235,33 m, višina terena 234,93 m)

Pleistocenski dravski peščen prod sega do globine 29,0 m. Navzdol slede plasti pliocenskega peščenega proda, ki so vložene med glino po naslednjem zaporedju; prva plast od 39,7-51,0 m, druga plast od 88,0-91,0 m, tretja plast od 97,0-115,0 m in še četrta plast od 142,0-154,8 m (končna globine vodnjaka).

Vodnjak VG-3 (višina ustja 236,44 m, višina terena 230,04 m)

Pleistocenski dravski peščen prod sega do globine 27,0 m. Navzdol slede plasti pliocenskega peščenega proda, ki leže med glinastimi plastmi po naslednjem zaporedju; prva plast od 27,0-29,0 m, druga plast od 50,0-58,0 m tretja plast od 61,0-78,0 m, četrta plast od 105,0-124,0 m in še peta plast od 140,0-152,0 m.

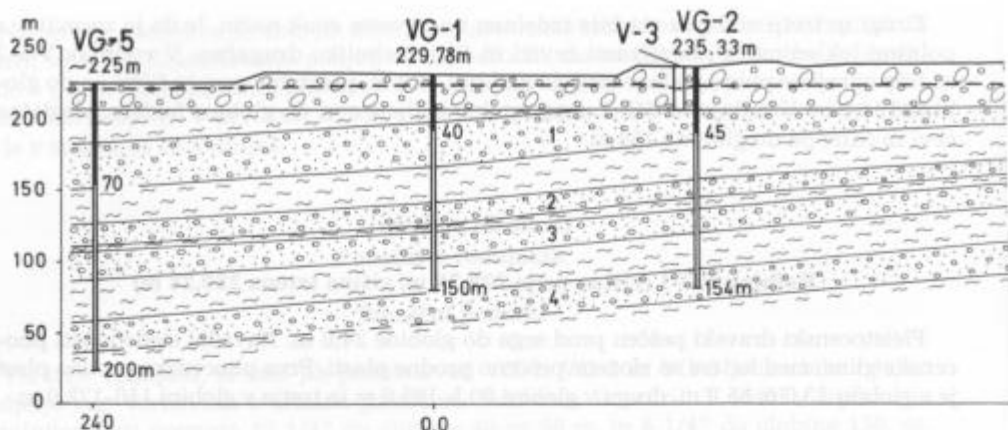
Iz teh podatkov in geološkega profila (sl. 3) je razvidno, da se pliocenske prodne in glinaste plasti dvigajo pod kotom 5° proti severo-severozahodu, oziroma približno v smeri od VG-1 proti VG-2. Zaradi tega se pliocenske prodne plasti v določeni razdalji od stare črpalnice v Skorbi stikajo z zgornjim dravskim prodom. Čim globlje leže te prodne plasti tem dlje od črpalnice je njihovo stičišče z dravskim prodom.

Hidrogeološki podatki

- a) Podatki o gladini podtalnice v pliocenskih prodnih vodonosnikih. Gladina podtalnice je bila izmerjena v globokih vodnjakih dne 16. 9. 1995 in je bila
- VG-1 na višini 223,6 m
 - VG-2 na višini 224,07 m
 - VG-3 na višini 224,97 m (ekstrapolirano)

Globine do podtalnice, merjena od ustja so bile sledeče:

- VG-1 na globini 6,12 m
- VG-2 na globini 11,32 m
- VG-3 na globini 11,47 m



Sl. 3 Geološki presek preko globokih vodnjakov v vodarni Skorba
 Fig. 3 Geological section across deep wells in Skorba water supply

Opazovanja in meritve so pokazale, da je piezometrična gladina v pliocenskih prodnih vodonosnikih okrog 1 m višja od gladine v zgornjem, pleistocenskem dravskem prodnem vodonosniku. Iz tega sklepamo, da je bilo v prvotnem stanju, pred pričetkom črpanja vode iz globokih vodnjakov onemogočeno pronicanje oporečne vode iz zgornjega, pleistocenskega v spodaj ležeče pliocenske vodonosnike.

b) Podatki poizkusnega črpanja

V vodnjaku VG-1 je bilo izvršeno poizkusno črpanje v času od 2. 8. do 6. 8. 1995 in je trajalo skupaj 93 ur. Črpanje se je postopno povečevalo od 11,7 l/s do 20,6 l/s.

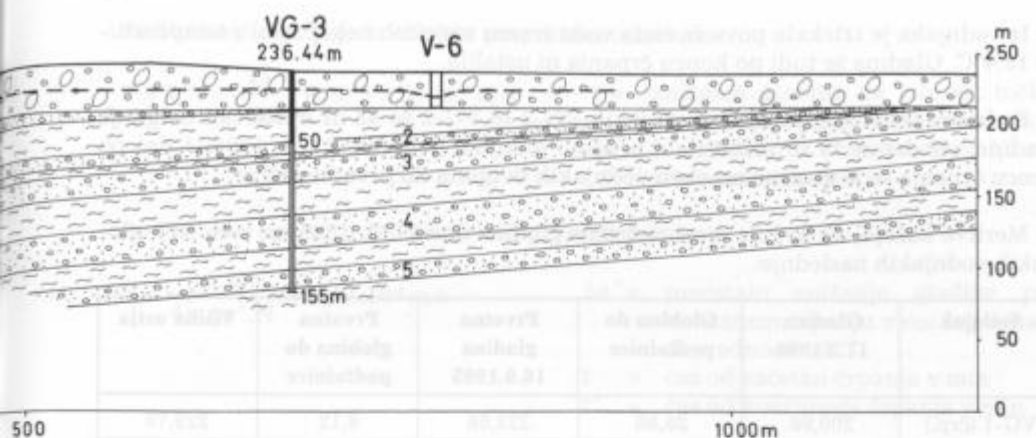
Podatki so naslednji:

Črpanje (l/s)	Čas črpanja (ure)	Znižanje gladine (m) z ozirom na začetno stanje
11,7	20 30'	11,35
16,25	20	16,58
20,6	52 30'	21,69

Iz vodnjaka je iztekala povsem čista voda (razen začetnih 10 min) s temperaturo 14°C. Gladina se je na koncu črpanja skoraj povsem ustalila.

Po končanem črpanju so 23^h merili dviganje gladine, vendar se ni dvignila do prvotne višine. Meritev dne 30. 8. 1995 pa je pokazala, da se je gladina izravnala s prvotno.

V vodnjaku VG-2 je bilo izvršeno poizkusno črpanje v času od 30. 8. do 1. 9. 1995 in je trajalo skupaj 48 ur in 30 min. Črpanje se je postopno povečevalo od 11,5 l/s do 18,6 l/s.



Podatki so naslednji:

Črpanje (l/s)	Čas črpanja (ure)	Znižanje gladine z ozirom na začetno stanje	Znižanje gladine na VG-1
11,5	12	11,33	1,36
15,8	12 30'	16,3	2,06
18,6	24	20,02	2,72

Razdalja med vodnjakoma VG-2 m in VG-1 znaša 190 m.

Iz vodnjaka je iztekala povsem čista voda (razen začetnih 10 min) s temperaturo 14,2°C. Gladina se je na koncu črpanja skoraj povsem ustalila na obeh vodnjakih.

Po končanem črpanju so 59 ur merili dviganje gladine v obeh vodnjakih, vendar se gladina še ni dvignila do prvotne višine. Šele meritev dne 16. 9. 1995 je pokazala, da se je gladina v obeh vodnjakih izravnala s prvotno.

V vodnjaku VG-3 je bilo izvršeno poizkusno črpanje v času od 17. 2. do 21. 2. 1996 in je trajalo skupaj 95 ur. Črpanje se je postopno povečevalo od 8,5 l/s do 28,4 l/s.

Podatki so naslednji:

Črpanje (l/s)	Čas črpanja (ure)	Znižanje gladine z ozirom na začetno stanje	Znižanje gladine na VG-1
8,5	15	6,85	0,18
17,9	15 30'	15,5	0,44
28,4	64 30'	26,26	1,25

Iz vodnjaka je iztekala povsem čista voda (razen začetnih nekaj min) s temperaturo 13,4°C. Gladina se tudi po koncu črpanja ni ustalila.

Po končanem črpanju so na vodnjakih VG-3 in VG-2 še 48 ur opazovali dviganje gladine, vendar se ta ni izenačila s prvotno gladino. Šele dne 27. 2. 1996, 4 dni po koncu črpanja se je gladina na obeh vodnjakih dvignila do prvotne višine.

Meritve kažejo, da so bile piezometrične gladine dne 17. 2. 1996 na vseh treh globokih vodnjakih naslednje:

Vodnjak	Gladina 17.2.1996	Globina do podtalnice	Prvotna gladina 16.9.1995	Prvotna globina do podtalnice	Višina ustja
VG-1 (črp.)	200,98	28,80	223,66	6,12	229,78
VG-2	220,07	15,26	224,07	11,32	235,33
VG-3	224,22	12,22	224,97	11,47	236,44

Razdalje med vodnjaki so naslednje: VG-1 - VG-2 190 m
VG-2 - VG-3 555 m
VG-1 - VG-3 690 m

Iz zgornjih podatkov je razvidno, da je bila piezometrična gladina na vseh treh vodnjakih nižja od prvotnega stanja zaradi črpanja na vodnjaku VG-1, ki je bil že približno 1 mesec priključen na omrežje.

c) Izračun hidrogeoloških parametrov

Za izračun koeficienta prepustnosti k smo uporabili podatke padanja gladine v vodnjaku VG-1 med črpanjem 11,5 l/s vode na vodnjaku VG-2 ter podatke dviganja gladine po končanem črpanju. Na osnovi teh podatkov smo dobili povprečno vrednost koeficienta k za vse zajete pliocenske vodonosne prodne plasti na območju med obema vodnjakoma.

Uporabili smo enačbi Jacoba in Theisa, ki sta osnovani na podatkih o padanju gladine v opazovalnem vodnjaku in enačbo Theisa, v katero smo vnesli podatke o dviganju gladine po končanem črpanju.

Po Jacobovi enačbi je koeficient prepustnosti k enak:

$$T = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi\Delta s}$$

$$k = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi \cdot \Delta s \cdot H} = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$T = k \cdot H$ = koeficient prevodnosti

H = skupna debelina zajetih vodonosnih plasti (50,2 m)

Q = količina črpane vode (0,0115 m³/s)

Δs = znižanje gladine v opazovalnem vodnjaku VG-1 v eni log dekadi časa črpanja

Po Theisovi enačbi je koeficient prepustnosti k enak:

$$T = k \cdot H = \frac{Q}{4\pi s} \cdot W(u) = 2,98 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \quad s = \text{znižanje gladine na izbrani točki Theisove krivulje; } W(u) = \text{vrednost, ki se odčita iz Theisove krivulje za izbrano znižanje } s$$

Po Theisovi enačbi znaša koeficient prepustnosti k :

$$k = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi \Delta s'' \cdot H} = 3,94 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \quad \Delta s'' = \text{preostalo znižanje gladine po končanem črpanju v eni log dekadni vrednosti } t/t''$$

t = čas od začetka črpanja v min

t'' = čas od končanega črpanja v min

Iz zgornjih računov je razvidno, da niha vrednost koeficienta prepustnosti k od $1,02 \cdot 10^{-5}$ do $3,96 \cdot 10^{-5}$ m/s. Srednja vrednost koeficienta k je $2,48 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Ponovno smo računali vrednost koeficienta prepustnosti k iz podatkov poizkusnega črpanja na vodnjaku VG-3. Pri tem smo upoštevali podatke padanja gladine na bližnjem, 555 m oddaljenem vodnjaku VG-2. Uporabili smo tudi podatke o dviganju gladine na tem vodnjaku po končanem črpanju. V že preje navedeno enačbo Jacoba smo vnesli za H vrednost 56 m in za $Q = 0,0085$ m³/s.

$$k = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi \Delta s \cdot H} = 6,19 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Po Theisovi enačbi znaša vrednost koeficienta k :

$$k = \frac{Q}{4\pi s \cdot H} \cdot W(u) = 6,08 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \quad W(u) = \text{vrednost, ki se odčita iz diagrama}$$

Izračunane vrednosti koeficienta prepustnosti močno nihajo od $1,02 \cdot 10^{-5}$ do $6,19 \cdot 10^{-5}$ m/s. Sredina vseh vrednosti k na območju vseh treh globokih vodnjakov znaša $4,2 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Najzanesljivejši je podatek dobljen po Theisovi metodi pri črpalnem poizkusu na vodnjaku VG-2 in znaša $2,98 \cdot 10^{-5}$ m/s. To vrednost smo privzeli za vse nadaljne račune.

- d) Ocena maksimalne izdatnosti vseh treh vodnjakov in njihovega medsebojnega vpliva.

Največja možna izdatnost vodnjakov je odvisna od največje dopustne vstopne hitrosti podtalne vode v vodnjake in medsebojnega prekrivanja njihovih depresijskih lijakov. Če je največja dopustna vstopna hitrost prekoračena, začne v vodnjake vdirati pesek iz vodonosnih plasti. Največjo teoretično dopustno vstopno hitrost izračunamo po empirični Sichardtovi enačbi:

$$v_{\max} = \frac{\sqrt{k}}{15} = 3,64 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

Za območje med vodnjaki VG-1, VG-2 in VG-3 smo privzeli vrednost $k = 2,98 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Odvisnost maksimalne izdatnosti vodnjaka od največje dopustne vstopne v vodnjak je izražena z enostavno enačbo, ki velja za vodonosnik pod tlakom

$$Q_{\max} = 2\pi r \cdot H \cdot v_{\max} \quad r = \text{polmer vodnjaka (0,082 m)}$$

Največje teoretične zmogljivosti vodnjakov so naslednje:

Vodnjak	v_{\max} (m/s)	Debelina zajetih vodonosnih plasti H (m)	Q_{\max} (m ³ /s)
VG-1	$3,64 \cdot 10^{-4}$	57,0	0,0108 = 10,8 l/s
VG-2	$3,64 \cdot 10^{-4}$	50,2	0,0094 = 9,4 l/s
VG-3	$3,64 \cdot 10^{-4}$	56,0	0,01096 = 10,96 l/s

Praktična izkušnja po več kot enoletnem črpanju na globokih vodnjakih kaže, da za pliocenske vodonosnike ti teoretični računi niso primerni. Iz vodnjakov namreč črpajo od 22,5–24,5 l/s vode pri znižanju gladine za 23–25 m. Vstopne hitrosti znašajo od $8,7 \cdot 10^{-4}$ do $8,35 \cdot 10^{-4}$ m/s kar več kot dvakrat presega največjo teoretično dopustno vstopno hitrost. Črpana voda pa je kljub temu čista in brez vsebnosti peska. Vzrok temu je iskati v zbitosti in sprjetosti vodonosnih pliocenskih prodno-peščenih plasti.

Na vodnjakih so sesalni koši črpalk potopljeni na različne globine; na VG-1 v globino 35,4 m na VG-2 v globino 43 m in na VG-3 v globino 44,4 m. Tak položaj črpalk dopušča največjo možno znižanje glavin pri črpanju za 28 m, tj. na višino 195,5–196,5 m. To pomeni na nizki terasi (VG-1) na globino 33,8 m, na visoki terasi (VG-2, VG-3) pa na globino 39,5–40,5 in pod površino terena.

Za osnovo računa največje zmogljivosti vodnjakov ob upoštevanju njihovega medsebojnega vpliva smo privzeli kot največje dopustno znižanje glavin pri črpanju 28 m, tj. na višino 195,5–196,5 m. Uporabili smo dve enačbi, ki pa ne dajeta povsem točnih rezultatov, ker se naravni pogoji nekoliko razlikujejo od pogojev, ki so zahtevani v enačbah. Prva enačba velja za krožno vsestransko napajanje vodonosnih plasti pod tlakom. Razdalja do območja napajanja je enaka vplivnemu polmeru vodnjakov R. V našem primeru parameter R ni znan, privzeli smo razdaljo 1300 m, tj. razdalja na kateri se osrednja zajeta plast pliocenskega proda severno od črpališča stika z zgornjim, dravskim pleistocenskim prodom (slika 3).

Enačba je enaka:

$$s = \frac{1}{2\pi k \cdot H} \cdot \sum_{i=1}^{n} Q_i \cdot \ln \frac{R_i}{\rho_i}$$

R_i = vplivni polmer
vodnjakov (1300 m)

ρ_i = razdalja med
vodnjaki

s = znižanje gladine v
vodnjakih

Za vodnjak VG-1 ima enačba naslednjo obliko:

Podobno smo izračunali znižanje tudi za vodnjaka VG-2 (znižanje 27,15 m) in VG-

$$s_1 = \frac{1}{2\pi k \cdot H} \cdot (Q \cdot \ln \frac{R}{r_1} + Q \ln \frac{R}{\rho_1} + Q \ln \frac{R}{\rho_3}) = 24,83 \text{ m}$$

3 (znižanje 23,21 m).

Rezultate smo dobili s približevanjem, tako, da smo v enačbo vstavili različne vrednosti za Q , dokler ni bilo znižanje $s < 28$ m na vseh vodnjakih. Na koncu smo za vodnjaka VG-1 m, VG-3 privzeli vrednosti $Q = 22$ l/s in za vodnjak VG-2 vrednost $Q = 20$ l/s.

Pri črpanju 22 l/s vode na vodnjakih VG-1 in VG-3 ter 20 l/s na VG-2 se približamo mejnemu znižanju gladine 28 m le v vodnjaku VG-2, medtem ko je znižanje na ostalih dveh vodnjakih znatno manjše.

Druga enačba, ki smo jo uporabili, velja za vodonosnik pod tlakom velike razsežnosti, vendar brez napajanja. V našem primeru se pliocenski vodonosniki napajajo, zato daje enačba večja znižanja gladin, kot pa so v resnici. V enačbi smo privzeli, da iz vseh vodnjakov črpamo po 20 l/s, skupaj torej 60 l/s vode.

Enačba ima naslednjo obliko:

S = koeficient elastične izdatnosti

$$s = \frac{Q_{\text{sum}}}{4\pi k \cdot H} \cdot \alpha \cdot [E_i \left(-\frac{r^2}{4 \cdot k \cdot H} \right) + \sum_{i=1}^n E_i \left(-\frac{\rho_i^2}{4 \cdot k \cdot H} \right)]$$

r = polmer vodnjakov (0,082 m)

ρ_i = razdalja med vodnjaki

t = čas od pričetka črpanja v
vodnjakih (sek)

Q_{sum} = skupna količina črpanja

H = povprečna debelina vodono-
snika (53 m)

$$\alpha = \frac{Q}{Q_{\text{sum}}} = 0,33$$

E_i = eksponencialna funkcija; vrednosti se odčitajo v tabeli (Spravočnoe rukovodstvo gidrogeologa, 1979)

V enačbi je najpomembnejši parameter S (storage), ki smo ga posebej računali iz podatkov poizkusnih črpanj na VG-2 (VG-1 je služil kot opazovalni vodnjak) in na VG-3 po Jacobovi enačbi:

$$S = \frac{2,25 \cdot k \cdot H \cdot t_0}{r^2}$$

t_0 - presek premice preko točk znižanja z absciso, na katero je nanešen čas v log merilu

Dobili smo dve različni vrednosti in sicer $S = 1,298 \cdot 10^{-3}$ in $S = 2,32 \cdot 10^{-4}$ in jih upoštevali v računu. Znižanje smo računali za 1 leto in 5 let obratovanja vodnjakov.

V vodnjaku VG-1 smo dobili za 1 leto obratovanja (31.536000 sek) pri vrednosti $S = 1,298 \cdot 10^{-3}$ sledeče znižanje gladine:

$$s_1 = \frac{Q_{sum}}{4\pi \cdot k \cdot H} \cdot \alpha \cdot \left[E_i\left(-\frac{r^2}{4k \cdot H \cdot S} \cdot t\right) + E_i\left(-\frac{\rho_1^2}{4k \cdot H \cdot S} \cdot t\right) + E_i\left(-\frac{\rho_2^2}{4k \cdot H \cdot S} \cdot t\right) \right] = 24,11 \text{ m}$$

V vodnjaku VG-2 smo dobili po zgornji enačbi (vstavili smo le ustrezni medsebojni razdalji ρ) $s_2 = 24,52$ m in v vodnjaku VG-3 $s = 21,95$ m.

Pri vrednosti $S = 2,32 \cdot 10^{-4}$ smo dobili po 1 letu obratovanja sledeča znižanja gladin.

$$s_1 = 27,37 \text{ m}$$

$$s_2 = 27,67 \text{ m}$$

$$s_3 = 25,21 \text{ m}$$

Po petih letih črpanja in vrednosti $S = 1,298 \cdot 10^{-3}$ smo dobili sledeče vrednosti:

$$s_1 = 27,16$$

$$s_2 = 27,56$$

$$s_3 = 24,90$$

Pri vrednosti $S = 2,32 \cdot 10^{-4}$ so znižanja po petih letih naslednja

$$s_1 = 30,42$$

$$s_2 = 30,89$$

$$s_3 = 28,33$$

Računi v katerih upoštevamo parameter S in trajanje črpanja (vendar brez upoštevanja napajanja vodonosnih plasti) dajo veliko večja znižanja, kot računi z upoštevanjem stalnega vplivnega polmera vodnjakov in vsestranskega krožnega napajanja vodonosnih plasti. V našem primeru se vodonosne plasti vsaj delno napajajo, zato so rezultati, ki smo jih dobili po prvi enačbi bližje resničnemu stanju. Na žalost nimamo točnejših podatkov gladin in količin črpanja med obratovanjem vodnjakov, zato ne moremo oceniti zanesljivosti naših računov. Vsekakor pa po skopih podatkih meritev sklepamo, da znižanje na nobenem od vodnjakov ne presega 28 m pri črpanju okrog 20 l/s po vodnjaku.

Prognoza znižanj gladin po izdelavi predvidenega dodatnega vodnjaka VG-5

Na komunalnem podjetju Ptuj načrtujejo izdelavo še enega vodnjaka približno 270 m zahodno od vodnjaka VG-1. Vodnjak naj bi bil globok 200 m, zajeli pa bi iste vodonosne

plasti kot v ostalih vodnjakih. Znižanje smo računali le po prvi enačbi, ki daje podatke, bližje resničnemu stanju:

$$s = \frac{1}{2\pi \cdot k \cdot H} \sum_{i=1}^{m} Q_i \cdot \ln \frac{R_i}{\rho_i}$$

Za vodnjaka VG-1 in VG-2 smo privzeli nekoliko nižje črpanje, 18 l/s za VG-3 m VG-4 pa 20 l/s. Dobili smo naslednja znižanja:

$$\begin{aligned} s_1 &= 23,7 \text{ m} \\ s_2 &= 26,7 \text{ m} \\ s_3 &= 22,16 \text{ m} \\ s_4 &= 25,37 \text{ m} \end{aligned}$$

Vidimo, da se le v vodnjaku VG-2 znižanje približa največjemu dopustnemu 28 m. Iz tega sklepamo da bo z dodatnim vodnjakom VG-4 mogoče skupno količino črpanja iz zdajšnjih 60 l/s povečati vsaj na 72 l/s.

e) Napajanje in obnavljanje pliocenskih prodnih vodonosnikov

Opazovanja in meritve v septembru 1995, ko je bila piezometrična gladina pliocenskih vodonosnikov še v prvotnem stanju, so pokazala, da je le-ta na območju Skorbe okrog 1 m višja od gladine v zgornjem dravskem pleistocenskem prodnem vodonosniku. Pred pričetkom črpanja je bilo torej onemogočeno pronicanje oporečne zgornje podtalnice v pliocenske vodonosnike. Na to kažejo tudi kemične analize vode iz pliocenskih vodonosnikov, ki se močno razlikuje od vode iz zgornjega, pleistocenskega vodonosnika. Vsebnost nitratov je neznatna, pod 0,5 mg/kg, medtem ko se vsebnost nitratov v zgornjem vodonosniku približuje zgornji meji (dovoljeni).

Na osnovi podatkov geološke karte ter podatkov iz globokega vodnjaka VG-4 v Novi vasi nad Ptujem sklepamo, da se pliocenski prodni vodonosniki napajajo s pronicanjem padavin v gričevju med Orešjem in Pacinjem ter v vmesnih dolinah Grajene in Rogoznice (sl. 2). Na to kažejo podatki iz globokega vodnjaka VG-4, kjer je bila prvotna piezometrična gladina na višini 230,0 m, tj. 6-7 m višje kot v Skorbi. Iz tega sklepamo, da je tok podtalne vode usmerjen od gričevja Slovenskih Goric proti ravnini Dravskega polja.

S črpanjem vode iz globokih vodnjakov v Skorbi se bo piezometrična gladina na ožjem območju črpališča močno znižala. Zaradi tega bo začela pronicati oporečna podtalnica iz zgornjega vodonosnika v spodnje pliocenske vodonosnike na mestih, kjer se le-ti v neposrednem stiku. Območje, kjer se vodonosniki stikajo in kjer se bo piezometrična gladina znižala za več kot 1 m sega približno 1 km daleč od vodnjakov v smeri proti severo-severozahodu.

Iz Dupuitove depresijske krivulje, ki jo bo povzročilo skupno delovanje vseh globokih vodnjakov namreč izhaja, da bo znižanje piezometrične gladine v pliocenskih vodonosnikih 1 km severo-severozahodne od VG-2 že manjše od 1 m. S tem pa bo od tod naprej onemogočeno pronicanje oporečne vode iz zgornje podtalnice navzdol v pliocenske vodonosnike.

Iz hidrogeološkega profila (sl. 3) je razvidno, da se na ožjem območju črpališča v Skorbi (VG-1, VG-2) prva pliocenska vodonosna prodna plast neposredno stika z zgornjim dravskim prodnim vodonosnikom. Globlje ležeče pliocenske prodne vodonosne plasti so od dravskega prodnega vodonosnika ločene z neprepustnimi glinastimi plastmi. Na ožjem območju črpališča se bo piezometrična gladina v pliocenskih vodonosnikih močno znižala zaradi črpanja, zato bo oporečna voda iz zgornjega vodonosnika pronicala v prvo, najplitveje ležečo pliocensko vodonosno plast. Pronicanje bo močnejše, v kolikor je stik dobro prepusten, sicer pa ne bo izrazitejše.

V vodnjakih VG-1 in VG-2 je poleg prve pliocenske vodonosne plasti zajetih še več globlje ležečih plasti, ki so navzgor ločene z neprepustno glino, ki onemogoča pronicanje polutantov vanje. V vodnjakih VG-1 in VG-2 predstavlja prva zajeta pliocenska vodonosna plast manj kot polovica (od 12-40 %) vseh zajetih plasti, zato se bodo polutanti močno razredčili.

V vodnjaku VG-3, kot tudi v predvidenem vodnjaku VG-5 so pliocenske vodonosne prodne plasti ločene od zgornjega dravskega vodonosnika z neprepustno glino, zato ne bo možno neposredno onesnaženje z oporečno vodo od zgoraj.

Te pliocenske vodonosne prodne plasti se stikajo z zgornjim dravskim prodnim vodonosnikom dlje kot 1 km od črpališča, kjer je piezometrična gladina že nekoliko višja od gladine zgornje podtalnice in zato ne bo možen vdor oporečne vode vanje.

f) Kakovost podtalne vode v pliocenskih vodonosnikih

Izvedene preiskave fizikalno kemijskih in bioloških parametrov kažejo, da je kakovost vode zelo dobra. Voda je brez pesticidov in z zelo nizko vsebnostjo nitratov (pod 1 mg N/kg). Tudi vsebnost ostalih kemičnih substanc je v okviru normativov Pravilnika o higienski neoporečnosti pitne vode iz l. 1987 (Ur. l. SFRJ št. 33/87 in 13/91), oziroma po smerničnih vrednostih Evropske skupnosti (80/778/EGW, 95/C 121/03). Omeniti moramo, da je koncentracija vseh zasledovanih pesticidov, tudi atrazina in desetil-atrazina, ki jih zasledimo povsod v podtalnici Dravskega polja, manjša od detekcijske meje uporabljenih analiziranih metod.

Mikrobiološke preiskave so pokazale, da niso prisotne bakterije fekalnega izvora, prisotne pa so v nekoliko povečanem številu aerobne mezofilne bakterije, ki jih pripisujemo posledicam vrtnih del. Novejših podatkov analiz na žalost nismo imeli na razpolago.

Varovanje podtalne vode v pliocenskih prodnih vodonosnikih

Podtalna voda je v globokih vodnjakih v Skorbi zajeta v pliocenskih prodnih vodonosnikih v globini 40-155 m. Ti so zavarovani pred onesnaženjem s površja, oziroma iz zgornje oporečne podtalnice z več plastmi neprepustne gline. Izjema je vodnjak VG-2, v manjši meri vodnjak VG-1, kjer je prva zajeta vodonosna plast v neposrednem stiku z zgornjo podtalnico. Vendar predstavlja ta plast le 12 % vseh zajetih pliocenskih plasti v tem vodnjaku. Vse ostale zajete pliocenske vodonosne plasti se stikajo z zgornjo podtalnico od 400 do preko 1000 m daleč od vodnjakov v smeri proti severu.

Podtalna voda je v pliocenskih prodnih vodonosnikih pod tlakom (je subarteška). V naravnem stanju je njihova piezometrična gladina približno 1 m višja od gladine zgornje podtalnice. Zajete prodne plasti se nahajajo v globini 40-155 m, piezometrična gladina pa je v naravnem stanju v globini 6-11 m v odvisnosti od višine terena. Vdiranje zgornje oporečne podtalnice je možno le v prvo zajeto pliocensko prodno plast na vodnjakih VG-1 in VG-2. Tod je piezometrična gladina pliocenskih vodonosnikov zaradi črpanja znižana pod gladino zgornje podtalnice. Vendar predstavlja prva pliocenska prodna plast le približno 12 % vseh zajetih pliocenskih plasti, tako da je vpliv oporečne vode iz zgornje podtalnice na kakovost vode zelo majhen. Ostale, globlje ležeče zajete pliocenske vodonosne plasti se stikajo v zgornjo podtalnico že na obrobju depresijskih lijakov, ki so nastali zaradi črpanja v vodnjakih. Tod pa je znižanje piezometrične gladine zelo majhno, tako da je le-ta še vedno višja od gladine zgornje podtalnice, s tem pa je onemogočeno njeno vdiranje v pliocenske vodonosne plasti.

Vsi vodnjaki se nahajajo v ograjenem prostoru obstoječega črpaljšča, ki zajema prvo in drugo varstveno cono, zato za globoke vodnjake ni treba sprejeti posebnih varstvenih ukrepov. Arteški in subarteški vodnjaki se običajno varujejo le z združeno prvo in drugo varstveno cono, ki mora obsegati krožno površino s polmerom najmanj 10 m. Tej zahtevi pa je v našem primeru zadoščeno.

Tretja varstvena cona z blagim režimom varovanja za subarteške vodnjake povečini ni potrebna. Pliocenski prodni vodonosniki, razen najviše ležečega, se stikajo z zgornjo podtalnico, oziroma pridejo na površje v gričevju nad Ptujem povečini več kot 1 km daleč od vodnjakov. Zaradi velike oddaljenosti in počasnega pretakanja podtalne vode skozi pliocenske prodne plasti bi se morebitno kemično onesnaženje na teh območjih pojavilo v vodnjakih po 50 in več letih v zelo razredčeni obliki. Morebitno bakteriološko onesnaženje pa zaradi velike samočistilne sposobnosti pliocenskih prodnih plasti sploh ne bi doseglo vodnjakov.

Kljub temu bi bilo treba v bodoče postopno zmanjšati onesnaževanje zgornje podtalnice na Dravskem polju s pesticidi in nitrati, s čemer bi zmanjšali vpliv na kakovost vode v globokih vodnjakih.

V gričevju severno od Ptuja ter dolinah Grajene in Rogoznice vse do Zg. Grajene in Zg. Velovleka bi morali preprečiti gradnjo nečiste industrije, ki bi lahko vplivala na kakovost vode v pliocenskih vodonosnih prodnih plasteh, ki tod izdajajo na površini. Te plasti so sicer na površini zaščitene pred neposrednim onesnaževanjem povečini z več metrov debelo glinasto preperinsko plastjo tako da bi bilo onesnaženje možno le z neposrednim ponikovanjem odplak v pliocenski prod. Za sedaj tod večino goric prekriva gozd, v dolinah pa ni razvito intenzivno kmetijstvo, tako da je onesnaževanje s površja malenkostno. S tem pa je za sedaj zagotovljena dobra kakovost vode v pliocenskih prodnih vodonosnih plasteh.

Literatura

- Kruseman, G.P. & Deridder, N.A. 1970: Analysis and Evaluation of pumping test Data. - Wageningen.
- Maksimov, V.M. 1979: Spravočnoe rukovodstvo gidrogeologa, Nedra Leningrad.
- Osvald, L. 1996: Preiskava podtalne vode iz vrtine Skorba (GV-3) in Nova vas (GV-4) pri Ptuj, Institut za varstvo okolja, ZZV Maribor p.o.
- Vuković, M. & Sora, 1984: Dinamika podzemnih voda. J. Černi, Beograd.
- Žlebnič, L. 1966: Hidrogeološke razmere na območju strojnice elektrarne Srednja Drava 1. stopnja. Geologija 9, 489-503 Ljubljana.
- Žlebnič, L., Hötzl, M. & Drobne, F. 1996: Poročilo o izvedbi globokega vodnjaka VG-4 pri vodohramu v Novi vasi nad Ptujem. - Arhiv GZL, Ljubljana.
- Žlebnič, L., Hötzl, M. & Drobne, F. 1996: Poročilo o izvedbi globokega vodnjaka VG-3 in medsebojnem vplivu vseh treh globokih vodnjakov (VG-3, VG-2, VG-1) v črpališču Skorba, Arhiv GZL, Ljubljana.

Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja

Isotope investigations of groundwater from Ljubljansko polje (Slovenia)

Janko Urbanc

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Brigita Jamnik

Vodovod - Kanalizacija d.o.o., Ambrožev trg 7, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: Ljubljansko polje, podzemna voda, izotopi kisika
Key words: Ljubljansko polje, groundwater, oxygen isotopes

Kratka vsebina

V podzemni vodi peščeno-prodnega vodonosnika Ljubljanskega polja se pojavljata dve komponenti različnega izvora: lokalno infiltrirane padavine ter voda iz reke Save. Na osnovi izotopske sestave kisika v vodi je bilo možno oceniti deleže obeh komponent v podzemni vodi Ljubljanskega polja. V obdobju opazovanja je komponenta reke Save predstavljala od 19 do 100 % celokupnega volumna podzemne vode v posameznih vodnjakih.

Abstract

Two components of different origin occur in the groundwater of the sand-gravelly aquifer Ljubljansko polje: locally infiltrated precipitation and water from the Sava river. The proportion of both components was assessed on the basis of groundwater oxygen isotope composition. During the observation period, the Sava river component was represented by 19 to 100 % of the total groundwater volume in individual wells.

Uvod

Ljubljansko polje predstavlja peščeno-prodni vodonosnik na neprepustni podlagi iz glinovcev karbonske in permske starosti. Geološke ter hidrogeološke razmere Ljubljanskega polja podrobneje opisuje Ž i b n i k (1971). V vodonosniku Ljubljanskega polja prihaja do mešanja podzemnih vod iz dveh virov (D r o b n e i n s o d., 1997): prva komponenta izhaja iz reke Save, ki zateka v vodonosnik na kontaktu s prodnimi sedimenti, druga komponenta pa je padavinska voda, ki se infiltrira na območju Ljubljanskega polja.

Z raziskavo smo želeli ugotoviti, kolikšen je delež posameznih virov napajanja podzemne vode Ljubljanskega polja. Za ugotavljanje hidrogeoloških pogojev v vodo-

nosniku smo izbrali izotop ^{18}O . Stabilne izotope v hidrogeoloških raziskavah uporabljamo kot naravno sledilo, s katerim je možno ugotavljati procese v vodonosnikih. Ker se sestava stabilnih izotopov v podzemni vodi ne spreminja, so idealni za ugotavljanje območij napajanja, kvantifikacijo mešalnih razmerij v podzemni vodi ter za ugotavljanje dinamike obnavljanja vode v podzemnih vodonosnikih.

Izotopska sestava kisika v vodi je v veliki meri pogojena z nadmorsko višino terena, na katerem so se infiltrirale padavine. Ker ima reka Sava v primerjavi z Ljubljanskim poljem drugačno nadmorsko višino zaledja, smo pričakovali razliko v izotopski sestavi obeh vhodnih komponent podzemne vode Ljubljanskega polja, kar je osnova za ugotavljanje deležev mešanja.

Vzorčevanja so potekala v vodnjakih vseh štirih vodarn Ljubljanskega polja: Kleče, Šentvid, Hrastje in Jarški prod. Da bi zmanjšali število vzorcev, smo v sedmih vodnjakih izvajali vzorčevanja v mesečnih intervalih, v ostalih vodnjakih pa smo vzorčevali v tromesečnih intervalih. Izotopska sestava kisika v vodi je bila izmerjena z metodo izotopskega uravnotežanja med vodo in CO_2 ob konstantni temperaturi. Meritve izotopske sestave kisika v vodi so bile opravljene z masnim spektrometrom Varian Mat 250 na Inštitutu J. Stefan v Ljubljani. Rezultati izotopskih analiz so podani v promilih glede na mednarodni standard SMOW.

Izotopska sestava vhodnih komponent

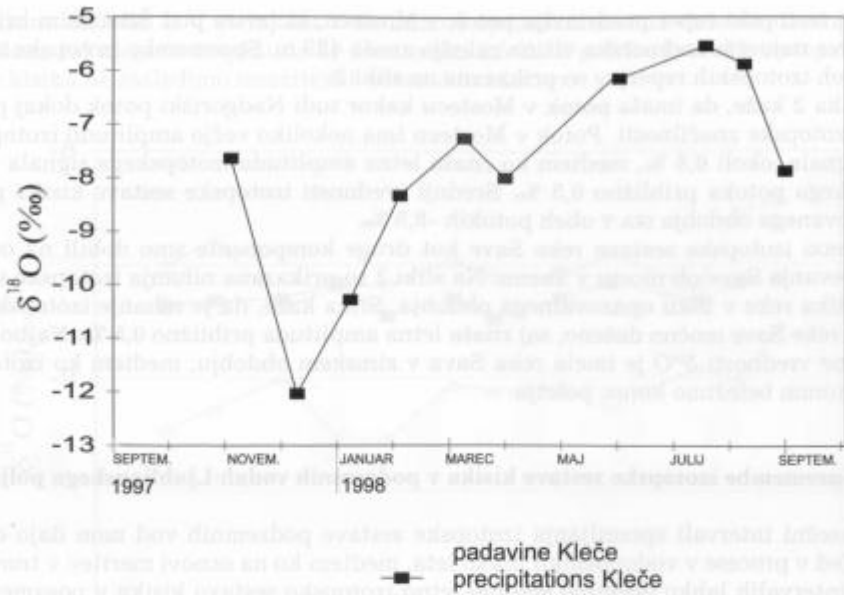
Za kvantifikacijo mešalnih deležev v podzemni vodi je potrebno poznati izotopsko sestavo obeh vhodnih komponent: izotopsko sestavo lokalnih padavin na območju Ljubljanskega polja ter izotopsko sestavo reke Save.

Vzorčevalnik za ugotavljanje izotopske sestave kisika v padavinah je lociran v vodarni Kleče. Vzorčevalnik je zasnovan tako, da ni možna evaporacija vzorca dežja, ki bi lahko povzročila spremembo njegove izotopske sestave. V toku raziskave smo vzorčevali kumulativne padavine v obdobju približno enega meseca.

Spremembe izotopske sestave padavin v toku obdobja opazovanja so prikazane na sliki 1. Iz slike je razvidno, da so bile spremembe izotopske sestave padavin dokaj tipične za naše klimatske razmere. V zimskem času smo zabeležili izrazito negativne vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ padavin. Najbolj negativno izotopsko sestavo so imele padavine v mesecu decembru, ko smo izmerili vrednost $\delta^{18}\text{O}$ -12% . Po zimskem minimumu so bile padavine vse bolj obogatene s težjim kisikovim izotopom ^{18}O , tako da smo v mesecu juliju izmerili pozitivni maksimum izotopske sestave približno $-5,5\%$. V celotnem obdobju opazovanja smo tako zabeležili amplitudo izotopskega padavinskega signala preko 6% .

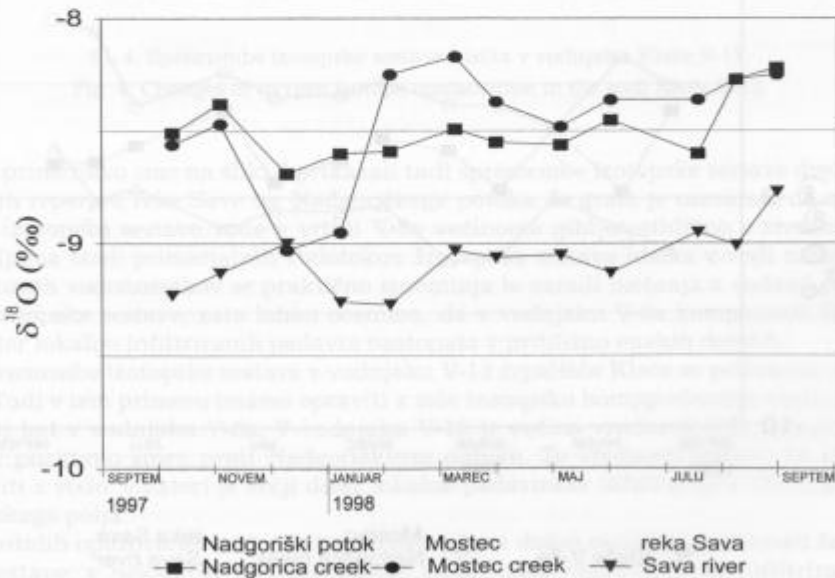
Drugi parameter, ki smo ga uporabili za ugotavljanje izotopske sestave lokalne infiltracije na območju Ljubljanskega polja, je bila izotopska sestava dveh manjših potokov na obrobju Ljubljanskega polja. Izkušnje pri uporabi izotopov namreč kažejo, da so potoki z majhnimi zaledji znane nadmorske višine, zaradi svoje homogenizirane izotopske sestave, lahko dober indikator povprečne izotopske sestave lokalnih padavin (Markič in sod., 1991).

Pri izbiri tovrstnih izotopskih reperjev je potrebno paziti, da je nadmorska višina njihovega zaledja čim bližje nadmorski višini zaledij opazovanih vod, saj bi v nasprotnem primeru zaradi višinskega izotopskega efekta lahko prišlo do prevelikih razlik v izotopski sestavi. Zaradi tega smo kot prvi izotopski reper izbrali Nadgoriški potok, katerega zaledje predstavlja Soteški hrib pri Nadgorici z največjo višino 405 m.



Sl. 1. Izotopska sestava kisika v padavinah Ljubljanskega polja v letih 1997/1998

Fig. 1. Oxygen isotope composition of precipitation at Ljubljansko polje in the period 1997/1998



Sl. 2. Izotopska sestava kisika primerjalnih vodotokov

Fig. 2. Oxygen isotope composition of comparative streams

Drugi izotopski reper predstavlja potok v Mostecu, ki izvira pod Šišenskim hribom; njegova največja nadmorska višina zaledja znaša 429 m. Spremembe izotopske sestave obeh izotopskih reperjev so prikazane na sliki 2.

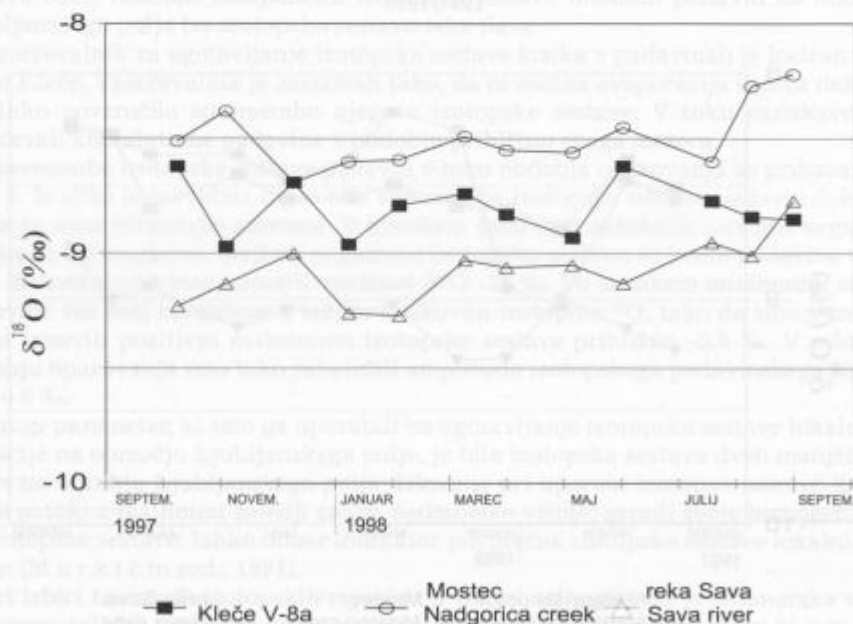
Slika 2 kaže, da imata potok v Mostecu kakor tudi Nadgoriški potok dokaj podobne izotopske značilnosti. Potok v Mostecu ima nekoliko večjo amplitudo izotopskega signala, okoli 0,8 ‰, medtem ko znaša letna amplituda izotopskega signala Nadgoriškega potoka približno 0,5 ‰. Srednji vrednosti izotopske sestave kisika preko opazovanega obdobja sta v obeh potokih -8,5 ‰.

Oceno izotopske sestave reke Save kot druge komponente smo dobili na osnovi vzorčevanja Save ob mostu v Tacnu. Na sliki 2 so prikazana nihanja izotopske sestave kisika reke v toku opazovalnega obdobja. Slika kaže, da je nihanje izotopske sestave reke Save močno dušeno, saj znaša letna amplituda približno 0,5 ‰. Najbolj negativne vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ je imela reka Sava v zimskem obdobju, medtem ko izotopski maksimum beležimo konec poletja.

Spremembe izotopske sestave kisika v podzemnih vodah Ljubljanskega polja

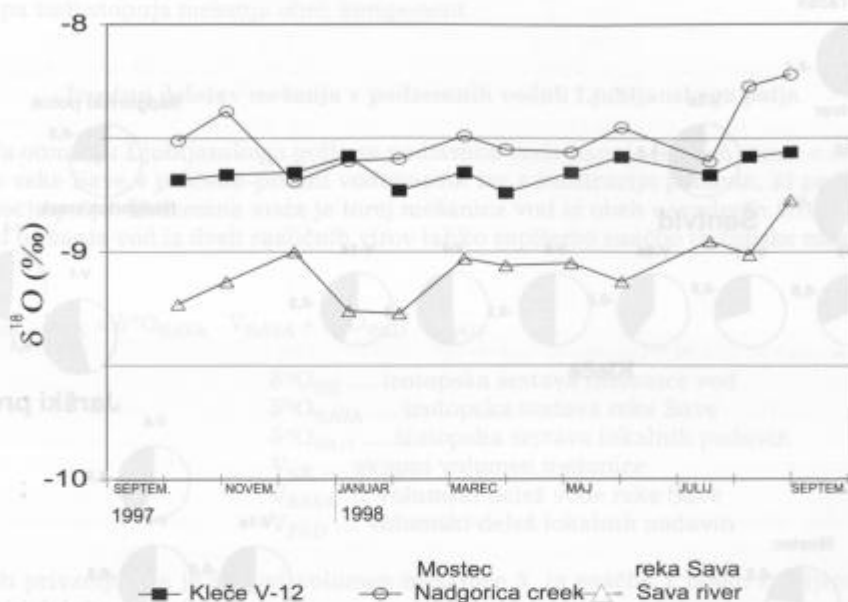
Mesečni intervali spremljanja izotopske sestave podzemnih vod nam dajo dober vpogled v procese v vodonosniku preko leta, medtem ko na osnovi meritev v tromesečnih intervalih lahko ocenimo srednjo letno izotopsko sestavo kisika v posameznem vodnjaku.

Spremembe izotopske sestave kisika v vodi vodnjaka V-8a v črpališču Kleče so



Sl. 3. Spremembe izotopske sestave kisika v vodnjaku Kleče V-8a
Fig. 3. Changes of oxygen isotope composition in the well Kleče V-8a

prikazane na sliki 3. V vodnjaku V-8a imamo opraviti z močno dušenim izotopskim signalom, saj njegova amplituda ne doseže niti 0,5 ‰. V poteku krivulje izotopske sestave kisika ne zasledimo izrazitejših sezonskih efektov.



Sl. 4. Spremembe izotopske sestave kisika v vodnjaku Kleče V-12

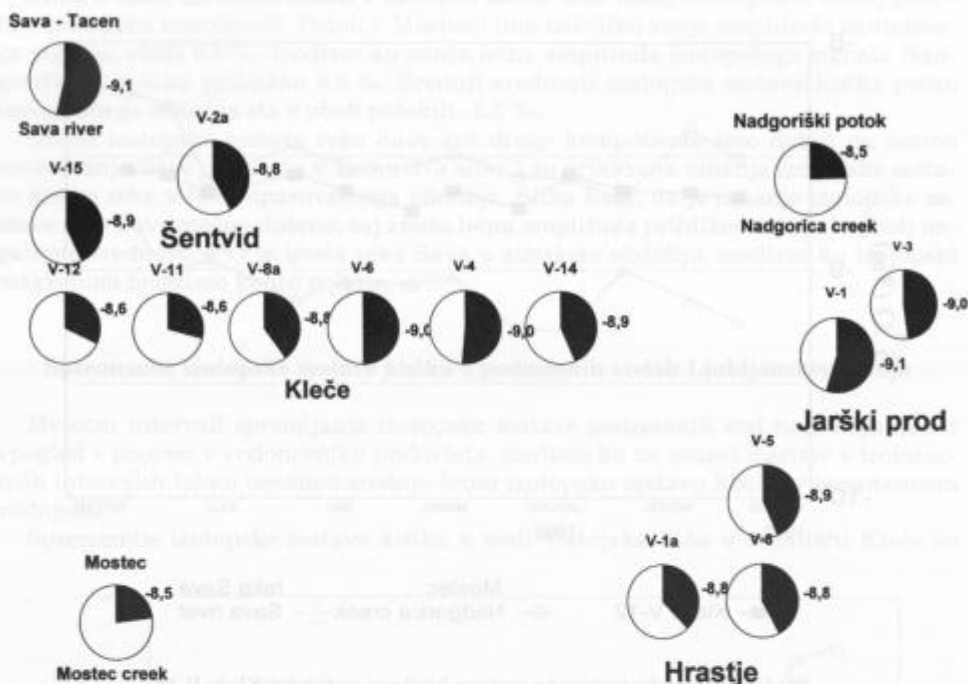
Fig. 4. Changes of oxygen isotope composition in the well Kleče V-12

Za primerjavo smo na sliki 3 prikazali tudi spremembe izotopske sestave dveh izotopskih reperjev, reke Save ter Nadgoriškega potoka. Iz grafa je razvidno, da se krivulja izotopske sestave vode v vrtini V-8a večinoma giblje približno v sredini med krivuljama obeh primerjalnih vodotokov. Izotopska sestava kisika v vodi nizkotemperaturnih vodonosnikov se praktično spreminja le zaradi mešanja z vodami drugačne izotopske sestave, zato lahko ocenimo, da v vodnjaku V-8a komponenti Savske vode ter lokalno infiltriranih padavin nastopata v približno enakih deležih.

Spremembe izotopske sestave v vodnjaku V-12 črpališča Kleče so prikazane na sliki 4. Tudi v tem primeru imamo opraviti z zelo izotopsko homogenizirano vodo, še celo bolj kot v vodnjaku V-8a. V vodnjaku V-12 je večina vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ pomaknjena bolj v pozitivno smer, proti Nadgoriškega potoku. Te vrednosti kažejo, da imamo opraviti z vodo, v kateri je večji delež lokalne padavinske infiltracije z območja Ljubljanskega polja.

V ostalih opazovanih vodnjakih smo naleteli na dokaj različne značilnosti izotopske sestave; v nekaterih bolj prevladuje padavinska voda, ki se je infiltrirala na območju samega Ljubljanskega polja, medtem ko v drugih vodnjakih beležimo večji delež komponente vode reke Save. V tem pogledu je še posebej zanimiv vodnjak V-1 v Jarškemrodu, katerega izotopska sestava kisika je skoraj enaka izotopski sestavi

kisika reke Save. Torej se v tem vodnjaku pojavlja praktično le Savska voda, brez primesi vode lokalnih padavin. Takšen rezultat je povsem logičen, saj je vodnjak lociran v bližini reke Save.



Sl. 5. Primerjava povprečnih vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ vseh opazovanih vod na območju Ljubljanskega polja

Fig. 5. Comparison of average $\delta^{18}\text{O}$ values of all observed waters in the area of Ljubljansko polje

Povprečna izotopska sestava vseh opazovanih vod je prikazana na sliki 5. Izotopska sestava kisika v vodi je ponazorjena s krožnim grafom, katerega razpon znaša 2 %. Na grafu tečejo spremembe od bolj pozitivnih proti bolj negativnim vrednostim $\delta^{18}\text{O}$ v smeri urinega kazalca. Prazen krog krožnega grafa tako ponazarja izotopsko sestavo -8 ‰, medtem ko zapolnjen krog pomeni izotopsko sestavo -10 ‰.

Slika 5 kaže, da imata najbolj pozitivno $\delta^{18}\text{O}$ vrednost Nadgoriški potok in potok v Mostecu, približno -8,5 ‰. Najbolj negativno povprečno vrednost $\delta^{18}\text{O}$ ima reka Sava, in sicer okoli -9 ‰. Vrednosti izotopske sestave vod iz vodnjakov Ljubljanskega polja se kot mešanica dveh izotopsko različnih komponent gibljejo med tema skrajnima vrednostima, v odvisnosti od deležev posameznih komponent v vodi.

Na sliki 5 vidimo tudi, da se v rezultatih izotopskih analiz v določeni meri odsliska prostorski razpored vodnjakov v posameznih vodarnah. V vodarni Kleče tako opazujemo, da so vodnjaki z večjim deležem lokalnih padavin bolj na skrajnih delih niza vodnjakov, medtem ko imamo v osrednjem delu vodarne vodnjake, v katerih beležimo večji delež savske vode. Na območju vodarne torej nimamo opravka s homogeniziranim tokom podzemne vode, ampak je v osrednjem delu cona z močnejšim dotokom

vode reke Save, medtem ko na obrobju bolj prevladuje voda, ki izvira iz lokalno infiltriranih padavin.

V vodarni Hrastje razlike v deležih posameznih komponent niso tako velike, kar je razumljivo, saj je pot podzemne vode po prodnem vodonosniku do vodarne daljša, s tem pa tudi stopnja mešanja obeh komponent.

Izračun deležev mešanja v podzemnih vodah Ljubljanskega polja

Na območju Ljubljanskega polja se podzemna voda napaja iz dveh virov: z zatekanjem reke Save v peščeno-prodni vodonosnik ter z infiltracijo padavin, ki padejo na območju polja. Podzemna voda je torej mešanica vod iz obeh navedenih virov. V primeru mešanja vod iz dveh različnih virov lahko zapišemo enačbo izotopske masne bilance:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{SK}} \cdot V_{\text{SK}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{SAVA}} \cdot V_{\text{SAVA}} + \delta^{18}\text{O}_{\text{PAD}} \cdot V_{\text{PAD}} \quad (1)$$

$\delta^{18}\text{O}_{\text{SK}}$ izotopska sestava mešanice vod

$\delta^{18}\text{O}_{\text{SAVA}}$ izotopska sestava reke Save

$\delta^{18}\text{O}_{\text{PAD}}$ izotopska sestava lokalnih padavin

V_{SK} skupni volumen mešanice

V_{SAVA} volumski delež vode reke Save

V_{PAD} volumski delež lokalnih padavin

Ob privzetju, da je skupni volumen mešanice 1, iz enačbe 1 lahko izpeljemo volumski delež reke Save:

$$V_{\text{SAVA}} = \frac{(\delta^{18}\text{O}_{\text{SK}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{PAD}})}{(\delta^{18}\text{O}_{\text{SAVA}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{PAD}})} \quad (2)$$

Ker ob posameznih meritvah lahko pride do večjih ali manjših nihanj, bodisi zaradi analitskih napak ali tudi fluktuacij v naravnem sistemu, je za izračun deležev bolj smiselno vzeti podatke o povprečni izotopski sestavi vode iz določenega vodnjaka preko celotnega opazovalnega obdobja. Za izračun so bili vzeti sledeči vhodni podatki:

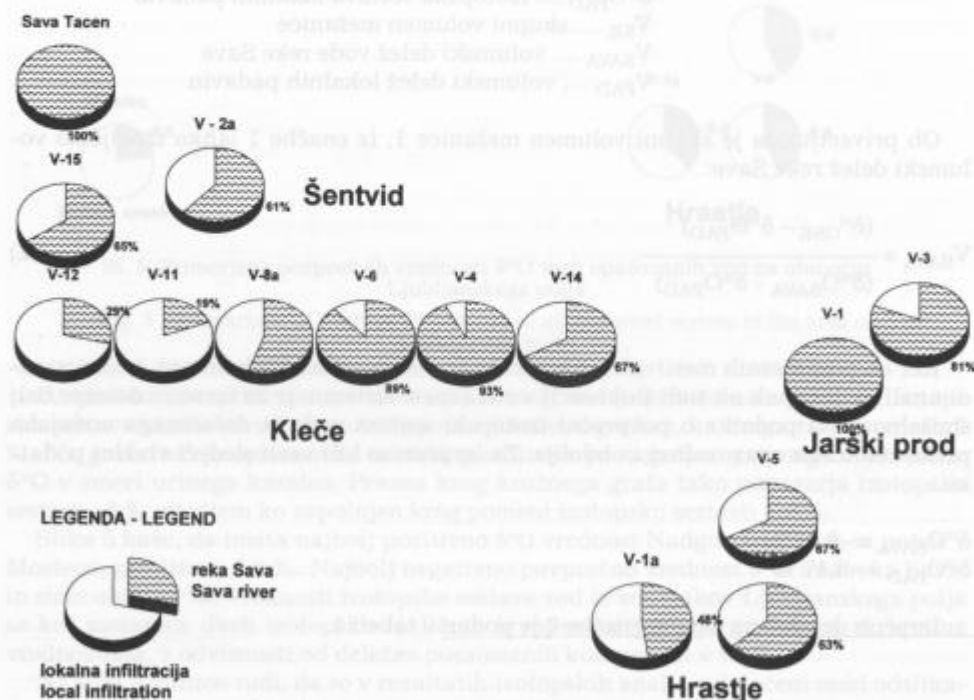
$$\delta^{18}\text{O}_{\text{SAVA}} = -9,07 \text{ ‰}$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{PAD}} = -8,47 \text{ ‰}$$

Izračun deležev na osnovi enačbe 2 je podan v tabeli 1.

Tabela 1. Izračunani deleži vode reke Save v podzemnih vodah Ljubljanskega polja.
 Table 1. Calculated proportions of water from the Sava river in the Ljubljansko polje groundwater.

Vrtina	Delež vode reke Save
Kleče V-4	93 %
Kleče V-6	89 %
Kleče V-8a	55 %
Kleče V-11	19 %
Kleče V-12	29 %
Kleče V-14	67 %
Kleče V-15	65 %
Šentvid V-2a	61 %
Hrastje V-1a	48 %
Hrastje V-5	67 %
Hrastje V-8	63 %
Jarški p. V-1	100 %
Jarški p. V-3	81 %



Sl. 6. Izračun deleža vode reke Save v opazovanih vodnjakih Ljubljanskega polja na osnovi izotopske sestave kisika v vodi

Fig. 6. Calculation of the proportion of water from the Sava river in observed wells of Ljubljansko polje on the basis of oxygen isotope composition of water

Rezultati v tabeli 1 kažejo, da se delež vode reke Save spreminja od 19 % deleža v vodnjaku Kleče V-11 do 100 % deleža v vodnjaku Jarški prod V-1. Slika 6 prikazuje porazdelitev deležev reke Save v vseh opazovanih vodnjakih Ljubljanskega polja. Slika nazorno kaže podzemni tok v osrednjem delu vodarne Kleče, v katerem močno prevladuje voda reke Save, medtem ko v bolj obrobni vodnjakih najdemo večji delež lokalnih padavin.

Tudi v vodarni Hrastje se pojavljajo določene razlike v deležih posameznih komponent podzemne vode. Vrtini Hrastje V-5 in V-8 imata večji delež vode reke Save, medtem ko v vrtini Hrastje V-1a bolj prevladuje lokalna infiltracija padavin Ljubljanskega polja. Za ugotovitev vzrokov teh razlik bi bilo potrebno imeti na razpolago podatke o srednji vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ tudi iz ostalih vodnjakov vodarne Hrastje.

V vodarni Jarški prod do razlike med deleži komponent očitno prihaja zaradi različne oddaljenosti vodnjakov od struge reke Save.

Sklepi

Ljubljansko polje je peščeno-prodni vodonosnik, ki ga napajata dve komponenti: lokalne padavine ter reka Sava. Raziskave so pokazale, da je izotopska sestava vode v posameznih črpalnih vodnjakih dokaj različna. V nekaterih vodnjakih se pojavlja voda, ki je izotopsko bolj podobna lokalnim padavinam, v drugih je izotopska sestava bolj podobna vodi reke Save.

Z izotopskimi analizami reke Save, lokalnih padavin ter primerjalnih vodotokov je bilo možno dokaj natančno določiti povprečno izotopsko sestavo kisika obeh vhodnih komponent. Ob znani sestavi vhodnih komponent smo z uporabo enačbe masne bilance izračunali deleže obeh komponent v posameznih vodnjakih Ljubljanskega polja. Rezultati so pokazali, da ima od opazovanih vodnjakov največji delež savske vode vodnjak V-1 v vodarni Jarški prod (100 %), najmanjši delež vode reke Save pa smo zabeležili v vodnjaku V-11 Kleče (19 %). V ostalih vodnjakih se deleži precej spreminjajo.

Opazili smo, da ima na delež posamezne komponente v mešanici velik vpliv predvsem lokacija posameznega vodnjaka, tako glede na oddaljenost od reke Save kot tudi glede razporeditve vodnjakov v vodarni. V osrednjem delu vodarne Kleče je bil opažen tok podzemne vode s praktično povsem savsko vodo, medtem ko se v vodnjakih na obrobju vodarne povečuje delež lokalnih padavin. Tudi v vodarni Jarški prod se največji delež vode reke Save pojavlja v vodnjaku, ki leži najbližje strugi reke Save.

Isotope investigations of groundwater from Ljubljansko polje

Summary

The Ljubljansko polje aquifer is composed of sandy and gravelly sediments and is recharged by two input water components: local precipitation and the Sava river. Isotopic investigations in the area of Ljubljansko polje indicate that the oxygen isotope composition of groundwater from Ljubljansko polje is not homogeneous, but shows considerable variations in different extraction wells. Isotopic composition of water from individual wells is either more similar to that of local precipitation, or to the isotope composition of the Sava river (Figures 3, 4 and 5).

Isotopic analyses of the Sava river, of local precipitation and of comparative streams were used to make a fairly accurate assessment of the average isotope composition of both input components. The proportion of input components in individual streams was calculated on the basis of their composition, using the mass balance equation. The largest proportion of water from the Sava was found in well V-1, in the Jarški prod pumping station (100%), and the smallest proportion in well V-11, in Kleče (19%). The proportion of components in other extraction wells varies considerably (Table 1, Figure 6).

It was concluded that the proportion of one component in the mixture is to a great deal influenced by the location of the well, as regards its distance from the Sava river as also the location of wells within the pumping station. In the central part of the Kleče pumping station a ground water flow was found, containing practically entirely water from the Sava, while the proportion of local precipitation increased in wells situated on the outskirts of the pumping station. Also in the Jarški prod pumping station, the largest proportion of the Sava's water was found in the well closest to the river bed.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeva J.P. Vodovod - Kanalizacija d.o.o., Ljubljana, ki je finančno omogočilo raziskavo, Ireni Borštnar in Miroslavu Mediču za vzorčevanje ter Erni Urbanc za prevod v angleščino.

Literatura

Drobne, F., Mencej, Z. & Brilly, M. 1997: Preveritve in dopolnitve strokovnih osnov za določitev varstvenih pasov sedanjih in perspektivnih vodnih virov za območje mesta Ljubljane in okolice. - Arhiv Geološkega zavoda, Ljubljana.

Markič, M., Urbanc, J., Pezdič, J. & Marin, M. 1991: Determining the origin of waters flowing into the Senovo mine by hydrogeochemical and isotopic methods. - Proceedings of 4th International Mine Water Congress, 89-98, Poertschach.

Žlebnik, L. 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. - Geologija 14, 5-51, Ljubljana.

Porušitve naravnega ravnotežja v hribinah ob potresu v Posočju 12. aprila 1998 in Evropska makroseizmična lestvica (EMS-98)

Slope Failure Effects in Rocks at Earthquake - Posočje April, 12. 1998 and European Macroseismic Scale (EMS-98)

Renato Vidrih

Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko
Kersnikova 3, 1000 Ljubljana

Mihael Ribičič

Gradbeni inštitut ZRMK
Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

Ključne besede: potres, intenziteta, potresna lestvica, hribinski podor, hribinski zdrs, mehanika hribin, EMS, Posočje

Key words: earthquake, intensity, intensity scale, damage, rock fall, slope failure, rock mechanics, EMS, Posočje

Kratka vsebina

Najmočnejši potres 20. stoletja z epicentrom na ozemlju Slovenije je nastal 12. aprila 1998 v Zgornjem Posočju. Njegova magnituda je bila 5.8, največji učinki pa so dosegli med VII. in VIII. stopnjo po EMS lestvici. Žarišče potresa je nastalo v zemeljski skorji na območju med dolino Lepene in Krnskim pogorjem, v globini okoli 9 km (preliminarni podatki). Potres je poleg velike gmotne škode povzročil tudi precejšnje spremembe v naravi, saj so nastali številni hribinski podori in zdrsi, ki so ponekod popolnoma uničili planinske poti.

Za določitev največje stopnje potresnih učinkov je poleg odziva ljudi in njihove okolice, učinkov na predmete, poškodb zgradb, potrebno poznati tudi učinke v naravi. Prav to naju je navedlo, da sva skušala primerjati učinke potresa na zgradbah in v naravi, kjer je bilo to mogoče. Na podlagi tega sva skušala natančneje ovrednotiti poškodbe v naravi, ki jih evropska potresna lestvica obravnava zelo splošno.

Prav spremembe v naravi so omogočile zanesljivejšo določitev makroseizmičnega epicentra in intenzitete potresa. Učinke med VII. in VIII. stopnjo po EMS je potres dosegel v Mali vasi v Bovcu in v vaseh Spodnje Drezniške Ravne in Magozd. Z enako stopnjo pa sva ocenila poškodbe v naravi na Krnu, koti 1776, Javorščku, grebenu Krnčice, območju ob strugi reke Tolminke med njenim izvirom in planino Polog, v gorah nad dolino Lepene - Lemež, Šija.

Evropska potresna lestvica je pri višjih stopnjah (VI in več) narejena skoraj izključno glede na poškodbe na zgradbah. V redko naseljenih krajih, kot je primer območje, ki ga je zajel potres dne 12.4.1998, kjer so poseljene le doline, v alpskem svetu pa so le planšarije, lovske koč, planinske koč in posamezne visokogorske kmetije, je uporaba te lestvice otežena in negotova. Pojavlja se vprašanje ali ne bi

bilo mogoče dobiti bolj zanesljive ocene intenzitete potresa, če bi v presoji upoštevali tudi porušitve naravnega ravnotežja, kot so npr. hribinski podori in zdrsi. Vsak dodaten podatek v takih primerih, če ga seveda pravilno interpretiramo, lahko prinese povečanje zanesljivosti ocene intenzitete potresa. Da pa bi lahko porušitve naravnega ravnotežja, kot del seizmogeoloških pojavov, uporabili v ta namen, je treba izvesti primerjavo s poškodbami na zgradbah, kjer je to mogoče in nato ugotovitve razširiti na celotno obravnavano območje.

Za vključitev naravnih seizmogeoloških pojavov pri izdelavi makroseizmičnih lestvic lahko uporabimo več pristopov. Prvi pristop je, da vključimo v originalno lestvico tudi opis opredeljene stopnje intenzitete seizmogeoloških pojavov, kot so porušitve naravnega ravnotežja. Drugi je, da se Aneks C pri EMS lestvici, ki obravnava seizmo-geološke pojave, bolj podrobno opredeli. Pri tem upoštevamo v zadnjem času pridobljeno strokovno znanje iz mehanike hribin in iz prostorskih analiz, opravljenih z GIS orodji, ki določujejo ranljivost terena, glede na pojave naravnega porušitve ravnotežja. Zadnja možnost je izdelava ločene lestvice za seizmogeološke pojave, ki je z Evropsko makroseizmično lestvico povezana le preko primerjalnih tabel.

Analize posledic v naravi, ki so se zgodile ob potresu v Posočju kažejo, da bi bilo smiselno usmeriti strokovne napore tudi v vključitev posledic potresa v naravi v sistematično ovrednotenje intenzitete potresa.

Abstract

On 12 April, 1998, the strongest earthquake of the 20th century with an epicentre in Slovenia shook the upper Posočje. Its magnitude was 5.8 and its maximum intensity was between the VII and VIII levels according to EMS. The epicentre was in the lithosphere in the area between the Lepena valley and the Krn Mountain Range, about 9 km deep. Apart from substantial material damage, the earthquake caused considerable changes in the environment, as there were many rockfalls and landslides which in some areas completely destroyed mountain paths.

To assess the full effects of an earthquake, one must, besides the reaction of people and their surroundings, the impact on property and damage to buildings, also identify the effects felt in nature. This is why we try to compare earthquake effects on buildings and on nature wherever possible. On this basis, we try to more precisely assess the damage caused to nature which the European Macroseismic Scale (EMS) treats very generally.

It is the changes in nature that provide a more reliable definition of macroseismic epicentre and earthquake intensity. The effects between the VII and VIII EMS were felt in Mala vas in Bovec and the villages Spodnje Drezniške Ravne and Magozd. The same level was ascribed to damage to Krn, at the height of 1776 metres, Javoršček, the Krnčica ridge, in the area along the Tolminka river between its source and the Polog mountain and in the mountains above the Lepena valley - Lemež, Šija.

For higher levels (VI and above), the European Macroseismic Scale almost exclusively takes the damage caused to buildings into account. In sparsely inhabited areas, as is the area stricken by the earthquake on 12 April, 1998 where only the valleys are inhabited, whilst in the alpine parts there are only alpine dairy farms, hunting lodges, mountain huts and individual mountain farms, use of this scale is difficult and unreliable. The question arises whether assessment of an earthquake's intensity would not be more precise if it took into account the loss of the natural equilibrium in the form of rockfalls and landslides. Such additional information, if interpreted correctly, can increase the reliability of an earthquake's intensity assessment. To enable consideration of loss of the natural equilibrium as part of seismological phenomena, a comparison with damage to buildings must be made where possible and the findings extended to the entire area in question.

Several approaches are possible to include natural seismological phenomena in the formation of macroseismic scales. According to the first approach, a description of seismological phenomena (like the loss of natural equilibrium) is gradually included in the description of intensity levels, i.e. in the original scale. According to the second approach, Annex C of the EMS treating seismological phenomena is defined more precisely, taking into account the recently gained expert knowledge regarding rock mechanics and spatial analyses made using GIS technology concerning an area's vulnerability which is reflected in the loss of natural equilibrium. The third and most recent approach is to create a separate scale for seismological phe-

nomena linked only to the European Macroseismic Scale through comparative tables.

Analyses of the damage caused to nature by the Posočje earthquake show that it would be useful to direct expert efforts towards including the earthquake's impact on nature in the systematic assessment of earthquake intensity.

Uvod

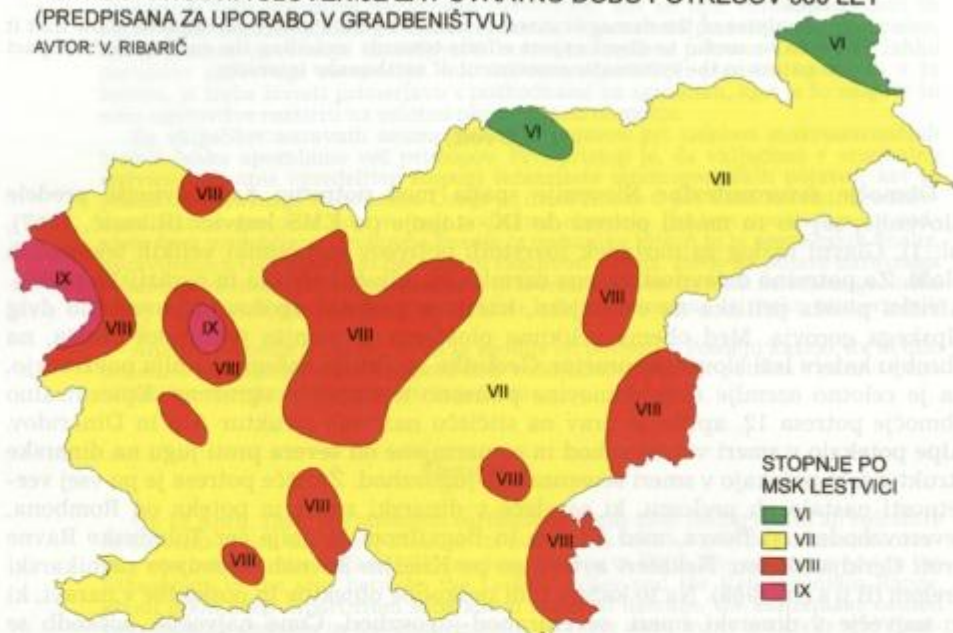
Območje severozahodne Slovenije spada med potresno najdejavnejše predele Slovenije, saj so tu možni potresi do IX. stopnje po EMS lestvici (Ribarič, 1987), (sl. 1). Glavni razlog za nastanek tovrstnih potresov so premiki velikih tektonskih plošč. Za potresno dejavnost našega ozemlja sta ključni afriška in evrazijska plošča. Afriška plošča pritiska na evrazijsko, kar je v geološki zgodovini povzročilo dvig alpskega gorovja. Med obema velikima ploščama je manjša jadranska plošča, na obrobju katere leži slovenski prostor. Geološke strukture našega ozemlja povzročajo, da je celotno ozemlje naše domovine potresno nevarno in ogroženo. Epicentralno območje potresa 12. aprila je prav na stičišču naravnih struktur Alp in Dinaridov. Alpe potekajo v smeri vzhod-zahod in so narinjene od severa proti jugu na dinarske strukture, ki potekajo v smeri severozahod-jugovzhod. Žarišče potresa je po vsej verjetnosti nastalo ob prelomu, ki se vleče v dinarski smeri in poteka od Rombona, severovzhodno od Bovca, med Krnom in Bogatinom in dalje čez Tolminske Ravne proti Cerkljanskemu. Nekateri avtorji ga po Knežjih Ravnah imenujejo ravnikarski prelom (B u s e r, 1986). Na to kažejo tudi poškodbe objektov in poškodbe v naravi, ki so največje v dinarski smeri, severozahod-jugovzhod. Cona največjih poškodb se vleče v pasu od Bovca, Kal-Koritnice, doline Lepene, Magozda, Spodnjih in Zgornjih Drežniških Raven, Jezerce in do vasi Krn (V i d r i h & G o d e c, 1998). Pas z največjimi spremembami v naravi pa poteka od Bovca (manjši podori), po jugozahodnih grebenih, ki se dvigujejo nad dolino Lepene, Krnskem pogorju, do izvira Tolminke in planine Polog nad Tolminom (R i b i č i č & V i d r i h, 1998). Največ poškodovanih pomnikov I. svetovne vojne je bilo nad dolino Lepene in na Krnskem gorovju (V i d r i h & O v č a k, 1998).

Splošno o potresu

Potres 12. aprila so čutili prebivalci celotne Slovenije in prebivalci nekaterih predelov devetih sosednjih držav: Hrvaške, Bosne in Hercegovine, Madžarske, Avstrije, Švice, Italije, Slovaške, Češke in Nemčije. Izračunani koordinati epicentra sta 46,320 severne zemljepisne širine in 13,662 vzhodne zemljepisne dolžine. Potres je nastal ob 10:55 UTC (svetovni čas) ali ob 12. uri in 55 minut po lokalnem času, ravno v času velikonočnega kosila. Zato je bila panika med prebivalstvom še večja, saj je bila večina ljudi doma. Po glavnem potresu so sodelavci Uprave RS za geofiziko na epicentralnem območju postavili najprej tri, kasneje pet in končno šest terenskih opazovalnic, ki so v prvih 20-tih urah po glavnem potresu zaznale več kot 400 popotresnih sunkov, v naslednjih mesecih pa več kot 7000. Najmočnejši popotresni sunek je nastal 6. maja ob 2. uri in 52 minut UTC in je imel magnitudo 4.2, kar pomeni, da je bil približno 200× šibkejši od glavnega (B ä t h, 1973). Globine žarišč popotresnih sunkov so bile različne, pa tudi izračunani epicentri so nastajali vzdolž preloma v dolžini večji od 10 km. Natančnejše obdelave seizmičnih podatkov bodo potekale še v prihodnje.

**POTRESNA KARTA SLOVENIJE ZA POV RATNO DOBO POTRESOV 500 LET
(PREDPISANA ZA UPORABO V GRADBENIŠTVU)**

AVTOR: V. RIBARIČ



Sl. 1. Potresna karta Slovenije za povratno dobo potresov 500 let. Karta je predpisana za uporabo v gradbeništvu. Avtor: V. R i b a r i č, 1987. Glede na to karto spada osrednji del Posočja v VIII. stopnjo po MSK lestvici, posamezni predeli ob meji z Italijo pa v IX. stopnjo (stopnje MSK so primerljive s stopnjami EMS lestvice).

Fig. 1. Seismic map of Slovenia for the return earthquake period of the last 500 years. This seismic map is the official map used for earthquake-resistant building in Slovenia. Author: V. R i b a r i č, 1987. According to this map, the central part of upper Posočje (the Bovec basin) is classified at VI-II MSK and the region near the border at the ninth level (degrees of MSK is similar to EMS).

Preglednica 1. Najmočnejši popotresni sunki po potresu v nedeljo, 12.4.1998 ob 10:55 (UTC) z $M \geq 3.0$.

Table 1. The strongest aftershocks after main shock in Sunday, April, 12. 1998 10:55 (UTC) with $M \geq 3.0$

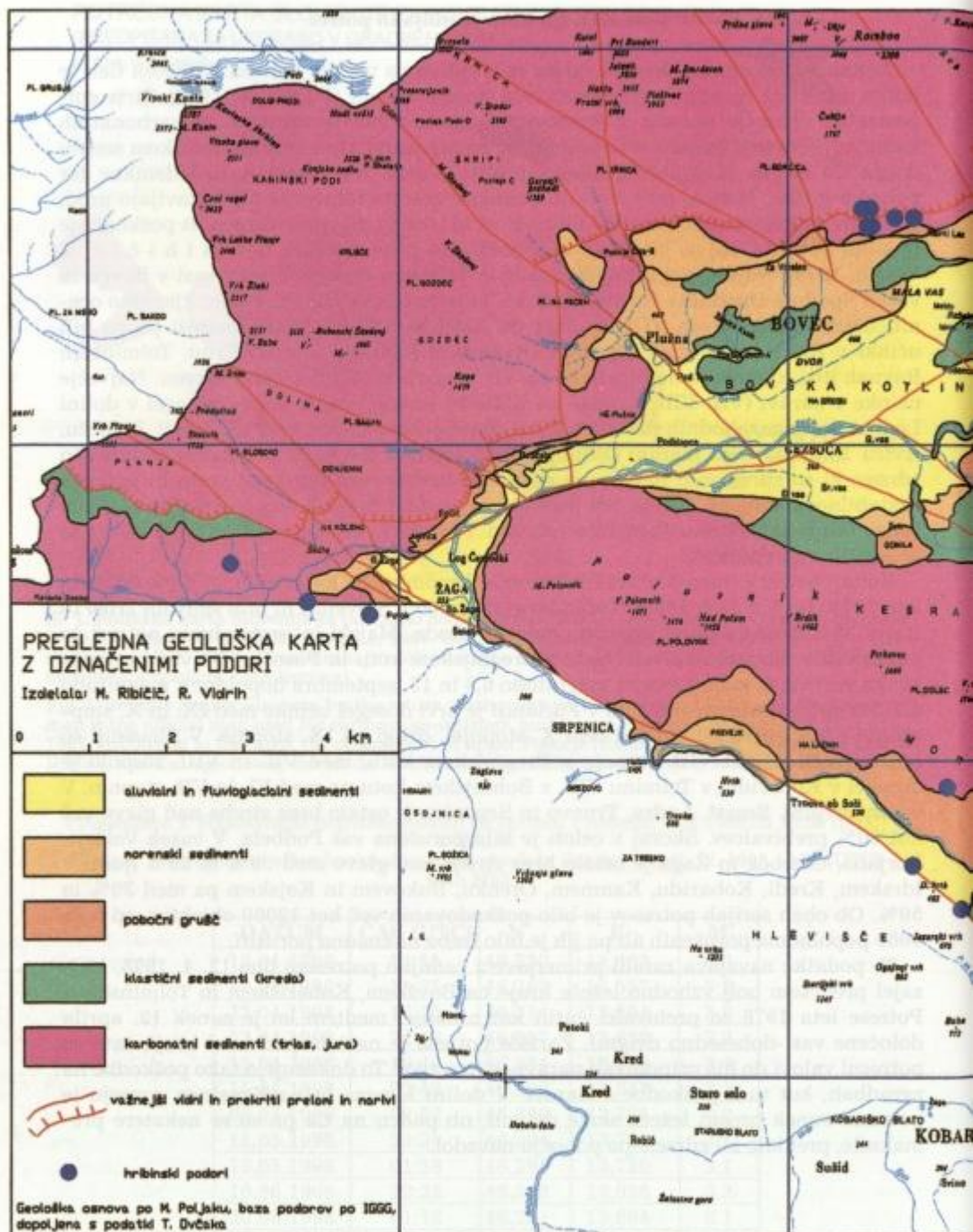
DATUM	ČAS (UTC)	N	E	M
12.04.1998	10:55	46,320	13,662	5.8
12.04.1998	13:35	46,262	13,557	3.2
12.04.1998	16:15	46,314	13,594	3.0
12.04.1998	22:13	46,317	13,628	3.2
15.04.1998	19:40	46,284	13,720	3.4
15.04.1998	22:42	46,320	13,647	3.1
06.05.1998	02:52	46,299	13,705	4.2
11.05.1998	23:30	46,294	13,723	3.2
13.05.1998	01:58	46,294	13,720	3.1
10.06.1998	23:32	46,318	13,638	3.2
30.08.1998	01:18	46,251	13,684	3.1
24.11.1998	13:49	46,235	13,664	3.4

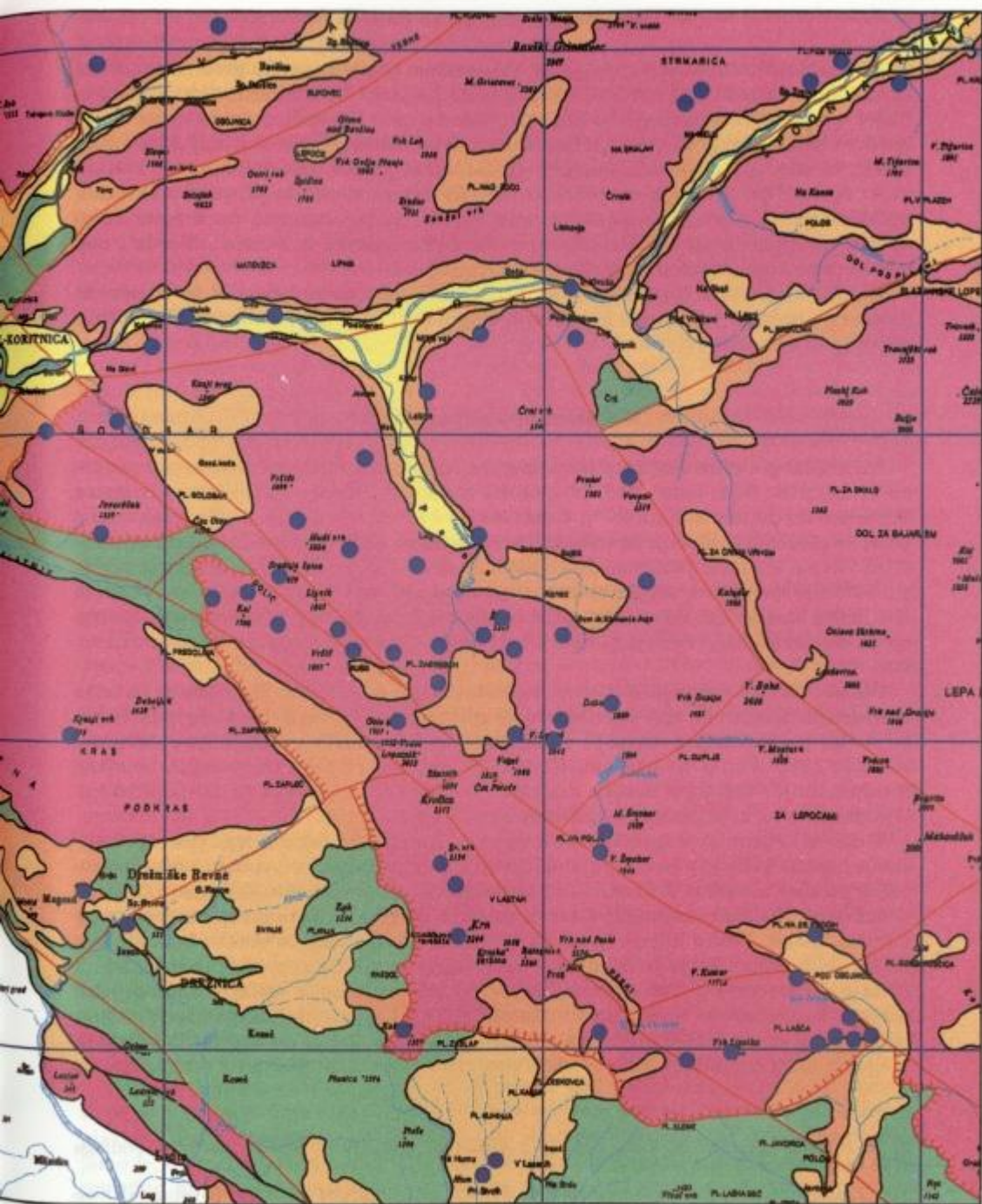
Geološka zgradba ozemlja in potres

Lokalna geološka sestava tal lahko zelo vpliva na učinke potresa. V slabih tleh se lahko učinki na zgradbe povečajo za celo stopnjo ali več (V i d r i h, 1998). Širše epicentralno območje potresa v Posočju 12. aprila 1998 je zgrajeno iz karbonatnih kamnin, predvsem apnencev in dolomitov, ki predstavljajo v seizmogeološkem smislu dobra tla (sl. 2). Najslabšo podlago gradijo nanosi rek, potokov in ledenikov ter pobočni grušči. Nanosi reke Soče in pritokov gradijo terase, ki jih sestavljajo prod, pesek in redkeje konglomerat (V i d r i h et al., 1991). Razprostranjenost poškodb je to sliko potrdila, saj so bile vse večje poškodbe prav v slabih tleh (R i b i č i č & Vidrih, 1998). Največje učinke na zgradbah je potres dosegel v Mali vasi v Bovcu in vaseh Spodnje Drezniške Ravne, Magozd, Lepena ter na planini Polog, kjer smo ocenili učinke med VII. in VIII. stopnjo po EMS lestvici. Nekoliko manjši pa so bili učinki v Kalu - Koritnici, Zgornjih Drezniških Ravnah, Jezerci, Krnu, Tolminskih Ravnah itd., kjer smo ocenili učinke na VII. stopnjo po MSK (EMS) lestvici. Največje učinke v naravi (VII.-VIII. stopnje po EMS-98 lestvici) pa je potres dosegel v dolini Lepene, na jugozahodnih pobočjih Krna, Krnčici, Javorščku, koti 1776, Šiji, Lemežu, izviru Tolminke - na planini Osojnica itd. Nastanek številnih hribinskih podorov in zdrsov, ki so spremenili naravo, je posledica hribovitega alpskega sveta in pojavov nestabilnosti v njem. Večina teh podorov bi nastala prej ali slej, vendar je potresni sunek pospešil geološka dogajanja v naravi. Procesi, ki bi lahko potekali več sto let so se zgodili v „trenutku“.

Zadnji potres je med prebivalstvom obudil spomine na katastrofo, ki jih je doletela leta 1976 (R i b a r i č, 1980). Tudi takrat na srečo v Sloveniji ni bilo smrtnih žrtev (v Italiji 987), nastala pa je ogromna gmotna škoda. Majski in septembrski potresi so povzročili v Sloveniji največ škode v Breginjskem kotu in Posočju. Glavna potresna sunka sta bila 6. maja zvečer z magnitudo 6,5 in 15. septembra dopoldne z magnitudo 6,1. Na epicentralnem območju v Furlaniji je prvi dosegel učinke med IX. in X. stopnjo po EMS lestvici (ponekod celo X. stopnje), drugi pa IX. stopnjo. V Sloveniji so bili največji učinki VIII. stopnje v Breginjskem kotu, med VII. in VIII. stopnjo je dosegel v Kobaridu, v Tolminu VII., v Bohinjskem kotu pa med VI. in VII. stopnjo. V vaseh Breginj, Smast, Ladra, Trnovo in Srpenica je ostalo brez strehe nad glavo več kot 80% prebivalcev. Skoraj v celoti je bila porušena vas Podbela. V vaseh Volarje, Borjana, Čezsoča in Žaga je ostalo brez strehe nad glavo med 50% in 80% ljudi. V Idrskem, Kredi, Kobaridu, Kamnem, Orehku, Bukovem in Kojskem pa med 30% in 50%. Ob obeh serijah potresov je bilo poškodovanih več kot 12000 objektov, od tega 4000 popolnoma porušenih ali pa jih je bilo treba naknadno porušiti.

Te podatke navajava zaradi primerjave z zadnjim potresom dne 12. 4. 1998, ki je zajel predvsem bolj vzhodno ležeče kraje na Bovškem, Kobariškem in Tolminskem. Potrese leta 1976 so prebivalci čutili kot nihanje, medtem ko je sunek 12. aprila določene vasi dobesedno dvignil. Žarišče potresa je nastalo pod temi kraji, zato so potresni valovi do hiš pripotovali naravnost navzgor. To dokazujejo tako poškodbe na zgradbah, kot tudi poškodbe v naravi. V dolini Lepene in na Krnskem gorovju je potresni sunek prosto ležeče skale dvignil, ob padcu na tla pa so se nekatere premaknile, preklale ali zdrsele po pobočju navzdol.





Spremembe v naravi ob potresu

Najmočnejši potres tega stoletja na Slovenskem je poleg velike gmotne škode na zgradbah povzročil tudi izredno veliko število pojavov nestabilnosti terena. Razno-likost teh pojavov je pomembna tako za strokovnjake, kot tudi za laične opazovalce narave. Kljub temu, da smo ljudje ob naravnih nesrečah pozorni bolj nase in na škodo, ki nam je povzročena, moramo gledati na te pojave tudi daljnoročno. Podori, ki so zgrmeli po pobočjih so ponekod dosegli doline, ponekod jih je ustavil gozd, ponekod pa so obviseli v labilnem položaju. Ko se sprehajamo po terenu lahko opazujemo skale, ki grozeče lebdijo nad planinskimi potmi in čakajo... Morda zima, morda popotresni sunek in zgrmele bodo v dolino.

Ljudje, ki živijo v bližini nastalih hribinskih podorov in zdrsov tudi danes, še mesece po potresu poročajo o hrupu in padanju skal ob popotresnih sunkih, močnih deževjih in vetrovih.

Najzanimivejši pojavi v naravi

Na kratko preletimo najznačilnejše pojave, ki so nastali v dolini Lepene, od podorov iz Lemeža, Šije, kote 1776, ob potoku Šumniku, podore iz Osojnice ob izviru Tolminke ter podore iz Krnčice in Krna (Ribičič & Vidrih, 1998). Vsak izmed pojavov plazjenja ima svoje značilnosti, ki omogočajo geologom proučevanje nestabilnosti terena. Tovrstni pojavi so dolgotrajni in se zelo redko zgodijo v življenju geologa, zato jih spremlja z večjim spoštovanjem, saj mu omogočajo večje poznavanje in mu lahko služijo kot osnova za poznavanje takih dogodkov v bodočnosti. S temi spoznanji lahko lažje svetuje ljudem k bolj premišljenemu poseganju človeka v naravo.

Podori, ki so spremenili videz jugozahodnega dela Krna so nastali ob zelo razpokanih kamninah, kjer je prihajalo do zdrsov po različnih sistemih razpok. Štirinajst dni po glavnem potresu je kamenje še vedno padalo v dolino in povzročalo strašljiv hrup. Podor na grebenu Krnčice je razdejal obzidja italijanskih vojaških frontnih linij, v tleh pa je nastala razpoka v dolžini več sto metrov, širine okoli 20 cm. Gre za razpoko, ki je posledica hribinskega plazanja.

V dolini Lepene se je sprožil kamninski tok. Kamninski tok z levega pobočja Lepene je nastal, ko se je v strmi grapi odloženo kamenje ob potresu sprožilo in se začelo valiti po njej navzdol. Pri tem so se skale in kamni povprečnih dimenzij od nekaj decimetrov do nekaj centimetrov, začeli mešati s snegom, ki je tudi zapolnjeval grapo v debeli plasti. Vedno hitreje kotaleča in drseča masa snega in blokov kamnin je v nižjih delih grape, ko se je že bližala dolini Lepene, začela s terena posnemati tudi glinaste in meljaste gruščnate zemljine, ki so bile odložene v nekaj metrov debelih plasteh. Iz zmešanega snega, grušča, kamnov in skal je nastala blatna masa, ki se je po padcu iz grape razlila po dolini. Pri tem je ob premikanju po travnatih dolinskih bregovih hitro izgubljala vodo in s tem postajala vedno gostejša, ter s tem počasneje

Sl. 2. Splošna geološka zgradba Posočja z vrisanimi hribinskimi podori (geološka podlaga 1 : 25 000, avtor M. Poljak, 1998).

Fig. 2. Generalised geological structure of Posočje with marked rockfalls (Geological map 1 : 25 000, author M. Poljak, 1998).

tekoča. Ko se je kamninski blatni tok ustavil, je iz njega odtekla še preostala voda in ostal je trd gost zemljinski in kamninski material.

Naprej v dolini Lepene nad kmetijo Na koncu je iz ostrega grebena Šije zgrmel zelo velik in tipičen klinasti zdrs hribin, ki sega od strmega grebena vrha pobočja do navpične previsnice. Klinasti zdrsi so v primerjavi s planarnimi, redkejši pojav v hribinah. Sestavljen je iz dveh, v smeri nagiba pobočja sekajočih se drsnih ploskev (ena je plastnatost in druga tektonska razpoka) in zgornje nepravilne, skoraj navpično nagnjene odlomne razpoke. Do tako velikega zdrsa hribin je prišlo ob dinamičnih obremenitvah v trenutku potresa, ko je teža klina preseгла vezni odpor na navpični razpoki in trenjske odpore na obeh drsnih ploskvah. Klin je drsel do navpične previsnice, se preko nje lomil v velike skalnate bloke, ki so se končno razbili ob padcu na vznožje previsa. Pod klinastim podorom je nastal jezik skalnatega vršaja, ki se končuje v gozdu nad dolino.

Najbolj izrazit pojav ob potresu se je zgodil na koncu doline Lepene. Iz visokih vršacev Lemeža se je ob potresu sprožil velik hribinski podor. Nastal je na območju, kjer je bila hribina močno razpokana. Razpoklinski sistemi so bili zaradi fizikalnega preperevanja, kot je vpliv zmrzali, še dodatno poudarjeni in strižna trdnost ob razpokah zmanjšana. Ob tresljajih potresnih sunkov je prišlo do zdrsa ob spodnji strmo nagnjeni ploskvi plastnatosti apnenčastih skladov in ob dveh skoraj navpičnih razpoklinskih sistemih. Odlomljen material je zdrsel najprej po prvi odlomni ploskvi plastnatosti preko previsa na drugo, od zelo starih podorov in snega zglajeno ploskev skladnatih apnencev. Na desni strani se je odbijal od navpičnih sten, tako da je bil pas padajočega skalovja zelo ozek. Preko zadnjega previsa se je že močno zdobljen material zrušil na melišče ob dolini. Gladke strmo nagnjene ploskve plastnatosti in vmesni previsi, očiščeni vseh ovir, zaradi pogostih snežnih plazov padajoči gmoti niso nudili nobenih ovir, zato je njena hitrost ob drsenju in padanju iz nadmorske višine preko 2000 m, kjer je nastal podor, pa do doline, dosegla izredno hitrost. Ob končnem udarcu na melišče je nastal strašen hrup, ki se je pridružil hrupu klinastega zdrsa s Šije in hrupu potresa. Skale in kamni so se razbili v manjše drobce in dvignil se je rumen oblak, ki je zatemnil celo dolino Lepene. Temu se je pridružil zračni udar, podoben zračnim udarom, ki nastanejo ob eksplozijah. Orkanski veter zračnega piša je prevrnil vse smreke neposredno pod meliščem in nato v dveh krakih udaril preko smrekovega gozda. Prvi ozek, okoli 15 metrov širok piš je zavel skozi visok smrekov gozd in smrekam odlomil gornji del krošnje ali pa jih je prevrnil. Nastala je ozka, neprehodna „poseka“ podrtih dreves, vseh zvrnjenih v isto smer, ki je pričala o izredni moči vetra. Drugi krak piša je sledil strugi potoka, ki izvira izpod melišča, podiral je smreke ob levem bregu in udaril na travnik ob kmetiji. Tu je mogočni sunek vetra dvignil streho lope in jo premaknil za več kot en meter.

Še posebno intenzivno je bilo potresno delovanje na širšem območju v okolici izvira Tolminke. Nastali so številni podori, majhnih do zelo velikih dimenzij. Ti podori večinoma spadajo v zdrse po različnih sistemih razpok ali zdrse v zelo močno razpokani hribini. Za njih je značilno, da so odlomni robovi zelo nepravilni. Nastali so, kjer je bila hribina tektonsko močno pretarta in dolomitizirana.

Poleg hribinskih podorov pa je potres sprožil tudi zemljinska plazenja. Primer za to je zdrs obale Bohinjskega jezera. Najbolj verjeten mehanizem, kako je prišlo do plazenja obale Bohinjskega jezera, ki si ga na osnovi terenskega ogleda predstavljamo je, da med plastmi ledeniških morenskih nanosov in pobočnih gruščev, ki sicer pretežno gradijo jezersko obalo, na mestu zdrsa, v globini nekaj metrov, nastopa vmesna plast drobnozrnatih rahlo odloženih jezerskih sedimentov, prepojenih z vodo.

Zaradi njene nizke strižne odpornosti se je v njej ustvarila drsna ploskev, po kateri je prišlo do zdrsa vseh zgoraj ležečih slojev proti jezeru. Ob tem je nastala navpična razpoka (stopnica), dobro vidna na sliki 25. Toda le s podrobnimi preiskavami sestave tal v globini s pomočjo vrtnanja bi bilo mogoče dejansko ugotoviti, kako je nastal zdrs v dolžini 100 m.

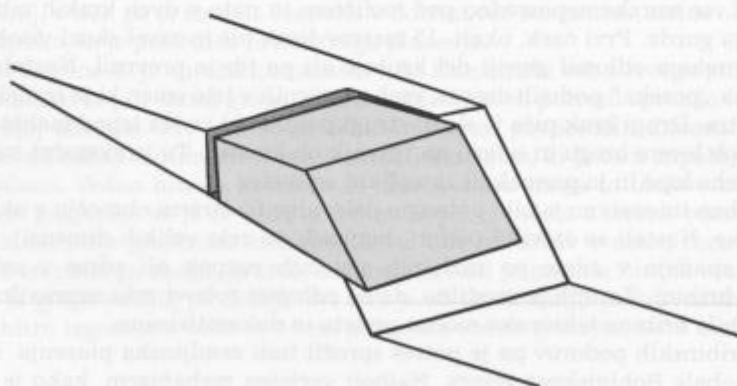
Mehanizem nastanka nestabilnih pojavov v naravi ob potresu

Koliko bodo hribine podvržene zdrsom je bolj odvisno od njihove razpokanosti in značaja razpok, kot pa od geomehanskih lastnosti materiala, iz katerega je hribina zgrajena (H o e k, 1997). Glavne lastnosti razpok, ki določujejo možnost nastanka zdrsa, so naslednje:

- orientacija razpok glede na padnico pobočja,
- število sistemov razpok,
- gostota razpokanosti in velikost blokov,
- prostorski obseg oziroma razširjanje razpok,
- hrapavost in valovitost razpok,
- kohezijska trdnost ob razpoki,
- trdnost sten ob razpokah,
- odprtost in polnitev razpok.

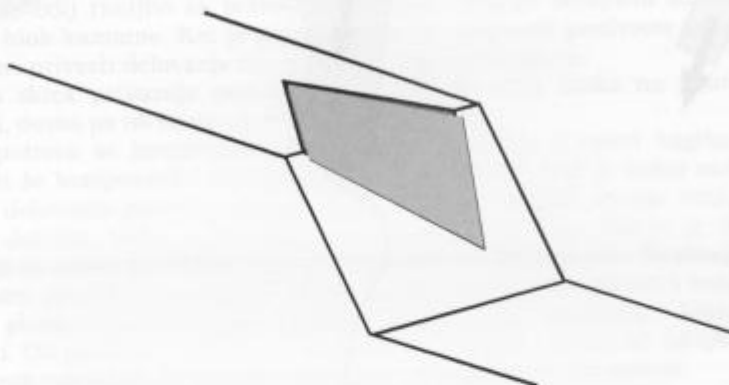
Za razpoko smatramo vsako planarno oslabitev v kamnini, med njimi tudi plastnatost, kalcitne žilice itd.

Razpokanost v hribinah je povzročila tektonika, ki poleg velikih prelomov povzroči tudi večjo ali manjšo razpokanost hribin. Hribine, ki gradijo Alpe in so nastale kot morski sedimenti, so se med orogenetsko fazo dvignile v gorovje. Tektonski procesi so pri dvigovanju in narinjanju kamninskih gmot hribino poškodovali. V njej so tako nastali razpoklinski sistemi med seboj sekajočih se vzporednih razpok, ki hribinsko maso razkosavajo v različno velike bloke. Za naš alpski svet je značilno, da imamo ponavadi tri med seboj skoraj pravokotne razpoklinske sisteme s povprečno



Sl. 3. Hribinski planarni zdrs ob razpoki ali ob plastnatosti apnenca, nagnjeni v smeri brežine.
Fig. 3. Planar rockslide along a crack or at bedding of limestone inclined in the direction of the slope.

velikostjo blokov od enega decimetra do pol metra. En sistem diskontinuitet v hribinah ponavadi predstavlja plastnatost kamnine, ki je nastala, ko se je sediment odlagal (v mehaniki hribin, pri analizi porušitev naravnega ravnotežja, tudi plastnatost štejejo kot razpoklinski sistem). Ti razpoklinski sistemi so zaradi atmosferskih vplivov v pripovršini še močneje izraženi. Torej do zdrsa v hribinah lahko pride tam, kjer je določen sistem razpok neugodno usmerjen, glede na nagib pobočja.



Sl. 4. Klinasti hribinski zdrs ob sistemu dveh sekajočih se razpok, kjer je njuna sečnica nagnjena v smeri padnice pobočja.

Fig. 4. Wedge-shaped rockslide at two cracks crossing each other where the intersecting line is inclined in the direction of the slope.

Najpogostejši in najneugodnejši tip plazjenja nastopi, kadar sta padnica pobočja in padnica usmeritve določenega sistema razpok v približno isti smeri. V takih primerih, kadar je pri razpoki, ki izdanja na površini, strižni odpor manjši od delovanja teže ob njej, lahko pride do ravninskih (planarnih) zdrsov (sl. 3).

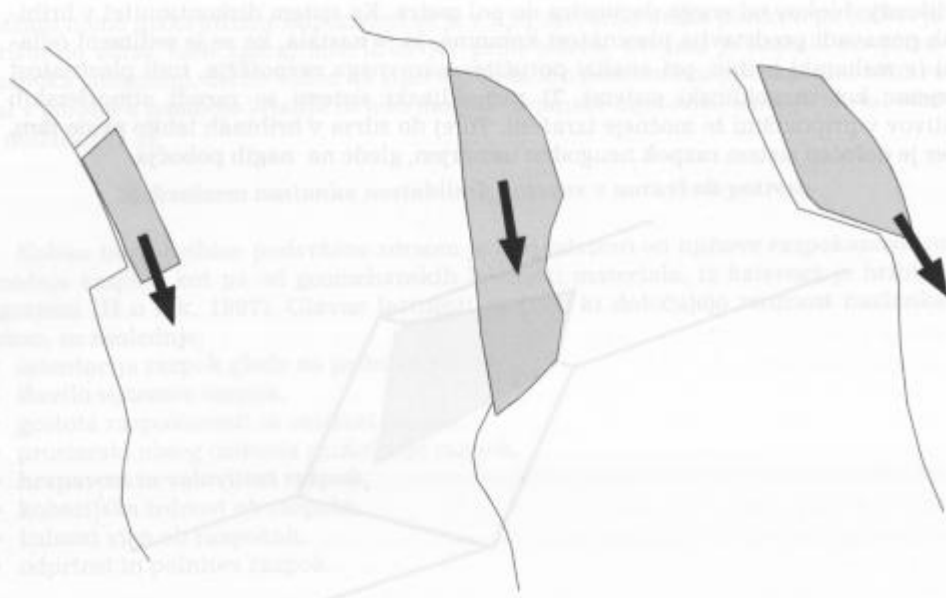
Primer ravninskega zdrsa, zelo lepo viden iz Bovca (če pogledamo proti Podsoči), je na pobočju nad Jablenico. Mnogi manjši zdrsi pa so na pobočjih Rombona in pobočjih doline Lepene.

Kadar je sečnica dveh sistemov razpok usmerjena v isti smeri kot padnica brežine in nagnjena navzdol, lahko pride do klinastega zdrsa (sl. 4). V tekstu smo že opisali klinasti zdrs iz grebena Šije.

Oba navedena zdrsa sta čista zdrsa. V naravi ponavadi opazujemo manj pravilne zdrse, v odvisnosti od razmer (razpokanosti) na območju, kjer je do tega prišlo.

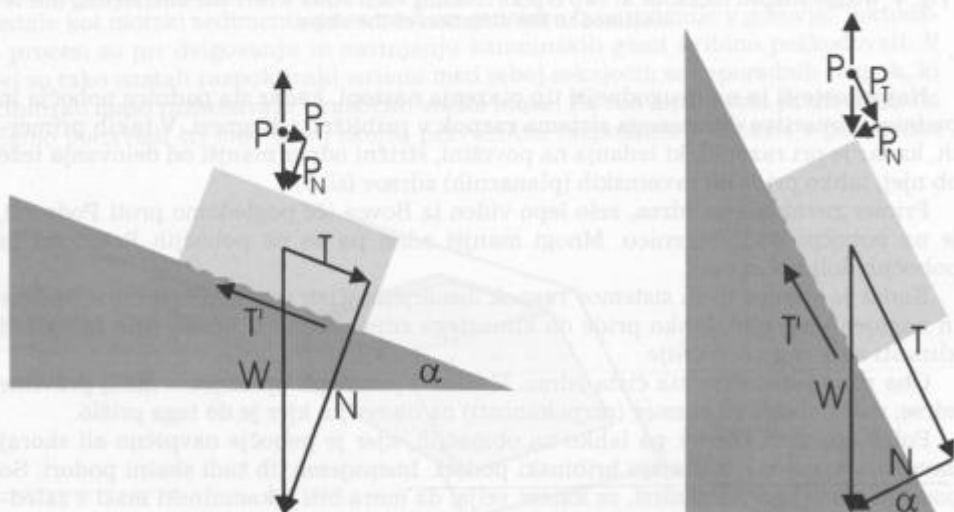
Poleg opisanih zdrsov, pa lahko na območjih, kjer je pobočje navpično ali skoraj navpično nagnjeno, nastajajo hribinski podori. Imenujemo jih tudi skalni podori. So posebne vrste hribinski zdrsi, za katere velja, da mora biti v kamninski masi v zaledju brežine šibka ploskev, ki je približno vzporedna brežini in je nagnjena bolj ali manj navpično. Na naslednjih skicah so prikazani različni tipi podorov (sl. 5).

Hribinski podori so bili ob zadnjem potresu izredno številčni in jih opažamo na vsakem koraku v celotnem Krnskem pogorju. Med njimi nastopajo tudi izredno veliki, kot je že opisani iz vrha Lemeža, podori v okolici izvira Tolminke, podori na Krnu, Krnčici, itd.



Sl. 5. Različni tipi hribinskih podorov ob strmo nagnjenih razpokah.

Fig. 5. Different types of rockfalls near steeply inclined cracks.



Sl. 6. Mehanizem nastanka hribinskega zdrsa ob delovanju dodatnih sil potresa pri različnih nagibih drsnih razpok.

Fig. 6. The mechanism of forming a landslide influenced by additional earthquake forces with different inclinations of cracks.

Poleg podorov lahko nastopa ob zelo strmih nagnjenih pobočjih še drsenje, padanje, ali valjenje skalnih blokov in kamnov. Največkrat se v prvi fazi sproži drsenje labilnega bloka, ki se spremeni v kotaljenje in odbijanje od pobočja. Ob potresu so bile številne ceste zasute s kamenjem, ki se je sprožil ob potresu, padlo pa je tudi več večjih skal. Nekatere so imele prostornino več kot 200 m³. Ena je celo popolnoma zmečkala avto.

Da bi vsaj približno razumeli sproženje zdrsa ali podora ob potresu in kateri pojavi so bolj ranljivi za potres, si pogledjmo analizo delujočih sil na potencialno labilen blok kamnine. Ker je potres v Posočju povzročil predvsem navpično nihanje tal, bomo privzeli delovanje sile potresa v smeri gravitacije.

Leva skica prikazuje poenostavljen planarni zdrs bloka na položno nagnjeni razpoki, desna pa ob strmi (sl. 6).

Ob potresu se komponenti sile teže W , ki deluje v smeri nagiba razpoke (T) pridruži še komponenta sile potresa P_T . Iz primerjav slik je takoj razvidno, da je učinek delovanja potresne sile pri strmo nagnjeni razpoki mnogo večji. Prvi skrajni primer dobimo, kadar je kritična razpoka zdrsa navpična. Takrat je vrednost sile T največja in enaka teži bloka, isto pa velja tudi za potresno silo. Še skrajnejši slučaj je v primeru previsa, saj trenjskih sil (ki jih na skicah prikazujemo z hrapavostjo kontaktne ploskve) ni več in proti podoru deluje samo sprijemna - kohezivna sila na razpoki. Ob potresu v Posočju so se predvsem sprožili podori ob navpičnih ali strmo nagnjenih razpokah, ki so, kot smo videli, najbolj ranljivi na potres.

Pri zgornjem opisu pa nismo upoštevali, da je potres dinamičen proces. Dinamika, ki jo prinaša zaporedno nihanje skozi več sekund trajanja potresa, prinese dodatne učinke. Valovanje v hribini zaradi potresa lahko zaniha potencialno labilen blok, da najprej pride do popustitve sile zlepljenja ob razpoki (kohezija pade na nič) in nato do preskokov preko zobcev, ki tvorijo hrapavost bloka. Na mestu preskoka je amplituda nihanja večja od velikosti zobcev in blok zdrsne v potencialno nižji položaj zaradi delovanja gravitacijske sile v smeri drsne ploskve. Ob tem se zobci tudi lomijo in drsna ploskev postaja „gladkejša“. Če se strižni odpor zmanjša do te mere, da je komponenta teže bloka v smeri ploskve večja od strižnega odpora, ob njej pride do končnega zdrsa bloka. Kjer proces preskakovanja preko hrapave ploskve ne povzroči nepovratnega procesa, na terenu vidimo odprto razpoko, ki se razteza prečno na nagib pobočja. Lep primer take razpoke je opažen na grebenu Krnčice.

Splošno o lestvici EMS-98

Ob definiciji potresa se najpogosteje uporabljata magnituda in intenziteta potresa. Magnituda je mera za sproščeno energijo v žarišču potresa. Zasnova potresne magnitude je leta 1935 vpeljal C. F. R i c h t e r. Za določitev intenzitete potresa pa obstajajo različne lestvice, ki se seveda sčasoma izpopolnjujejo in spreminjajo. Najdlje je bila v uporabi 12-stopenjska lestvica MCS, ki jo je v začetku stoletja predlagal Mercalli, kasneje pa sta jo dopolnila še C a n c a n i in S i e b e r g. V končni obliki je bila prvič objavljena leta 1912. To lestvico so poimenovali Mercallijeva lestvica. Leta 1964 so avtorji M e d v e d e v, S p o n h e u e r in K a r n i k predstavili novo, 12-stopenjsko lestvico MSK, ki je bila pozneje večkrat dopolnjena in je do nedavno veljala tudi pri nas. Razlika med obema je le v nekaterih količinskih opredelitvah.

Lestvica MSK velja v svetovnih razmerah za dogovorjeno lestvico. Končno obliko so pripravili leta 1964 kot nadaljevanje in kompilacijo lestvic: MCS (Mercalli-Can-

cani-Siebergova lestvica), MM (modificirana Mercallijeva lestvica) in GEOFIAN (makroseizmična lestvica uporabljana v takratni Sovjetski zvezi). Spremembe lestvice so bile še leta 1976, 1978 in 1981.

Razvoj znanosti, predvsem gradbeništva in tragične izkušnje potresov po svetu, ko so se poleg zidanih konstrukcij rušili tudi armirano-betonski objekti, so zahtevale tudi spremembo lestvice za določanje potresne intenzitete. Tako so na XXI. generalni skupščini Evropske seizmološke komisije v Sofiji sprejeli sklep o ponovnem aktiviranju delovne skupine za makroseizmične lestvice.

Razvoj gradbeniške prakse in porušitve objektov med potresi so narekovali razvoj lestvice. Potrebe po spremembah so bile tako obsežne, da so predlagatelji pripravili lestvico, ki se sedaj imenuje EMS (European Macroseismic Scale). Lestvica je bila pripravljena leta 1992, sledilo pa je obdobje testiranja in prilagajanja lestvice.

Bistveni razlogi, ki so zahtevali novo lestvico:

1. potreba po vključevanju novih tipov objektov in materialov (poseben poudarek na objektih s potresno varno zasnovo)
2. odprava nelinearnosti, ki je bila med stopnjama VI in VII MSK
3. potreba po izboljšanju jasnosti definicij in opredelitev
4. potreba po določitvi učinkov, ki jih imajo potresi na visoke objekte
5. potreba po lestvici, ki ne bo zadovoljila le seizmologov ampak tudi gradbenike
6. potreba po takšni lestvici, s katero bo moč primerljivo vrednotiti pretekle potrese
7. potreba po kritični presoji uporabe makroseizmičnih učinkov na tleh.

Kljub najnovejši verziji lestvice EMS-98, so opisi v dodatku C, ki govorijo o učinkih potresa v naravi še vedno preveč posplošeni in nezadostni.

Uporaba načel EMS za vključitev seizmogeoloških pojavov pri oceni intenzitete potresa

Seizmogeološki pojavi so opisani v dodatku C. Izmed naštetih pojavov, v tem članku obravnavava le tiste, ki so vezani na dogajanja v hribinah in smo jih opazovali ob proučevanem potresu v Posočju.

Seizmogeološke pojave v hribinah ločimo v dve skupini. V prvi so tisti, ki nastanejo samo ob potresu, v drugi pa tisti, katerim potres poveča pogostost njihovega pojavljanja. V tem članku obravnavamo predvsem drugo vrsto pojavov.

Podobno kot pri zgradbah (ocenjujemo ranljivost glede na vrsto zgradbe), je pri seizmogeoloških pojavih smiselno opredeliti ranljivost določene vrste kamnin, oziroma terena, na potres. S tem že precej povečamo verjetnost ocene, kakšne bodo posledice potresa določene intenzitete, saj so različne kamnine oziroma tereni, zelo različno ranljivi. Da določimo ranljivost določega terena za določen seizmogeološki pojav, je najbolje, da najprej proučimo, kakšna je na splošno ranljivost terena za ta pojav. Jasno je, da bo tisti teren, ki je najbolj ranljiv v običajnih razmerah, tudi ob potresu izkazal največjo ranljivost. Pri zgradbah tega ni treba ugotavljati, saj iz gradbene dokumentacije posamezen objekt enostavno uvrstimo v določen razred ranljivosti. Za teren, ki ga gradijo geotehnično različne kamnine pa moramo njegovo ranljivost glede na pojavljanje določenega pojava skrbno proučiti. Pri tem je zelo pomembno merilo. Za manjša merila bomo v proučevanje vzeli le splošne ocene inženirskogeoloških razmer na terenu, na primer vrsto kamnine in nagib terena (D r o b n e et al., 1976). Pri večjih merilih pa je treba upoštevati še druge dejavnike, na primer general-

KARTA TVEGANJA NASTANKA PODOROV ZARADI POTRESOV

Avtorja: M. Ribičič, R Vidrih, 1994



Sl. 7. Karta tveganja nastanka hribinskih podorov ob predvidenem potresu maksimalne intenzitete po seizmični karti Slovenije za povratno periodo potresov 500 let z legendo. (Vidrih & Ribičič, 1994)

Fig. 7. Map of rockfall risk during a maximum intensity earthquake according to the seismic map of Slovenia for the earthquake with return period 500 and Legend (Vidrih & Ribičič, 1994)

ni vpad plasti skladov, sisteme razpokanosti kamnin itd. Proučevanje seizmičnosti (mikro-seizmična rajonizacija) se ponavadi ne izvaja za podrobna merila (npr. 1 : 5 000 ali več). Večinoma v natančnosti segamo do merila 1 : 10 000.

Postopek določitve ranljivosti terena sva razvila v referatu z naslovom „Vpliv potresov na nastanek plazov v Sloveniji“, ki je bil leta 1994 na Prvem slovenskem posvetovanju o zemeljskih plazovih leta 1994 v Idriji (Vidrih & Ribičič, 1994). Kasneje sva postopek še izpopolnjevala. Priložena karta, možnosti nastanka hribinskih podorov za celotno ozemlje Slovenije ob upoštevanju seizmične karte s povratno periodo 500 let, pokaže, da so najbolj ranljive za nastanek podorov karbonatne kamnine, ki gradijo naš alpski svet (sl. 7).

Ko je ranljivost terena za izbran pojav določena, je treba opredeliti tudi pogostost njegovega pojavljanja. Pogostost pojavljanja je mogoče opredeliti s sistematičnim večletnim spremljanjem dogodkov. Smiselno je, da je na državnem nivoju postavljena centralna baza podatkov, ki tako kot baza za registracijo potresov, shranjuje registrirane pojave.

Za naselja je pogostost pojavljanja določene vrste zgradbe lahko določljiva, tako da vsako zgradbo pač uvrstimo v pripadajoč razred ranljivosti. Vemo, da je za leseno zgradbo najbolj verjetna ranljivost razreda D. Za naravne pojave je postopek bolj zahteven. S pomočjo inženirskogeološkega kartiranja, fotogeološke analize avionskih

in satelitskih posnetkov in drugih znanih tehnik lahko za obdobje časa proučevanja izločimo vse aktivne pojave nestabilnosti terena in k temu pridružimo podatke iz baz podatkov o starih (preteklih) pojavih, ki so se zgodili na proučevanem terenu (Ribičič & Šinigoj, 1996). Tako dobljene karte, ki predstavljajo prostorsko razširjenost določenega pojava nato apliciramo na vrsto kamnin in terenske razmere. Šele sedaj imamo karto ranljivosti, ki določa ranljivost terena za določen pojav. Če želimo, da bi bila naša uvrstitev univerzalna in ne bi veljala samo za teren, ki ga proučujemo, je najprimerneje postaviti razrede ranljivosti, ki omogočajo splošen pristop. Tudi način grajenja zgradb je v različnih deželah različen, s tem pa tudi različna njihova ranljivost na potres. Enako velja za geološke in morfološke razmere ter delujoče endogene (tektonske) in eksogene procese (preperevanje in erozija), kot osnovne faktorje za nastajanje nestabilnih pojavov, da se v različnih delih sveta med seboj močno razlikujejo. V začetni fazi, dokler nimamo mnogo primerjalnih študij, to je študij, ki so bile izvedene po potresu, je najprimerneje uporabiti razrede stopnjevanja ranljivosti, ki naj bodo splošno veljavni in jih nato prenesti na lokalne razmere.

EMS je narejena za zgradbe. Kot je razvidno iz poglavja Splošno o lestvici EMS je lestvica, preden je dobila današnjo obliko, prešla skozi dolgotrajen razvoj. Pri tem so se izoblikovala jasna načela, ki jih je treba pri uporabi lestvice EMS upoštevati. Najpomembnejša načela so:

Lestvica naj bo robustna. Uvajanje sprememb ne sme povzročiti znatnih odstopanj ali vplivov na oceno intenzitet.

Lestvica je sprejet kompromis. V različnih deželah, v različnih naravnih in kulturnih pogojih bodo vedno odstopanja pri načinu interpretacije lestvice, kar je treba upoštevati.

Lestvica naj bo enostavna. Splošna uporabnost lestvice zahteva njeno enostavnost.

Ocena intenzitete. Intenziteto potresa je mogoče oceniti le na osnovi ugotavljanja poškodb na velikem številu zgradb za širše dovolj veliko območje. Ne smemo je vezati na posamezne ekstremne pojave.

Negativna informacija. Če se določeni pojavi ali poškodbe niso zgodili, je to zelo koristna informacija, ki navzgor omejuje intenziteto potresa.

Naravne seizmogeološke pojave so pri definiranju stopenj intenzitet včasih bolj, včasih manj vključevali. Vendar za njih tako jasnih načel kot za poškodbe na zgradbah nikoli ni bilo postavljenih. V sedanji lestvici so naravni pojavi porinjani v Dodatek C, ki ga v posebnem poglavju natančneje opisujemo.

Vendar bi vključevanje seizmogeoloških pojavov v oceno intenzitete potresa marsikdaj omogočilo bolj zanesljivo oceno. Tipičen primer je, kadar se potres zgodi na manj naseljenem območju.

Kot za zgradbe tudi za seizmogeološke pojave veljajo zakonitosti, ki izhajajo iz mehanizma njihovega nastanka ob potresu. Enako kot za zgradbe je treba pri proučevanju teh pojavov in pri izdelavi ocene intenzitete zanemariti številne vplivne dejavnike, ki delujejo lokalno. Vemo, da so poškodbe na posamezni zgradbi odvisne od njene značilne konstrukcije, oblike, višine, interakcije njenega nihanja s tlemi itd. Vse to so dejavniki, ki jih v lestvici ne moremo upoštevati, ker bi se izgubila njena splošnost. Toda lestvica za zgradbe uvaja njihovo različno ranljivost (6 razredov: A, B, C, D, E, F) glede na uporabljeni material in splošno konstrukcijo zgradbe. Lestvica EMS tudi količinsko ali številčno opredeljuje pogostost posameznega dogodka (3 razredi: posamezni, mnogi, večina). Intenziteta potresa se meri s stopnjo poškodovanosti zgradb ločeno za zidane zgradbe in zgradbe iz armiranega betona (5 razredov: 1, 2, 3, 4, 5).

Za seizmogeološke pojave v Dodatku C, pa se v primerjavi z lestvico, uporabi kot edini kriterij možnost dogodka ob določeni intenziteti potresa. Posledica tega je, da je določen seizmogeološki pojav opredeljen v tako širokem obsegu intenzitete potresa, da ne more dati koristne informacije o dejanski intenziteti, ki ga je sprožila.

Torej, če želimo uporabiti podatke o seizmogeoloških pojavih, ki se zgodijo ob potresu, tudi za ocenjevanje njegove intenzitete, je treba podobno kot pri zgradbah bolj podrobno določiti ranljivost terena, številčnost pojavljanja in stopnjo poškodovanosti.

Po omenjenem članku lahko kot primer prikažemo splošno ranljivost različnih terenov ozemlja Slovenije za hribinske podore:

Preglednica 2. Ranljivost za nastanek podorov ob potresih za različne vrste kamnin značilne za ozemlje Slovenije.

Uvrstitev po lastnostih kamnin	Primeri vrst kamnin	Ranljivost za nastanek podora
Zelo trdne hribine	tonalit	srednja
Trdne hribine	apnenec	velika
Srednje trdne hribine	lapor	srednja
Polhribine	glinovec	ni
Zemljine	prod	ni

Razvrstitve zgradb in naravnih pojavov v razrede ranljivosti

Lestvica EMS razvršča zgradbe v šest razredov ranljivosti. Enako sva za teren, ki ga gradijo različne kamnine in je različno morfološko oblikovan, določila razrede ranljivosti. Da bi zadržala splošno veljavnost, pa tudi zaradi pomanjkanja podatkov sva postavila samo razrede ranljivosti in podala splošne smernice, kako opredeliti ranljivost terena.

Razvrstitve zgradb v razrede ranljivosti

Zgradbe so razdeljene v štiri skupine: zidane, armiranobetonske, jeklene in lesene. Nadalje pa so razdeljene v petnajst vrst konstrukcij. Upoštevana je tudi potresnavarna zasnova oziroma projektiranje (preglednica 3).

Preglednica 3. Razvrščanje zgradb v razrede ranljivosti.

Vrsta konstrukcije		Razred ranljivosti					
		A	B	C	D	E	F
zidane zgradbe	neobdelan kamen, lomljenec	○					
	adobe	○	—				
	delno obdelan kamen	—	○				
	masivni kamen		—	○	—		
	opečna, nearmirana	—	○	—			
	nearmirana, z AB medetažnimi ploščami		—	○	—		
	armirano (povezано zidovje)		—	○	—	—	
armirano betonske	AB- z okvirji, brez potresovarne zasnove (PVZ)	—	—	○	—		
	AB- z okvirji, s PVZ v srednje velikem obsegu		—	○	—		
	AB- z okvirji, s PVZ v velikem obsegu			—	○	—	
	AB-stenaste, brez PVZ		—	○	—		
	AB-stenaste, s PVZ v srednje velikem obsegu			—	○	—	
	AB-stenaste, s PVZ v velikem obsegu				—	○	—
jeklene	jeklene z okvirji			—	○	—	
lesene	lesene konstrukcije		—	○	—		

- najbolj pogost razred ranljivosti
 — verjetni obseg
 - - - - - manj verjetna ranljivost; izjemni primeri
 PVZ potresovarna zasnova
 AB armirani beton

Razvrstitve naravnih pojavov v razrede ranljivosti

Za nastanek porušenj v hribinah so predvsem merodajni tisti faktorji, ki jih v mehaniki hribin obravnavajo pri izračunih stabilnosti terena. V točki z naslovom Mehanizem nastanka nestabilnih pojavov v naravi ob potresu so našteje tiste lastnosti hribin, ki so vezane na njihovo razpokanost, kot na največje vplivne dejavnike. Poleg osnovnih trdnostnih lastnosti hribin in razpokanosti pa bo sprožanje nestabilnih pojavov odvisno tudi od morfološke oblikovanosti terena in lokalnih razmer, kot je na primer tektonska poškodovanost hribin. Kadar ocenjujemo ranljivost za širša območja, lokalne razmere zanemarimo in opredelimo za določeno hribino tipične značilnosti in obliko terena, ki ga gradi. Predvsem pa stopnjo ranljivosti določamo na osnovi analize nestabilnih pojavov na terenu. Kjer nastopajo številni pojavi porušenja naravnega ravnotežja, bodo nastali tudi ob potresu, in obratno, teren skorajda brez njih, tudi ob potresu ne bo doživel večjega števila novih. Pri tem moramo poznati povezavo med vrsto naravnega pojava in njegovo ranljivostjo na sproženje ob potresu. S to analizo pojavi nestabilnosti v hribinah postanejo seizmogeološki pojavi, katerih proučevanje nam lahko da koristne podatke o intenziteti potresa.

V tem trenutku še ni mogoče izdelati veljavne lestvice ranljivosti terena glede na potres, ki ga gradijo različne vrste kamnin, ker nimamo dovolj analiz sprožanja seizmogeoloških pojavov ob potresu. Zato podajava nekatera izhodišča, za katera meniva, da bi jih bilo mogoče prevzeti pri izdelavi lestvice ranljivosti za nastanek seizmogeoloških pojavov.

Najprej meniva, da je smiselno, podobno kot pri zgradbah, kjer je ranljivost določena v razrede A, B, C, D, E, F pri naravnih pojavih uporabiti naslednjo petstopenjsko lestvico:

Preglednica 4. Predlog razredov ranljivosti terena za seizmogeološke pojave.

Razredi ranljivosti terena	
Oznaka	Lestvica
A	najbolj ranljiv teren
B	ranljiv teren
C	manj ranljiv teren
D	najmanj ranljiv teren
E	neranljiv teren

Uvrstitev v enega izmed petih razredov ranljivosti bi izvedli na osnovi lastnosti kamnin, njihove morfološke izoblikovanosti in drugih vplivnih dejavnikov, ki lahko povzročijo sproženje seizmogeološkega pojava ob potresu. Za opredelitev osnovnih lastnosti kamnin bi po najinem mnenju lahko privzeli lastnosti, ki so bile na osnovi obsežnih analiz v mehaniki hribin, uporabljene za izdelavo danes splošno veljavne geotehnične klasifikacije (Rock Mass Rating) RMR (B i e n i a w s k i, 1974):

- Trdnost materiala
- RQD
- Razdalja med razpokami
- Hrapavost in polnitev razpok
- Splošni pogoji nastopanja

V preglednici 5 je podan primer klasifikacijskih parametrov, oziroma opredelitev ocene njihovih vrednosti v RMR klasifikaciji.

Podobno, kot pri RMR klasifikaciji bi za določitev ranljivosti kamnine ocenili klasifikacijske parametre, glede na njihovo pomembnost za nastanek seizmogeološkega pojava. Za prve štiri parametre bi opredelili število točk glede na ranljivost za nastanek seizmogeoloških pojavov v hribinah. Peti parameter pa bi morali opredeliti kot vpliv splošnih pogojev nastopanja, pa tudi vpliva vode.

K temu bi morali priključili še morfološke značilnosti zgradbe terena. Jasno je, da čim bolj je teren hribovit, čim strmejša brežine gradi, tem večja bo možnost nastanka pojavov naravnega porušanja, pa tudi nekaterih drugih seizmogeoloških pojavov. Opredelitev ranljivosti je zato primernejše vezati na teren in ne samo na vrsto kamnine, ki ga gradi.

Potres v Posočju se je zgodil v alpskem svetu, kjer nastopajo zelo strme, celo navpične brežine v kamninah, ki imajo po RMR klasifikaciji vse tiste lastnosti, ki so najneugodnejše za nastanek pojavov nestabilnosti v hribinah. Po ranljivosti alpski svet spada prav gotovo v razreda ranljiv ali najbolj ranljiv teren (razreda A in B). Zato smo lahko po potresu na terenu opazovali številne seizmogeološke pojave, katerih številčnost in obsežnost je bila odvisna od intenzitete potresa.

Za ilustracijo postopka izdelave ocene ranljivosti terena naj opiševa seizmogeološke pojave, ki so se zgodili na območju doline Lepene, kjer je imel potres največje

Preglednica 5. RMR klasifikacija (Bieniawski, 1974).

PARAMETRI			VREDNOST				
1	Trdnost Intakne Hribine	Točkovni indeks	10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Ni primeren
		Enoosna Tlačna trd.	250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 1-5 Mpa
	Število točk		15	12	7	4	2 1 0
2	RQD faktor		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	< 25 %
	Število točk		20	17	13	8	3
3	Razdalja med razpokami		> 2.0 m	0.6-2.0 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm
	Število točk		20	15	10	8	5
4	Hrapavost in polnitev		Zelo hrapave razpoke Neravne stene se silišajo Nepreperete stene	Malo hrapave površine Razmak do 1 mm Delno preperete stene	Malo hrapave površine Razmak do 1 mm Močno preperete stene	Gladke ploskve Polnitev do 5 mm ali razmik 1-5 mm Zvezne razpoke	Mehko polnilo Polnitev > 5 mm ali razmik > 5 mm Zvezne razpoke
			Število točk		30	25	20
5	Podzemna voda	P_w na 10m prof.	Ni	10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min
		P_w/G_1	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5
	Splošni pogoji		Popolnoma suho	Vlažno	Mokro	Curjarje	Vođni toki
	Štev. točk		15	10	7	4	0

učinke (preglednica 6). Strma pobočja doline gradi skladnati dachsteinski apnec. Na obeh robovih doline pod strmimi pobočji so terasaste in morenske tvorbe nanosa karbonatnih gruščev in prodiv, katere ponekod prekinjajo jeziki vršajev. Jedro doline zapolnjujejo hudourniški in nanosi Lepene, v zgornjem delu pa tudi ostanki čelne morene ledenika. Pred potresom smo lahko opazovali zelo star, ogromen hribinski zdrs na desni strani na vhodu v dolino in številne manjše hribinske zdrse in podore na strmih brežinah leve strani doline. Nastanek vseh teh pojavov nestabilnosti je bil vezan na zdrse v smeri plastnatosti, le nekaj manjših podorov na tektonsko pogojene razpoke. Ocena ranljivosti terena, če jo izvedemo na osnovi poznavanja litološke zgradbe in mehanizma zdrsov, pokaže naslednje uvrstitve terena po ranljivosti:

Preglednica 6. Razredi ranljivosti narave v dolini Lepene

Razredi ranljivosti - dolina Lepene		
Oznaka	Lestvica	Območje
A	najbolj ranljiv teren	celotno levo pobočje doline (Šija in Lemež)
B	ranljiv teren	desni rob začetka doline (nad Pristavo)
C	manj ranljiv teren	desno pobočje doline, strme brežine teras
D	najmanj ranljiv teren	teren s skalami v gornjem delu doline
E	neranljiv teren	dolinski rečni in morenski nanosi

Ob potresu je na najbolj ranljivem terenu (A) prišlo na levi strani doline do mnogih sproženj manjših hribinskih podorov in posameznih velikih planarnih in klinastih

zdrsov. Podrobneje so opisani v poglavju Najzanimivejši pojavi v naravi. Na območju velikega starega podora (ranljivost B) so bile poškodbo že občutno manjše. Opazujemo manjše hribinske podore in padanje večjih posameznih skal. Na desnih strmih brežinah doline Lepene (ranljivost C) na terenu nastopa le nekaj manjših hribinskih podorov, ki so med seboj občutno narazen in padanje posameznih kamnov. Na strmih brežinah teras (ranljivost D) so se odprle posamezne razpoke, ki kažejo na začetek procesa plazjenja. V sami dolini (ranljivost E) značilnih poškodb na terenu ob potresu nismo zasledili, razen v gornjem delu doline, kjer je ledenik (ali pa veliki bočni hribinski podori) odložil skale, ki so se ob močnih sunkih potresa premaknile.

Pri ocenjevanju ranljivosti terena je treba ločiti seizmogeološke pojave, ki opredeljujejo stopnjo poškodb in dejansko velikost poškodb v naravi. Lep primer je razklanje skale, ki nastane ob potresu VIII stopnje EMS in več, učinek na naravo pa je minimalen. Nasprotno hribinski podori, ki se začnejo sprožati že v VI stopnji EMS, ranijo pobočje v celotni dolžini od mesta podora pa vse do dna doline, kjer se kopicijo skale in grušč v obliki lijakastega vršaja.

Verjetno bi bilo smiselno sprejeti posebno kategorizacijo, ki bi opredelila obsežnost poškodb v naravi in ki bi jo vezali na površino poškodb in posledic na okolje (vidnost poškodbe, uničenje gozda ipd.).

Opredelevitev količin števila poškodb na zgradbah in v naravi

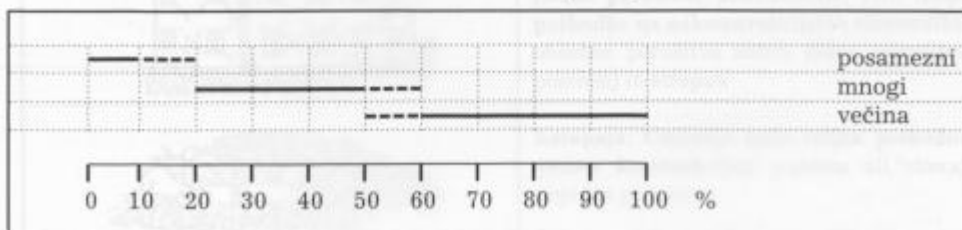
Kot pri drugih opredelitvah tudi pri opredelitvah količin števila poškodb poskušamo postaviti podobne kriterije za poškodbe na zgradbah in v naravi. Razlika v načinu nastopanja pa zahteva drugačen pristop.

Opredelevitev količin števila poškodb na zgradbah

Preglednica 7 jasno pokaže, da določeno kategorijo poškodovanosti zgradb uvrstimo v enega izmed količinskih razredov na osnovi ugotovljenega odstotka poškodovanosti, ki ga določimo glede na celotno število zgradb določene ranljivosti. V praksi se je pokazalo, da strogo držanje rezultatov statistične analize lahko v določenih primerih vodi v napačno opredelitev stopnje intenzitete potresa, zato je treba tudi pri določitvi številčnosti gledati celotni sklop učinkov potresa.

Preglednica 7. Opredelevite količin.

Table 7. Definition of quantity.



Opredelitev količin števila poškodb v naravi

V naravi je opredelitev količin poškodb mnogo težja ker vnaprej ne vemo, kje na ogroženem območju se bo določeni pojav zgodil, medtem ko pri zgradbah poznamo njihovo lokaliteto. Po potresu lahko določimo procent poškodovanosti določenega razreda ranljivosti glede na celotno število zgradb, ki so bile uvrščene v ta razred.

Za seizmogeološke pojave v hribinah je značilno, da so tem večjega obsega in v tem večjem številu, čim bolj močan je potres. Zato je količinska opredelitev vsakega pojava zelo pomembna, ker šele na tej osnovi lahko sklepamo o intenziteti potresa. V lestvici, ki je bila narejena za pojave nestabilnosti v hribinah, na primeru potresa v Posočju, je prikazan način opredelitve količin (preglednica 12). Pri tem se nisva držala statističnega izračuna, temveč sva v razred *posamezni* uvrstila tisti teren, kjer sva registrirala le redke oziroma posamezne pojave in v razred *mного*, kjer se je opazovani pojav, sprožen ob potresu, pojavljal že v večjem številu. Razred *večina* nisva opredelila, ker je bila intenziteta potresa prenizka. Zavedava se, da je taka delitev po številčnosti relativna, vendar je za obravnavano območje zelo dobro pokazala razlike. Lep primer so premiki skal, na ravnem ali položnem terenu, ki so bili v bližini epicentra zelo številni, saj se je bolj ali manj premaknila skoraj vsaka skala. V večji oddaljenosti od epicentra sva nasprotno opazovala premike le na posameznih skalah, ki so bile lokalno na kritičnih mestih. V bodoče bo treba pri analizi posledic potresa v naravi in pri določitvi stopnje intenzitete, še večjo pozornost posvetiti prav tem „drobnim“ učinkom v naravi in ne samo na daleč vidnim hribinskim podorom in zdrsom, ki pa niso tako številni. Tak pristop pa zahteva zelo natančno in dolgotrajno delo na terenu, za katerega pa je težko dobiti investitorja. Alpinisti, ki obnavljajo markirane in zavarovane poti po alpskem svetu (Krnsko pogorje) so poročali o številnih poškodbah, ki pa na žalost niso bile strokovno analizirane.

Na splošno lahko rečemo, da se seizmogeološki pojavi v hribinah začnejo količinsko pojavljati šele v VI. stopnji do take mere, da jih lahko spremljamo. Vendar je v veliki meri odvisno od ranljivosti terena ali jih bo dovolj za analizo. Samo za bolj ranljive terene je število pojavov in njihova raznolikost tolikšna, da se jih lahko uporabi tudi za določevanje intenzitete. K sreči v območjih, kjer seizmogeološki pojavi v hribinah ne nastopajo, lahko sledimo seizmogeološke pojave v zemljinah (plazovi, usadi, razpoke v zemljinah, itd.). Te pa je treba drugače obravnavati in niso predmet tega članka.

Preglednica 12. Število različnih vrst poškodb v hribinah (Lipovec)

Vrsta poškodbe	Razred intenzitete										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Premiki skal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Premiki blokov	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3. Premiki kamnov	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4. Premiki kamenin	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5. Premiki skalnih blokov	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6. Premiki skalnih blokov	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7. Premiki skalnih blokov	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. Premiki skalnih blokov	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9. Premiki skalnih blokov	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10. Premiki skalnih blokov	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Opomba: Število različnih vrst poškodb in posameznih vrst poškodb in hribin

Razvrščanje poškodovanosti zgradb in narave

Razvrščanje poškodovanosti za zidane zgradbe (G r ü n t h a l, ed., EMS-92, EMS-98)

Zidane zgradbe so razvrščene v pet stopenj poškodovanosti; od zanemarljive do neznatne poškodovanosti, zmerne poškodovanosti, znatne do velike poškodovanosti, zelo velike poškodovanosti in do uničenja. Na osnovi opisa poškodb in primerjave s sliko v tabeli opredelimo stopnjo poškodbe ob potresu za posamezno zidano zgradbo.

Opomba: način deformiranja zgradbe pri potresni obremenitvi je odvisen od vrste zgradbe. Glavni skupini zgradb sta: zidane zgradbe in zgradbe iz armiranega betona.

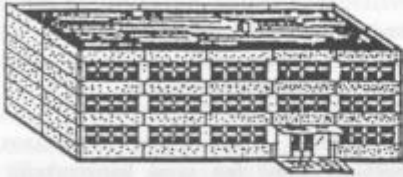
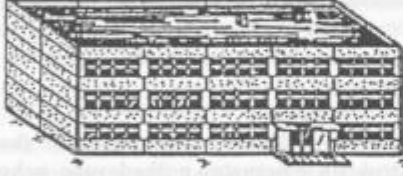
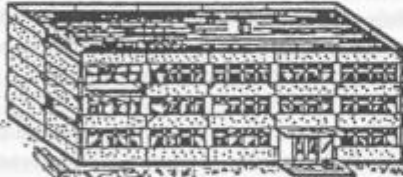


Preglednica 8. Razvrščanje poškodovanosti za zidane objekte.

Razvrščanje poškodovanosti (poškodb) pri zidanih zgradbah:	
	1. stopnja: Zanemarljiva do neznatna poškodovanost (na sami konstrukciji ni poškodb); pojav lasastih razpok na posameznih zidovih, odpadejo le manjši kosi ometa, pri posameznih zgradbah je opaziti odpadanje slabo povezanih elementov iz zgornjega dela objekta.
	2. stopnja: Zmerna poškodovanost (konstrukcija je neznatno poškodovana, nekonstrukcijski (nenosilni) elementi pa so srednje močno poškodovani); na mnogih zidovih so razpoke, dokaj veliki kosi ometa odpadejo, deli dimnikov se porušijo.
	3. stopnja: Znatna do velika poškodovanost (konstrukcija je zmerno poškodovana, nekonstrukcijski elementi pa so močno poškodovani); na večini zidov so široke in velike razpoke, drsenje strešnikov, dimniki se odlomijo v višini strehe, porušitev posameznih nekonstrukcijskih elementov.
	4. stopnja: Zelo velika poškodovanost (težke poškodbe konstrukcije, zelo težke poškodbe na nekonstrukcijskih elementih); obsežne porušitve zidov, delna porušitev postrešij in stropov.
	5. stopnja: Uničenje (zelo velika poškodovanost konstrukcije); popolna ali skoraj popolna porušitev.

Razvrščanje poškodovanosti za armiranobetonske zgradbe (G r ü n t h a l, ed., EMS-92, EMS-98)

Kot pri zidanih zgradbah obstaja pet stopenj poškodovanosti zgradb. Armiranobetonske zgradbe so odpornejše proti poškodbam pri potresu. Vrsta poškodb v njih je drugačna kot pri zidanih zgradbah.

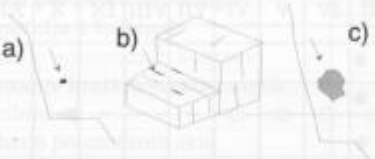

Preglednica 9. Razvrščanje poškodovanosti za armiranobetonske objekte.

Razvrščanje poškodovanosti (poškodb) pri zgradbah iz armiranega betona	
	1. stopnja: Zanemarljiva do neznatna poškodovanost (na sami konstrukciji ni poškodb); pojav tankih razpok na ometu elementov okvirov in lasaste razpoke na predelnih stenah.
	2. stopnja: Zmerna poškodovanost (konstrukcija je neznatno poškodovana, nekonstrukcijski (nenosilni) elementi pa so zmerno poškodovani); Razpoke v stebrih, gredah okvirjev in zidovih. Razpoke v predelnih stenah, odpadanje kosov ometa. Odpadanje ometa na stikih zidov.
	3. stopnja: Znatna do velika poškodovanost (konstrukcija je zmerno poškodovana, nekonstrukcijski elementi pa so močno poškodovani); Razpoke na stičiščih stebrov in gred, odpadanje betonskih oblog. Velike razpoke v predelnih stenah, porušitev posameznih predelnih sten.
	4. stopnja: Zelo velika poškodovanost (težke poškodbe konstrukcije, zelo težke poškodbe na nekonstrukcijskih elementih); velike razpoke v konstrukcijskih elementih s tlačno porušitvijo betona in poškodbami armature; razpokanje gred; poškodbe armature betonskih stebrov; prevračanje stebrov. Rušenje posameznih stebrov ali posameznih zgornjih nadstropij
	5. stopnja: Uničenje (zelo velika poškodovanost konstrukcije); porušitev pritličij ali delov zgradb

Razvrščanje poškodovanosti v naravi

V preglednici 10 pojave v naravi, ugotovljene po potresu v Posočju, razvrščava v pet kategorij ranljivosti. Enako sva uvedla pet razredov ranljivosti za različne vrste terena. Podobno zmanjšanje razredov ranljivosti predlagava tudi za zgradbe (od sedem razredov pri EMS-92 in šest razredov pri EMS-98). Razvrščanje poškodovanosti v naravi se razlikuje od razvrščanja pri zgradbah, ker sloni bolj na vrsti seizmogeološkega pojava, ki je nastal ob potresu in ne na velikosti poškodovanosti, kot pri zgradbah.

Preglednica 10. Razvrščanje poškodovanosti za pojave v naravi.

Razvrščanje poškodovanosti po seizmogeoloških pojavih:	
	<p>1. stopnja: Zanemarljiva do neznatna; padanje posameznih kamnov (a), odpiranje kratkih svežih razpok (b), padanje posameznih skal (c).</p>
	<p>2. stopnja: Zmerna poškodovanost; manjši hribinski podori (d), zdrsi grušča (e), krušitev kamnov v večji količini (f).</p>
	<p>3. stopnja: Znatna do velika poškodovanost; manjši hribinski planarni (g) in klinasti (h) zdrsi, premikanje skal na pobožnem ali ravnem terenu (i), veliki hribinski podori (j), odpiranje dolgih svežih razpok (k).</p>
 <p>Glej skice g), h) in j)</p>	<p>4. stopnja: Zelo velika poškodovanost; razklanje skal in prevrnitve (l), padanje skal v večji količini, veliki hribinski planarni zdrsi, veliki hribinski klinasti zdrsi</p>
<p>Glej skice a), g), h), j)</p>	<p>5. stopnja: Uničenje; hribinski podori regionalnih dimenzij, planarni zdrsi regionalnih dimenzij, veliki klinasti zdrsi regionalnih dimenzij</p>

Vplivi na naravo v EMS lestvici (Dodatek C)

Vplivi na naravo so opisani v posebnem dodatku C Evropske makroseizmične lestvice (EMS). Ker del njih v članku še posebej obravnavamo naj na kratko podava opis makroseizmičnih pojavov, kot so poimenovani v Dodatku C. Opis makroseizmičnih pojavov je bil vključen v opredelitev stopnje intenzitete v nekaterih prejšnjih lestvicah, v Evropski potresni lestvici pa so izločeni z glavno obrazložitvijo, da je njihov obseg pojavljanja ob različnih intenzitetah potresov preširok, da bi lahko na osnovi njih opredeljevali stopnjo intenzivnosti, kar je tudi razvidno iz preglednice 11:

Preglednica 11. Odnosi med intenzitetami in poškodbami v naravi.

Seizmogeološki in hidrološki pojavi	Intenziteta potresa											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Hidrološki pojavi												
instrumentalno določene majhne spremembe nivojev vode v vodnjakih	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
lahko vidne spremembe nivojev vode v vodnjakih						●	●	●	●	●	●	●
valovi dolgih period na mirujoči vodi kot posledica oddaljenih potresov						—	—	—	—	—	—	—
valovi na mirujoči vodi kot posledica lokalnih potresov						●	●	●	●	●	●	●
kaljenje vode jezera (dvig blata iz jezerskega dna)		←					○	○	○			
spremenbe izdatnosti izvirov					←	○	●	●	●	●	●	●
presihanje ali pojavljanje izvirov						←	●	●	●	●	●	●
prelivanje vode iz jezer											←	←
Porušitve naravnega ravnotežja												
zdrsi grušča						←	●	●	●	●	●	●
majhni usadi						←	●	●	●	●	●	●
majhni hribinski podori						←	●	●	○	●	●	●
plazovi, veliki hribinski podori							●	●	●	●	●	●
Pojavi v ravninskem svetu												
majhne razpoke v tleh, nastale zaradi tresenja zemljin						←	●	●	●	●	●	●
velike razpoke v tleh tektonskega porekla									←	●	●	●
Kompleksni pojavi												
plazovi, povezani predvsem z hidrološkimi razmerami						●	●	●	●	●	●	●
likvefakcija							←	●	●	●	●	●

Legenda:

- območje največje uporabnosti za določitev intenzitete
- intenzitete tudi značilne za ta pojav
- možen obseg pojavljanja
- ➔ možnost za nastopanje ekstremnih pojavov izven danega obsega

Če na kratko komentiramo preglednico seizmogeoloških pojavov, že bežen pogled nanjo pokaže izredno širok obseg opazovanj pri različnih stopnjah intenzivnosti, kar onemogoča njeno praktično uporabnost za ocenjevanje intenzitete potresa. V tekstu članka prikazujemo drugačen pristop, ki zoži obseg pojavljanja, ker uvajava podobno kot za zgradbe, tudi ranljivost terena na potres, pogostost pojavljanja in stopnjo poškodovanosti za določen pojav. Pojavi, opisani v članku so vezani na posledice delovanja potresa na hribine.

Pojavi porušitev naravnega ravnotežja v hribinah na osnovi analize potresa v Posočju so prikazani v preglednici 12. Velja za teren, ki gradi alpski (karbonatni) svet v Sloveniji. Aproximacijo smo izvedli tudi preko VIII. do IX. stopnje lestvice.

Preglednica 12. Odnosi med intenzitetami in poškodbami v naravi glede na potres v Posočju.

Pojavi porušitev naravnega ravnotežja v hribinah	Intenziteta potresa				Stopnja poškod.	Sl.	Skica v preg. 10
	VI	VII	VIII	IX			
padanje posameznih kamnov	●				1.	8	a)
odpiranje kratkih svežih razpok v hribini	●	○			1.	11	b)
padanje posameznih skal	●	○			1.	12	c)
manjši hribinski podori	○	●			2.	15	d)
zdrsi grušča	○	●			2.	9	e)
krušitev kamnov v večji količini		●			2.	10	f)
manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi		●			3.	13	g), h)
premikanje skal na položnem ali ravnem terenu		○	●		3.	14	i)
veliki hribinski podori		○	●		3.	16	j)
odpiranje dolgih svežih razpok		○	●		3.	17	k)
padanje skal v večji količini			●		4.		
razklanje skal in prevrnitve			●	○	4.	18	l)
veliki hribinski planarni zdrsi			●	○	4.		
veliki hribinski klinasti zdrsi			●	○	4.		
hribinski podori regionalnih dimenzij			○	●	5.		
planarni zdrsi regionalnih dimenzij				●	5.		
veliki klinasti zdrsi regionalnih dimenzij				●	5.		

Opredelevanje stopenj intenzitete potresov

Opredelevanje je podana po originalni EMS potresni lestvici za vseh dvanajst stopenj. Pri intenzitetah nad VI. stopnjo pa opredeljujeva tudi učinke v naravi (poudarjen tekst). Meniva, da do VI. stopnje tudi v najbolj ranljivih kamninah poškodb v naravi ni v takem številu, da bi jih bilo mogoče uporabiti pri določitvi intenzitete potresa. Pri stopnjah nad IX. pa se verjetno pojavljajo tudi nove vrste poškodb, drugačne dimenzije itd., o katerih na osnovi opazovanja poškodb v naravi po potresu v Posočju ni možno zagotovo sklepati.

Opredelitev lestvice

- a) vplivi na ljudi
 b) vplivi na predmete in naravo
 (tukaj so izključene poškodbe na zgradbah, vplivi na tla in porušitev tal)
 c) poškodbe na zgradbah

d) poškodbe na terenu

(dodane k originalni lestvici na osnovi opazovanj in analiz potresa v Posočju s podarjeno pisavo)

Uvodne opombe:

- Posamezne intenzitetne stopnje obsegajo učinke tresenja pri nižji (nižjih) intenzitetni(h) stopnji (stopnjah), tudi ko ti vplivi niso izrecno omenjeni.
- **Poškodbe na terenu (naravi), ki izhajajo iz analize potresa v Posočju, niso splošno veljavne, ampak so podane kot prikaz, kako bi bilo možno vključiti tudi naravne seizmogeološke pojave v potresno lestvico.**
- **Poškodbe v naravi, ki so uvrščene v določeno stopnjo lestvice EMS, se v tej stopnji pojavljajo v takem številu, da so zanjo tipične, v višjih stopnjah pa se še intenzivirajo in zavzemajo večji obseg.**
- **Pri opredelitvi poškodb v naravi (označeno s črko d.) smo se omejili na stopnje od V. do X. stopnje EMS, pri čemer so opredelitve za IX. in X. stopnjo aproksimacija pojavov pri nižjih intenzitetah. Poškodb v naravi pri potresih XI. in XII. stopnje zaradi nepoznavanja nisva opredelila.**
- **Količinska opredelitev večina ni bila uporabljena za poškodbe v naravi.**
- **Za razreda ranljivosti D in E za poškodbe v naravi ni opredelitev intenzitete potresa, ker je bila intenziteta potresa v Posočju prenizka, da bi povzročala poškodbe tudi v manj ranljivem terenu.**
- **V okvirju so predlagana nova opisna imena posameznih stopenj za potrese pri katerih upoštevamo poškodbe v naravi.**

I. Nezaznaven potres

- | | |
|--|--|
| <p>a. Nezaznaven tudi pod najbolj ugodnimi pogoji.</p> <p>b. Učinkov ni.</p> <p>c. Poškodb na zgradbah ni.</p> <p>d. Poškodb v naravi ni.</p> | <p>občutijo pozibavajoče ali rahlo tresenje.</p> <p>b. Viseči predmeti rahlo zanihajo.</p> <p>c. Poškodb na zgradbah ni.</p> <p>d. Poškodb v naravi ni.</p> |
|--|--|

II. Komaj zaznaven potres

- | | |
|---|--|
| <p>a. Tresljaj(e) zazna le zelo malo (manj kot 1%) mirujočih posameznikov, na posebej izpostavljenih lokacijah znotraj poslopjij.</p> <p>b. Učinkov ni.</p> <p>c. Poškodb na zgradbah ni.</p> <p>d. Poškodb v naravi ni.</p> | <p>IV. Zmeren potres (splošno zaznan)</p> <p>a. V poslopijih zazna potres mnogo ljudi, na prostem pa le zelo malo. Posameznike potres prebudi. Nivo tresenja ne povzroča strahu. Tresljaji so zmerni, ljudje jih za znajo kot rahlo tresenje ali pozibavanje zgradbe, sobe ali postelje, stola, itd.</p> <p>b. Žvenketanje porcelana, steklenine, zastekljenih oken in vrat. Viseči predmeti zanihajo. Redko je opaziti tresenje lahkega pohištva. Red-</p> |
|---|--|

III. Šibak potres

- | | |
|---|---|
| <p>a. Potres zaznajo posamezniki v poslopijih. Mirujoči posamezniki</p> | <p>Redko je opaziti tresenje lahkega pohištva. Red-</p> |
|---|---|

ko je slišati škripanje lesenega stavbnega pohištva.

c. Poškodb na zgradbah ni.

d. **Poškodb v naravi ni.**

V. Močan potres

a. V poslopljih zazna potres večina ljudi, na prostem pa le malo. Nekateri ljudje se prestrašijo in zbežijo ven. Mnogi speči ljudje se zbudijo. Opazovalci občutijo močnejše tresenje ali pozibavanje celotne zgradbe, sobe ali pohištva.

b. Viseči predmeti močnejše zanihajo. Porcelan ropota, steklenina pa žvenketa. Manjši, manj stabilni in/ali slabo podprti predmeti se lahko premaknejo ali padajo na tla. Odprta vrata in okna loputajo. Redko počijo okenska stekla. Tekočine vzvalovijo, iz napolnjenih posod pa se tekočina lahko prelije. Živali v zgradbah lahko postanejo nemirne.

c. Poškodbe 1. kategorije se pojavijo na posameznih zgradbah tipa A in B.

d. **Poškodbe v naravi:**

V naravi se lahko pojavijo zelo redke (posamezne) poškodbe 1. kategorije (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal) v najbolj ranljivih kamninah (razred ranljivosti A). Omenjene poškodbe so za oceno intenzitete nezadostne.

VI. Potres, ki že povzroča neznatne poškodbe na zgradbah

Potres, ki povzroča neznatne poškodbe na zgradbah in v naravi

a. V poslopljih zazna potres večina ljudi, na prostem pa mnogi. Redki posamezniki izgubijo ravnotežje. Mnogi ljudje se prestrašijo in zbežijo ven.

b. Manjši predmeti z običajno stabilnostjo padajo na tla, težko pohištvo se lahko premakne. Tu in tam se lahko razbije posoda in steklenina. Domače živali (tudi na prostem) se lahko prestrašijo.

c. Poškodbe 1. kategorije se pojavijo na mnogih zgradbah tipa A in B. Posamezne zgradbe tipa A in B pretrpijo poškodbe 2. kategorije; posamezne tipa C pa poškodbe 1. kategorije.

d. **Poškodbe v naravi:**

Mnoge poškodbe 1. kategorije v razredu ranljivosti A (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal).

Posamezne poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti A (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini).

Posamezne poškodbe 1. kategorije v razredu ranljivosti B (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal)

VII. Potres, ki povzroča poškodbe na zgradbah

Potres, ki povzroča poškodbe na zgradbah in v naravi

a. Večina ljudi se prestraši in poskuša zbežati na prosto. Mnogi ljudje se s težavo obdržijo na nogah, zlasti v višjih nadstropjih.

b. Pohištvo se lahko premakne, pohištvo z veliko maso na vrhu se lahko prevrne. Mnogi predmeti padejo s polic. Pljuskanje tekočin iz posod, rezervoarjev in bazenov.

c. Mnoge zgradbe tipa A pretrpijo poškodbe 3. kategorije, posamezne pa 4. kategorije. Mnoge zgradbe tipa B pretrpijo poškodbe 2. kategorije, posamezne pa 3. kategorije.

Posamezne zgradbe tipa C pretrpijo poškodbe 2. kategorije.

Posamezne zgradbe tipa D pretrpijo poškodbe 1. kategorije.

d. Poškodbe v naravi:

Mnoge poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti A (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini). Posamezne poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti A (manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).

Mnoge poškodbe 1. kategorije v razredu ranljivosti B (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal).

Posamezne poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti B (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini).

Posamezne poškodbe 1. kategorije v razredu ranljivosti C (padanje posameznih kamnov, odpiranje kratkih svežih razpok, padanje posameznih skal).

VIII. Potres, ki povzroča težke poškodbe na zgradbah

Potres, ki povzroča težke poškodbe na zgradbah in v naravi

- Mnogi ljudje se s težavo obdržijo na nogah, tudi zunaj zgradb.
- Pohištvo se lahko prevrne. Predmeti, kot so TV sprejemniki, pisalni stroji itd., padejo na tla. Posamezni nagrobni spomeniki se premaknejo, zasukajo ali preobrnejo. Na zelo mehkih tleh je možen nastanek valovanja.
- Mnoge zgradbe tipa A pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne 5. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa B pretrpijo

poškodbe 3. kategorije, posamezne 4. kategorije.

Mnoge zgradbe tipa C pretrpijo poškodbe 2. kategorije, posamezne 3. kategorije.

Posamezne zgradbe tipa D pretrpijo poškodbe 2. kategorije.

d. Poškodbe v naravi:

Mnoge poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti A (manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).

Posamezne poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti A (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrsi).

Mnoge poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti B (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini).

Posamezne poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti B (manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).

Posamezne poškodbe 2. kategorije v razredu ranljivosti C (manjši hribinski podori, zdrsi grušča, krušitev kamnov v večji količini).

IX. Rušilen

Rušilen z obsežnimi spremembami v naravi

- Splošna panika. Potres lahko nekatere ljudi pomeče na tla.
- Mnogi spomeniki in samostojni stebri padejo ali se zasukajo. Na mehkih tleh je opaziti valove.
- Mnoge zgradbe tipa A pretrpijo poškodbe 5. kategorije.
Mnoge zgradbe tipa B pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne 5. kategorije.

Mnoge zgradbe tipa C pretrpijo poškodbe 3. kategorije, posamezne 4. kategorije.

Mnoge zgradbe tipa D pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne 3. kategorije.

Mnoge zgradbe tipa E pretrpijo poškodbe 2. kategorije.

d. Poškodbe v naravi:

Mnoge poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti A (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrs).

Posamezne poškodbe 5. kategorije v razredu ranljivosti A (hribinski podori in zdrs regionalnih dimenzij).

Mnoge poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti B (manjši hribinski planarni in klinasti zdrs, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).

Posamezne poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti B (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrs).

Posamezne poškodbe 3. kategorije v razredu ranljivosti C (manjši hribinski planarni in klinasti zdrs, premikanje skal, veliki hribinski podori, odpiranje dolgih svežih razpok).

X. Obsežno rušilen

Obsežno rušilen za zgradbe in naravo

- a. Ni merodajnega opisa
- b. Ni merodajnega opisa
- c. Večina zgradb tipa A pretrpi poškodbe 5. kategorije. Mnoge zgradbe tipa B pretrpijo poškodbe 5. kategorije. Mnoge zgradbe tipa C pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne

5. kategorije.

Mnoge zgradbe tipa D pretrpijo poškodbe 3. kategorije, posamezne 4. kategorije.

Mnoge zgradbe tipa E pretrpijo poškodbe 2. kategorije, posamezne 3. kategorije.

Posamezne zgradbe tipa F pretrpijo poškodbe 2. kategorije.

d. Poškodbe v naravi:

Mnoge poškodbe 5. kategorije v razredu ranljivosti A (hribinski podori in zdrs regionalnih dimenzij).

Mnoge poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti B (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrs).

Posamezne poškodbe 5. kategorije v razredu ranljivosti B (hribinski podori in zdrs regionalnih dimenzij).

Posamezne poškodbe 4. kategorije v razredu ranljivosti C (razklanje skal in prevrnitve, padanje skal v večjem številu, veliki hribinski planarni in klinasti zdrs).

XI. Uničujoč

- a. Ni merodajnega opisa
- b. Ni merodajnega opisa
- c. Večina zgradb tipa B pretrpi poškodbe 5. kategorije. Večina zgradb tipa C pretrpijo poškodbe 4. kategorije, mnoge 5. kategorije. Mnoge zgradne tipa D pretrpijo poškodbe 4. kategorije, posamezne 5. kategorije. Mnoge zgradne tipa E pretrpijo poškodbe 3. kategorije, posamezne 4. kategorije. Mnoge zgradne tipa F pretrpijo poškodbe 2. kategorije, posamezne 3. kategorije.
- d. **Poškodbe v naravi:**
Zaradi nepoznavanja jih ni možno opredeliti.

XII. Popolno uničujoč

- Ni merodajnega opisa
- Ni merodajnega opisa
- Vse hiše tipa A in B ter praktično vse tipa C so uničene. Večina

zgradb tipa D, E in F je uničenih. Učinki potresa so največji možni.

d. Poškodbe v naravi:

Zaradi nepoznavanja jih ni možno opredeliti.

Zaključek

Človek je del narave in njegova pomembnost ni nič večja od katerekoli rastlinske ali živalske vrste, če se omejimo samo na živo naravo. Toda človek se je sam pri sebi postavil za najvišje bitje v naravi. Od tu izvirajo številne daljnosežne posledice, ki se odražajo tudi v negativnem delovanju na naravo. Človek se je v zadnjih desetletjih začel soočati s temi posledicami, ko narava v marsičem ni bila sposobna s svojimi ravnotežnimi sistemi izničiti vplive človeškega delovanja. To je dalo človeku misliti, da mora spremeniti do narave svoj odnos. Vsaj manjši del človeštva se je zopet začel vračati k svoji prvobitnosti, se zavedati svoje globoke povezanosti z naravo.

Na glede katero področje delovanja opazujemo, vidimo osnovno človeško usmerjenost, poskrbeti predvsem zase. Velik je naš dolg, da spremenimo način mišljenja, da znova pridobimo občutljivost za naravo. To velja tudi na področju proučevanja velikih, včasih katastrofalnih dogodkov, kot je potres.

Od leta 1912, ko je izšla dopolnjena Mercalli-Cancani-Siebergova intenzitetna lestvica, leta 1964, ko so novo lestvico sestavili Medvedev-Sponheuer in Karnik, pa leta 1992, ko so prvič predstavili novo evropsko potresno lestvico (EMS), ki naj bi upoštevala vsa dotakratna znanja seizmologije in gradbeništva, proučevanje posledic potresa sloni na proučevanju poškodb na zgradbah. Od VI. stopnje naprej so našete lestvice narejene izključno glede na poškodbe na zgradbah.

Proučevanje posledic potresa v Posočju je pokazal, da tudi v naravi nastanejo številne posledice, ki so, enako kot pri zgradbah, odvisne od ranljivosti terena in intenzitete potresa. Vse dobro opredeljene značilnosti, ki veljajo za zgradbe, je možno uporabiti tudi v naravi. Nenadoma se pred nami odpre zakoniti svet številnih drobnih, pa tudi večjih seizmogeoloških pojavov, nastalih ob potresu, ki pričajo o učinkih potresa na naravo.

Pojavi v naravi, ki nastajajo v alpskem svetu ob potresu:

- padanje posameznih kamnov,
- odpiranje kratkih svežih razpok v hribini,
- padanje posameznih skal,
- manjši hribinski podori,
- zdrsi grušča,
- krušitev kamnov v večji količini,
- manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi,
- premikanje skal na položnem ali ravnem terenu,
- veliki hribinski podori,
- odpiranje dolgih svežih razpok,
- razklanje skal in prevrtnitve,
- padanje skal v večji količini,
- veliki hribinski planarni zdrsi,
- veliki hribinski klinasti zdrsi,

- hribinski podori regionalnih dimenzij,
- planarni zdrsi regionalnih dimenzij,
- veliki klinasti zdrsi regionalnih dimenzij.

Če bi imela možnost bolj podrobnega in sistematičnega proučevanja, bi bila ugotovljena še večja raznolikost seizmogeoloških pojavov v hribinah. Predvsem bi bilo možno izločiti različne vrste bolj drobnih pojavov, kot je nastajanje, odpiranje, razsežnost in vrsta razpok v kamninah, premikanje blokov, različni tipi podorov, vse v odvisnosti od intenzitete potresa in lokalnih razmer.

Kljub temu, pa je možno že na osnovi v članku prikazanega gradiva sprejeti osnovni sklep, da je treba sistematično in dolgoročno začeti proučevati posledice potresa v naravi in spoznanja začeti vključevati v človeško zakladnico znanja, v našem primeru tudi v potresne lestvice, ki opredeljujejo intenziteto potresa. Pot do oblike, ki bi omogočala opredeljevanje stopnje potresa na nivoju, kot je za zgradbe, je še dolga. Predvsem rabimo podrobne analize posledic potresov v naravi na različnih območjih Zemlje, v različnih kamninah in morfološki izoblikovanosti terena. Zavrniti moramo tezo, da je narava preveč nepredvidljiva in začeti sistematično delati. Vložek se nam bo povrnil, tam, kjer ga ne bomo pričakovali in nam izboljšal kvaliteto bivanja.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeva Matjažu Godcu, univ.dipl.ing.grad. za pregled in pripombe dela članka, ki se nanaša na opise poškodb zgradb v Evropski potresni lestvici. Strokovnjakom Geološkega zavoda Slovenije se zahvaljujeva za del baze podatkov o podorih.

Literatura

- B a t h, M. 1973: Introduction to Seismology. - Birkhauser Verlag, 395 p., Basel and Stuttgart.
- B i e n i a w s k i, Z. T. 1974: Geomechanics Classification of Rock Masses and its Application in Tunneling. - Proc. 3th Con. ISMR, Vol. II-A, 27 - 32, Boston.
- B u s e r, S. 1986: Osnovna geološka karta 1:100 000. Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine). - Zvezni geološki zavod, 103 p., Beograd.
- D r o b n e F. & Ivanković J. & Ribičič M. 1976: Inženirskogeološke posebnosti slovenskega ozemlja. - 8. Jug. geol. kon., 51 - 58, Bled.
- G r ü n t h a l, G. (ed.), 1993: European Macroseismic Scale 1992 (EMS-92). - European Seismological Commission, Working group Macroseismic Scales, 79 p., Luxembourg.
- G r ü n t h a l, G. (ed.), 1998: European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). - European Seismological Commission, Working group Macroseismic Scales, 101 p., Luxembourg.
- H o e k, E. 1997: Rock slope engineering. - E & FN Spon, 254 p., London.
- Preliminary seismological bulletin. 1998, Geophysical Survey of Slovenia, Ljubljana.
- R i b a r i č, V. 1980: Potresi v Furlaniji in Posočju leta 1976, kratka seizmološka zgodovina in seizmičnost obrobja vzhodnih Alp. - Potresni zbornik, 17-81, Ljubljana.
- R i b a r i č, V. 1987: Seizmološka karta za povratno periodo 500 let. (M 1 : 400 000) - Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- R i b i č i č, M. & S i n i g o j, J. 1996: Karte ogroženosti in tveganja zaradi plazov na območju Slovenije. - Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995-1996, Zbornik referatov simpozija, 115-124, 8 pril., Ljubljana.
- R i b i č i č, M. & V i d r i h, R. 1998a: Vpliv potresov na nastanek podorov in plazov. - Ujma 12 (v tisku), Uprava RS za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo, Ljubljana.
- R i b i č i č, M. & V i d r i h, R. 1998b: Poškodbe v naravi ob letošnjem potresu v Posočju. - Življenje in tehnika XLIX, september 1998, 48-56, Ljubljana.
- V i d r i h, R. 1998: Potres v Posočju seizmologov ni presenetil. Vsi kraji, kjer je nastalo naj-

več poškodb so zgrajeni na slabi podlagi na nanosih rek in potokov in na pobočnih gruščih. - DELO, Znanost, 9, Ljubljana.

Vidrih, R. & Ribičič, M. 1994: Vpliv potresov na nastanek plazov v Sloveniji. - Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Idrija 17.-18.11.1994, Zbornik, 33-46, Idrija.

Vidrih, R. et al. 1991: Potresna ogroženost Slovenije. Občina: Brežice, Idrija, Krško, ljubljanske občine, Tolmin. - Seizmološki zavod R Slovenije in Republiški štab za civilno zaščito, 214 p., 5 prilog, Ljubljana.

Vidrih, R. & Godec, M. 1998: Potres v Posočju 12. aprila 1998. - Življenje in tehnika XLIX, julij 1998, 59-68, Ljubljana.

Vidrih, R. & Ovčak, M., 1998a: V Posočju poškodovani pomniki prve svetovne vojne. Spomin na Vilo polni zadetek (I. del). - DELO, Reportaže in zanimivosti, 12, Ljubljana.

Vidrih, R. & Ovčak, M., 1998b: V Posočju poškodovani pomniki prve svetovne vojne. „Živel mir“ na Krnčici (II. del). - DELO, Reportaže in zanimivosti, 12, Ljubljana.

Vidrih, R. & Ribičič, M., 1998: Geološke posebnosti potresa 12. aprila v Posočju. Potres je povzročil ne le veliko škodo na hišah, pospešil je tudi geološko dogajanje. - DELO, Znanost, jun. 1998-12, Ljubljana.



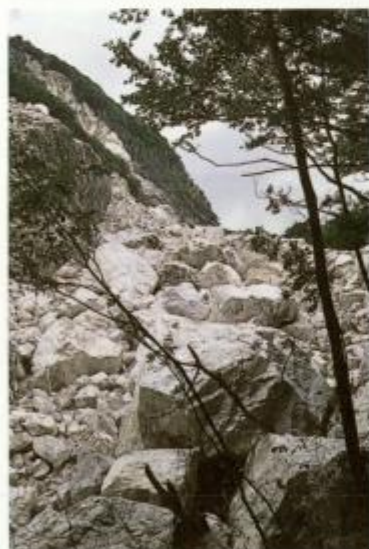
Sl. 8. Padanje posameznih kamnov (ob poti k izviru Tolminke).

Fig. 8. Falling of individual stones (along the path leading to the source of the Tolminka).



Sl. 9. Zdrsi grušča (planina Polog).

Fig. 9. Gravel slides (the Polog mountain).



Sl. 10. Krušitev kamnov in skal v večji količini (planina Osojnica).

Fig. 10. Crumbling of stones and rocks in larger amounts (the Osojnica mountain).



Sl. 11. Odpiranje kratkih svežih razpok v hribini (nad planino Polog nad Tolminom).

Fig. 11. Opening of short fresh cracks in the slope (above the Polog Alpine dairy over Tolmin).



Sl. 12. Padanje posameznih skal (planina Polog).

Fig. 12. Falling of individual stones (the Polog Alpine dairy).



Sl. 13. Manjši hribinski planarni zdrsi (planina Osojnica).

Fig. 13. Smaller planar rockslides (the Osojnica mountain).



Sl. 14. Premikanje skal na položnem ali ravnem terenu (ob poti iz Drežnice na Krn).

Fig. 14. Movement of rocks on gently sloping or level ground (along the path from Drežnice to Krn).



Sl. 15. Manjši hribinski podori (ob izviru Tolminke).

Fig. 15. Smaller rockfalls (at the source of the river Tolminka).



Sl. 16. Veliki hribinski podori (jugozahodni greben Krna).

Fig. 16. Large rockslides (south-western ridge of Krn).



Sl. 17. Odpiranje dolgih svežih razpok (začetek doline Lepene).

Fig. 17. Opening of long fresh cracks (beginning of the Lepena valley).

slučajna dejstva, ki so posledica naravnih procesov, ki se pojavljajo v naravi. Namen je povezati kategorijo poškodb na zgradbah z vrstami značilnih porušitev naravnega ravnotežja, ki veljajo za določeno intenziteto potresa.

Opomba:

Naslednje slike prikazujejo primerjavo med poškodbami na zgradbah in v naravi. Namen je povezati kategorijo poškodb na zgradbah z vrstami značilnih porušitev naravnega ravnotežja, ki veljajo za določeno intenziteto potresa.



Sl. 18. Ob potresu dvignjene in spuščene skale, ki so se ponekod prevrnile, ponekod razkale (ob poti iz Drežnice na Krn).

Fig. 18. Rocks lifted up and lowered by the earthquake, some of which were turned around or split (along the path from Drežnice to Krn).



Sl. 19. Kotaljenje in padanje posameznih skal v dolini Lepene smo ocenili z učinki VI. stopnje EMS.

Fig. 19. Rolling and falling of individual rocks in the Lepena valley was assessed at level VI EMS.



Sl. 20. Posamezne manjše hribinske podore ob strugi reke Soče, smo ocenili s VI. stopnjo po EMS lestvici. Primer na sliki je v neposredni bližini vasi Soča.

Fig. 20. Individual smaller rockfalls along the Soča river were assessed at level VI EMS. The picture shows an example in the vicinity of the Soča village



Sl. 21. Številni podrti kamniti podporni zidovi, kot je primer iz Drežnice, so značilni za VI. stopnjo EMS.

Fig. 21. Many collapsed stone retaining walls, like the example from Drežnica, are characteristic of level VI EMS.



Sl. 22. Razpoke v delno sprjetem pobočnem grušču na poti k izvirov Tolminke so značilne za VI. stopnjo EMS.

Fig. 22. The cracks in partly agglutinated gravel on the slopes along the path leading to the source of the Tolminka are characteristic of level VI EMS.



Sl. 23. Cerkev na Javorci je vzdržala brez poškodb, medtem ko so bili kamniti zidovi večinoma porušeni, kar potrjuje ocenjeno VI. stopnjo po EMS.

Fig. 23. The church on Javorca was not damaged, while most of the stone walls collapsed, which confirms the assessed level of VI EMS.



Sl. 24. Lasaste in manjše razpoke na zidovih (1. kategorija) kažejo na VI. stopnjo EMS.

Fig. 24. Capillary and smaller cracks on walls (grade 1) point to level VI EMS.



Sl. 25. Učinke potresa na zgradbe in na ljudi v Bohinjskem kotu smo ocenili med VI. in VII. stopnjo EMS, temu pa odgovarjajo tudi poškodbe v naravi. Lep primer je zdrs dela obale Bohinjskega jezera v vodo.

Fig. 25. The earthquake effects on buildings and people in Bohinjski kot were assessed at levels VI-VII EMS, which is confirmed by the damage caused to nature. A good example is the sliding of part of the Lake Bohinj coast into the water.



Sl. 26. Zmerne do hude poškodbe (3. kategorije), predvsem velike in globoke razpoke v stenah grajenih iz neobdelanega kamna, so nastale v SKI hotelu na Voglu in so značilne za VI - VII. stopnjo EMS.

Fig. 26. Moderate to severe damage (grade 3), mainly large and deep cracks in walls built of fieldstone, found on the SKI Hotel in Vogel, characteristic of levels VI-VII EMS.



Sl. 27. Seizmogeološka sestava doline Lepene je ugodnejša od sestave gorovja, ki se dviguje nad njo, zato so bile poškodbe v naravi večje kot na objektih. Manjše hribinske podore, ki so zgrmeli v dolino in so ponekod poškodovali cestišča, smo ocenili z učinki med VI. in VII. stopnjo po EMS.

Fig. 27. The seismological structure of the Lepena valley is more favourable than the composition of the hills rising above it. Consequently, the damage caused to nature was larger than that on buildings. Smaller rockfalls sinking into the valley and damaging the roads in some areas were assessed as reaching levels VI-VII EMS.



Sl. 28. Na območju, kjer smo poškodbe zgradb ocenili z VII. stopnjo po EMS so v naravi nastajali zanimivi pojavi. Na začetku doline Lepene je nastal kamninski tok, ki je za slovenski prostor zelo redek pojav. Nastanek podobnih pojavov ocenjujemo z VII. stopnjo po EMS lestevici.

Fig. 28. In the area where damage to buildings was assessed as level VII EMS, interesting phenomena appeared in nature. At the head of the Lepena valley, a mud-stone flow appeared which is very rare in Slovenia. The appearance of similar phenomena is assessed as level VII of the EMS



Sl. 29. Pogoste poškodbe v dolini Lepene so bile zasuki dimnikov in posamezne konstrukcijske poškodbe; predvsem globoke in obsežne razpoke v večini zidov (3. kategorija). Objekt je iz neobdelanega ali delno obdelanega kamna, vezivo je apnena malta, stropna konstrukcija pa je lesena. Tovrstne poškodbe so značilne za VI. - VII. stopnjo po EMS lestvici.

Fig. 29. A common type of damage in the Lepena valley involved twisting of chimneys and individual property damage, chiefly deep and large cracks in most walls (grade 3). The building is made of fieldstone and simple stone, it is joined by lime mortar and the ceiling construction is wooden. Such damage is typical of levels VI-VII EMS.



Sl. 30. Detajl kamninskega toka v dolini Lepene.

Fig. 30. Detail of a mud-stone flow in the Lepena valley.



Sl. 31. Kakor smo prej napisali, da so v seizmogeološkem pogledu tla v Lepeni ugodnejša od gorovja nad dolino, je v primeru Male vasi v Bovcu obratno. Učinki na zgradbah so bili ocenjeni na VII. - VIII. stopnjo po EMS, zato so pri tej stopnji v stabilnejši kamnini nastajali manjši skalnati podori. V primeru manj stabilne kamnine, bi bili skalnati podori nad Bovecem bistveno večji.

Fig. 31. Earlier we wrote that, seismologically, the floor of Lepena is more favourable than the mountains above the valley; in Mala vas in Bovec, the situation is the reverse. The effects on buildings were assessed as levels VII-VIII EMS, accordingly, smaller rockfalls appeared in the more stable rock. Had the rock been less stable, the rockfalls above Bovec would have been much larger.



Sl. 32. Hude poškodbe (3. kategorija) na konstruktivnih in nekonstruktivnih elementih slabo grajenega objekta iz neobdelanega kamna so značilne za VII. stopnjo EMS. Zaradi nepovezanega zidovja je prišlo do trka med seboj pravokotnih nosilnih zidov; posledica je porušitev vogala zgradbe. Podobno usodo je doživela večina vikendov in osamljenih bolj ali manj zapuščenih zgradb nad levim bregom Lepenca.

Fig. 32. Severe damage (grade 3) to constructive and non-constructive elements of a poorly built building of rubblestone stone are characteristic of level VII EMS. The walls, which were not well joined together, led to a collision of supporting walls perpendicular to each other; the consequence was the collapse of the corner of the building. A similar fate was faced by most of the summer houses and isolated, more or less deserted, buildings above the left shore of the Lepenca.



Sl. 33. Podor iz kote 1776 m lahko uvrstimo med večje podore, ki so značilni za VII.-VIII. stopnjo EMS.

Fig. 33. The rockfall at „kota 1776 m“ can be classified among the largest rockfalls characteristic of level VII-VIII EMS.



Sl. 34. Skozi podrto kaverno na koti 1776 m lahko opazujemo enega največjih podorov, ki ga kaže Sl. 33.

Fig. 34. From the collapsed cavern at „kota 1776 m“ one can observe one of the largest rockfall shown in Fig. 33.



Sl. 35. Velikanski podor na jugozahodnem delu Krna smo ocenili z učinki med VII. in VIII. stopnjo po EMS lestvici. Po velikosti je primerljiv s podori na Osojnici in poškodbami na zgradbah na planini Polog.

Fig. 35. Huge rockfall on the south-eastern part of Krn was assessed as levels VII-VIII of the EMS. In terms of size, it is comparable to the rockfalls at Osojnica and the damage to buildings on the Polog mountain.



Sl. 36. Pogled z grebena Krnčice na podora na jugozahodnem delu Krna. Po obsežnosti podorov smo ju uvrstili med VII in VIII. stopnjo EMS.

Fig. 36. View from the Krnčica ridge of two landslides on the south-western part of Krn. According to their size, they were classified at level VII-VIII EMS.



Sl. 37. Klinast zdrs v Lepeni sodi med redke pojave, ki so značilni za VII.-VIII. stopnjo EMS.

Fig. 37. Wedge-shaped slide in the Lepena valley is among the rare phenomena characteristic of level VII-VIII EMS.



Sl. 38. Med največjimi skalnatimi podori, ki smo jih ocenili z VII. do VIII. stopnjo po EMS so podori na Osojnici. Vrh gore je dobesedno razklalo, saj so podori v dolino zgrmeli na treh pobočjih.

Fig. 38. The largest rockfalls assessed at levels VII-VIII EMS include those on Osojnica. The top of the mountain literally fell apart as rockfalls crashed into the valley on three slopes.



Sl. 39. Poškodovano obeležje iz I. sv. vojne, ki stoji na križišču cest za Bovec, Trento in Predil, je zgrajeno iz obdelanega kamna in povezano z apneno malto. Malta je močno preperela in le slabo povezuje kamninske bloke, zato je pri potresnih silah prišlo do zasuka posameznih kamnitih blokov za približno 30° in odpadanja posameznih kamnov. Tovrstne poškodbe (3. kategorije) so značilne za VII.-VIII. stopnjo po EMS lestvici.

Fig. 39. Damaged World War I memorial at the intersection of roads leading to Bovec, Trento and Predil, built of processed stone and joined with lime mortar. The mortar has largely fallen out and only loosely binds the stones. Consequently, the earthquake forces turned individual stone pieces by 30° and individual stones fell off. Such damage (grade 3) is characteristic of level VII - VIII EMS.



Sl. 40. Podrti kamniti zidovi, predvsem pa podrti ali premaknjeni nagrobni spomeniki na pokopališču v Bovcu so značilni za VII.-VIII. stopnjo EMS.

Fig. 40. Collapsed stone retaining walls and collapsed or moved tombstones at the Bovec graveyard are characteristic of level VI EMS.



Sl. 41. Na podlagi številnih težkih poškodb (3. kategorija), kot je primer v Spodnjih Drežniških Ravnah, smo ocenili učinke med VII. - VIII. stopnjo EMS.

Fig. 41. Based on the widespread severe damage (grade 3), like the example from Spodnje Drežniške Ravne, effects at level VII-VIII EMS were assessed.



Sl. 42. Delna porušitev stene objekta iz neobdelanega kamna z lesenimi stropovi (poškodbe 4. kategorije) je značilna za VII. - VIII. stopnjo EMS. Tudi ta porušitev zgradbe v vasi Magozd je posledica delovanja nepovezanega zidovja.

Fig. 42. Partial wall collapse of a building made of fieldstone with a wooden ceiling (grade 4) is characteristic of levels VII-VIII EMS. The collapsing of this building in the Magozd village is also the result of walls not being joined together.



Sl. 43. Globoke razpoke v vseh nosilnih stenah in delna porušitev vogalov konstrukcije (poškodbe 4. kategorije) so značilne poškodbe objekto iz neobdelanega kamna pri VII. - VIII. stopnji EMS. Zaradi poseđanja etaze so se porušile vse predelne stene v pritličju. Primer sirarne na planini Polog nad Tolminko v neposredni bližini Osojnice.

Fig. 43. Deep cracks in all supporting walls and a partial collapse of the corners (damage grade 4) are characteristic of buildings made from fieldstone with levels VII-VIII EMS. Due to the sinking of the floor, all non-supporting walls on the ground floor collapsed. On example is the cheese dairy on the Polog mountain above Tolminka in the vicinity of Osojnica.



Sl. 44. Globoke razpoke v konstruktivnih in nekonstruktivnih elementih novejšega stanovanjskega objekta, grajenega iz opeke z armiranobetonskimi (AB) stropovi so značilne za VII. - VIII. stopnjo EMS. Omenjene poškodbe 4. kategorije so nastale na številnih objektih v Mali vasi pri Bovcu.

Fig. 44. Deep cracks in constructive and non-constructive elements of a recently built apartment block, made of brick with reinforced concrete ceilings are characteristic of levels VII-VIII EMS. Such damage of the grade 4 appeared on many buildings in Mala vas, Bovec.



Sl. 45. Zanimiv pojav, ki ga v celoti ne znamo razložiti je nastal ponekod v mehki zemljini. Na gredicah vidimo potek valovanja, kjer je zemlja dvignjena na oddaljenosti približno 70 cm. Lahko gre za valovno dolžino potresnih valov, še verjetneje pa je to posledica interference seizmičnih

Fig. 45. One interesting phenomena which we are not able to explain completely appeared in some areas with soft ground. The beds show oscillation, with the earth being lifted within a range of 70 cm. This could be the wave length of the earthquake waves, but it is more likely to be the consequence of seismic wave interference.

Vse fotografije R. Vidrih

All photos taken by R. Vidrih



Sl. 46. Težko poškodovano temeljno ogrodje v mestu, kjer je bila v prvotni zgradbi, nato spetno zgrajena leta VII. - VIII. stoletja ZMA.

Fig. 46. Based on the undamaged areas (damage figure 50) the concrete from original foundation shows effects of great VII-VIII ZMA strong earthquake.

Uporaba daljinskega zaznavanja - satelitskih posnetkov v inženirski geologiji (območje Črnega Kala)

The application of remote sensing - satellite imagery in
engineering geology (study area of Črni Kal, Slovenia)

Marko Komac

Geološki zavod Slovenije,
Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija,
E-mail: mkomac@geo-zs.si

Mihael Ribičič

Gradbeni inštitut ZRMK,
Dimičeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenija,
E-mail: mribicic@gi-zrmk.si

Ključne besede: daljinsko zaznavanje, satelitski posnetki, Landsat 5 TM, klasifikacija

Key words: remote sensing, satellite imagery, Landsat 5 TM, classification

Povzetek

Cilj prispevka je odgovoriti na vprašanje uporabnosti satelitskih posnetkov pri geološkem kartiranju večjih meril (1:10.000 in več). Poskušali smo ugotoviti primer-
nost daljinskega zaznavanja pri ugotavljanju litologije in prisotnosti prelomov. Ta
dva faktorja sta le del celote, ki določa stabilnost površine in posredno vpliva na
gradnjo linearnih objektov kot so ceste, železnice, razni vodi, itd. Kot osnovni po-
datki za nadaljno digitalno obdelavo podatkov so bili vzeti satelitski posnetki
območja Črnega Kala, posneti s satelitom Landsat 5 TM. Osnovnim posnetkom je
bilo povečano (raztegnjeno) območje kontrasta z namenom, da se povečajo razlike
med elementi na njih. Obdelava z Laplaceovim in 2dfxdy filtra je dala kot re-
zultat posnetke s poudarjenimi elementi in njihovimi robovi. Med možnimi barvni-
mi zloženkami so bile za nadaljnjo obdelavo izbrane najprimernejše. Za klasificira-
nje barvnih zloženek smo uporabili dve metodi. Za barvno zloženko iz osnovnih po-
snetkov 1, 2 in 7 smo uporabili nenadzorovano klasifikacijo in za barvno zloženko iz
osnovnih posnetkov 2, 4 in 6 nadzorovano klasifikacijo. S primerjavo z geološko
karto smo dobili rezultate natančnosti klasifikacije. Natančnost nenadzirane klasi-
fikacije je dosegla 56,5%, natančnost nadzirane klasifikacije pa 65,2%.

Abstract

Main purpose of this paper is to provide an answer to the question of usefulness
of satellite images in engineering geological mapping on larger scales (1:10.000 or
larger). We tried to determine if the remote sensing (RS) is suitable for locating fac-

tors such as lithology and presence of faults. These factors, among others, define stability of the surface and indirectly affect on construction of linear infrastructure objects e.g. roads, railroads, various pipelines etc. On Landsat TM images of Črni Kal area, a digital image processing was conducted. Stretching of contrast was performed on basic TM bands images for purpose to enhance and separate image features. Filtering with Laplace and 2dfdxdy filters produced images that emphasise edges and entities. Before classification of images was performed, most suitable colour composites were selected. Two different classification methods were used, an unsupervised classification for colour composite of bands 1, 2 and 7, and supervised classification for colour composite of bands 2, 4 and 6. After the classification, the accuracy for both classification methods were calculated - accuracy of geology features for unsupervised classification reached a 56,5%, and for supervised classification it reached a 65,2%.

Uvod

V geologiji je vse bolj čutiti potrebo po sodelovanju z drugimi področji znanosti. Dandanes je uporaba računalniških sistemov praktično neizogibna, saj je z njimi obdelava številnih podatkov veliko enostavnejša, učinkovitejša in nepristranska. Vse vede, ki se ukvarjajo s prostorsko problematiko, se srečujejo z ogromnim številom podatkov. **Geografski informacijski sistem**, krajše **GIS**, je računalniško podprt sistem, s katerim je mogoča obdelava prostorskih informacij. Največja prednost tega sistema je v možnosti upoštevanja in prepletanja podatkov različnih strok, saj vemo, da prostorski faktorji niso vezani le sami nase, temveč so vedno v soodvisnosti z drugimi faktorji (npr. - plazenje brežin je med drugim odvisno tudi od poraščenosti terena, ki je odvisna od prsti, ta pa je odvisna med drugim od klime, itd.).

Eden izmed pomembnih virov pridobivanja prostorskih podatkov je daljinsko zaznavanje. Daljinsko zaznavanje omogoča splošen pregled nad obravnavanim območjem, kljub potencialni težki dostopnosti. Obenem omogoča prihranek časa in najrazličnejše aplikacije. Nasproti prednostim stojijo omejitve daljinskega zaznavanja, od katerih je najpomembnejša natančnost podatkov.

Daljinsko zaznavanje

Daljinsko zaznavanje je pridobivanje podatkov o objektu s pomočjo elektromagnetnega valovanja s pomočjo senzorjev na zračnih ali vesoljskih platformah in interpretacija le-teh podatkov.

Prednosti in omejitve daljinskega zaznavanja

Glavne prednosti daljinskega zaznavanja glede na talne raziskave so:

- *splošen pregled* - daljinsko zaznavanje omogoča študijo različnih prostorskih oblik in njihovih odnosov
- *možnost opazovanja težko dostopnih/nedostopnih območij*
- *prihranek časa* - hitrejša pridobitev informacij o večjih ozemljih
- *multidisciplinarnе aplikacije* - podatki se lahko uporabljajo na različnih področjih,
- *zmanjšanje stroškov*
- *razvoj omogoča vedno večjo natančnost dobljenih podatkov*

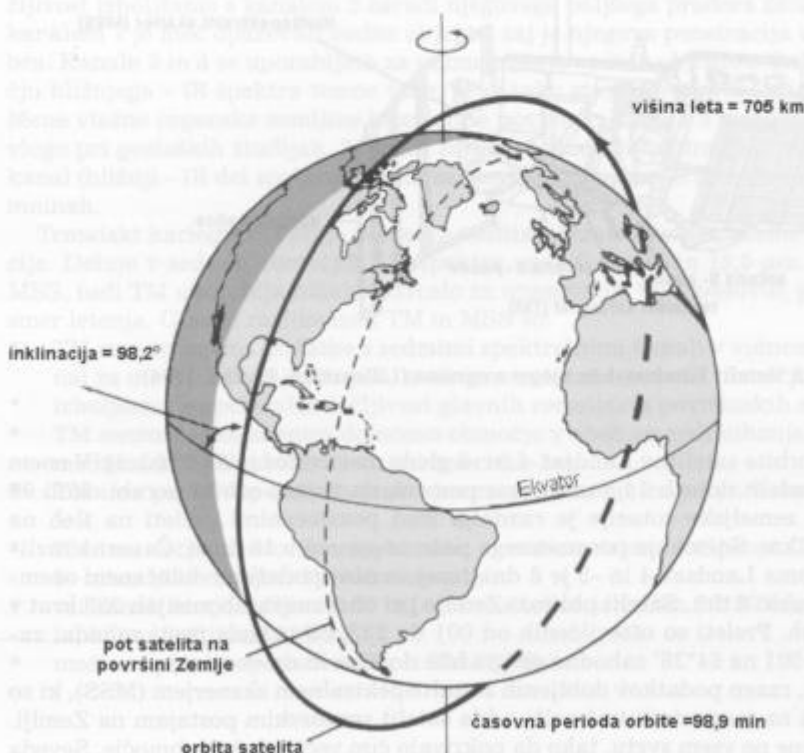
Omejitve daljinskega zaznavanja so:

- zahteve uporabnikov podatkov vedno korak pred tehniko daljinskega zaznavanja
- ločljivost in količina podatkov sta vedno nezadostna.

Misiji Landsat-4 in -5

Kot posledica uspešnih poskusov fotografiranja zemeljskega površja s človeško vodenimi misijami Mercury, Gemini in Apollo, je NASA razvila projekt za orbitalno opazovanje zemeljskih pojavov in zalog brez človeške posadke. Kot že omenjeno, se je projekt prvotno imenoval ERTS, kasneje pa je bil preimenovan v Landsat. S tem projektom je bil postavljen temelj projektom daljinskega zaznavanja in razvoja njegove tehnologije. Glavni razlogi za razvoj tega projekta so bili:

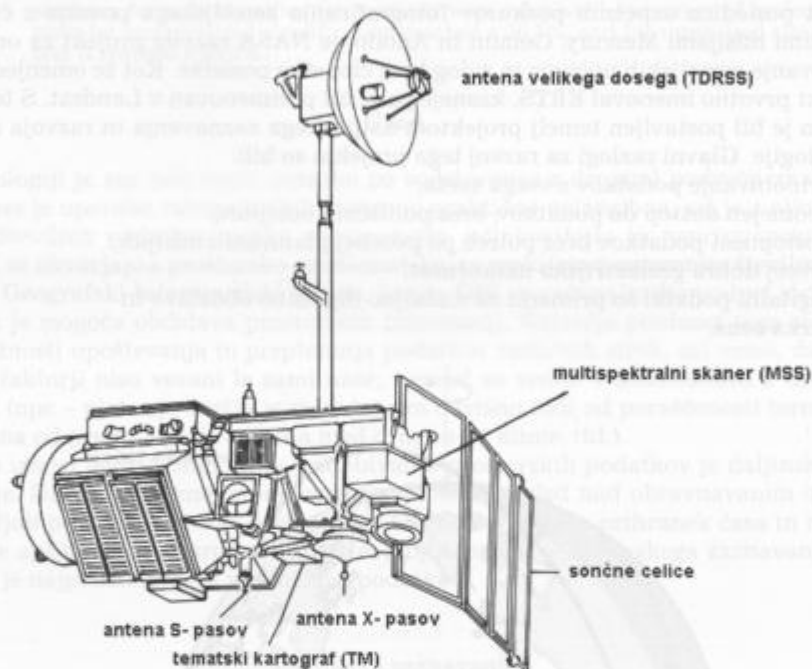
- pridobivanje podatkov z vsega sveta,
- neomejen dostop do podatkov, brez političnih omejitev,
- dostopnost podatkov brez potreb po posebej planiranih misijah,
- precej dobra geometrijska natančnost,
- digitalni podatki so primerni za nadaljno digitalno obdelavo in
- nizka cena.



Sl. 1. Orbita satelita Landsat-4 (Lillesand & Kieffer, 1994)

Orbita

Satelita Landsat-4 in -5 sta bila izstreljena v periodično, cirkularno, Soncu sinhrono, bližnjo polarno orbito. Za razliko od prejšnjih misij je bila orbita spuščena z 900 na 705 km. Vzrok znižanja orbite je bila večja ločljivost dobljenih podatkov in možnost vračanja satelitov na Zemljo z vesoljskim plovilom (Columbia).



Sl. 2. Satelit Landsat-4 in njegova oprema (Lillesand & Kieffer, 1994)

Inklinacija orbite satelitov Landsat-4 in -5 glede na ekvator je $98,2^\circ$ (sl. 1). V enem dnevu preleti satelit dobrih 14,5 orbit, kar pomeni, da za eno orbito porabi okoli 99 minut. Zaradi zemeljske rotacije je razdalja med posameznimi preleti na tleh na ekvatorju 2752 km. Snemanje posameznega pasu se ponovi v 16 dneh. Časovna razlika med satelitoma Landsat-4 in -5 je 8 dni, torej so novi podatki o določenem ozemlju dostopni vsakih 8 dni. Satelit obkroži Zemljo pri obravnavanih misijah 233 krat v šestnajstih dneh. Preleti so oštevilčenih od 001 do 233, od vzhoda proti zahodu, začnši s pasom 001 na $64^\circ 36'$ zahodne geografske dolžine in na ekvatorju.

Vse podatke, razen podatkov dobljenih z multispektralnim skenerjem (MSS), ki so tudi zabeleženi na magnetnih trakovih, odda satelit senzorskim postajam na Zemlji. Te so razporejene po vsem svetu, tako da pokrivajo čim večje možno območje. Seveda ostajajo deli, ki jih senzorske postaje ne zajemajo. To so predvsem območja oceanov in nenaseljena območja.

Oprema satelitov Landsat-4 in -5

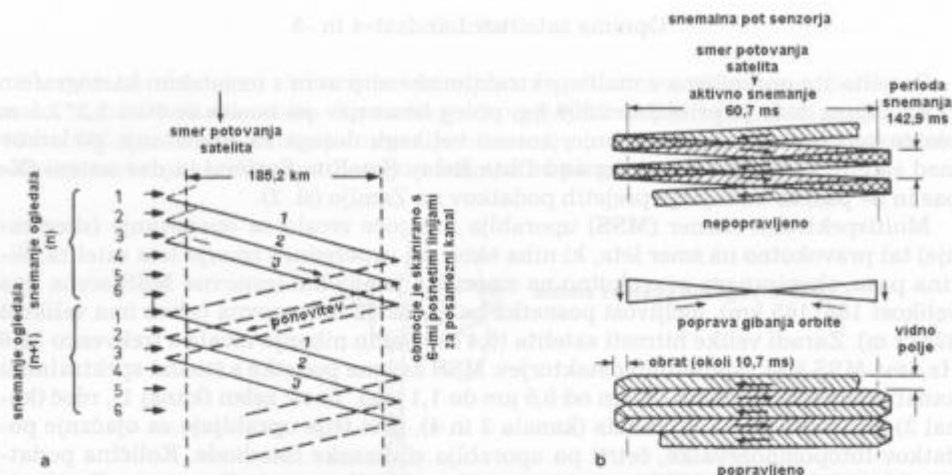
Satelita sta opremljena z multispektralnim skenerjem in s tematskim kartografom (TM). Njuna teža je približno 2000 kg, poleg senzorjev pa nosita še štiri $1,5 \times 2,3$ m plošče sončnih celic za napajanje, anteno velikega dosega za prenašanje podatkov med sateliti (TDRSS - Tracking and Data Relay Satellite System) in dve anteni (X-pas in S-pas) za oddajanje prejetih podatkov na Zemljo (sl. 2).

Multispektralni skener (MSS) uporablja nihajoče zrcalo za opazovanje (skeniranje) tal pravokotno na smer leta, ki niha okoli osi vzporedni s smerjo leta satelita. Širina pasu, skeniranega pravokotno na smer leta je 185 km (osnovna MSS scena ima velikost 185×185 km), ločljivost posnetka pa znaša 82 m (osnovna celica ima velikost 82×82 m). Zaradi velike hitrosti satelita (6,47 km/s) in nihanja zrcala s frekvenco 13,6 Hz, ima MSS šest vzporednih detektorjev. MSS zajema podatke s štirimi spektralnimi kanali (območja valovnih dolžin od 0,5 μ m do 1,1 μ m). To so: zelen (kanal 1), rdeč (kanal 2) in dva bližnja - IR kanala (kanala 3 in 4), prvi trije uprabljajo za ojačanje podatkov fotopomnoževalke, četrti pa uporablja silikonske fotodiode. Količina podatkov, ki jih lahko odda MSS senzor s pomočjo anten X-pasu in S-pasu na Zemljo je 15 Mb/s.

Kanala 1 (zelen) in 2 (rdeč) se uporabljata za opazovanje urbanih območij, kjer ločljivost izboljšamo s kanalom 2 zaradi njegovega boljšega prodora skozi atmosfero. S kanalom 1 je moč opazovati vodne objekte, saj je njegova penetracija v vodo zelo dobra. Kanala 3 in 4 se uporabljata za razmejevanje vodnih objektov. Voda ima v območju bližnjega - IR spektra temne tone, prav tako stoječa voda, močvirja, slabo zaraščene vlažne organske zemljine in asfaltne površine. Kanala 2 in 4 igrata pomembno vlogo pri geoloških študijah, 2. kanal zaradi močnejših kontrastov med podatki in 4. kanal (bližnji - IR del spektra) zaradi zaznavanja prisotnosti ali odsotnosti vode v kamninah.

Tematski kartograf (TM) je predelan multispektralni skener, skener druge generacije. Deluje v sedmih območjih EM spektra, med 0,45 μ m in 12,5 μ m. Prav tako kot MSS, tudi TM uporablja nihajoče zrcalo za opazovanje tal v pasovih, pravokotnih na smer letenja. Glavne razlike med TM in MSS so:

- TM senzor zajema podatke s sedmimi spektralnimi kanali v vidnem (dodan je kanal za modro barvo), bližnjem, srednjem in termalnem-IR območju,
- izboljšana je spektralna ločljivost glavnih zemeljskih površinskih elementov,
- TM senzor lahko skenira določeno območje v obeh smereh nihanja zrcala (sl. 3b), medtem, ko MSS skenira le v eni smeri (sl. 3a),
- TM ima po 16 vzporednih senzorjev za vse kanale, razen za 6. kanal, ki jih ima le 4,
- TM ima večjo prostorsko, spektralno in radiometrično ločljivost. To mu omogoča 8-bitna (256 nivojev) številčna stopnja,
- vsi kanali imajo ločljivost 30 m (osnovna celica je velika 30×30 m), razen 6. kanala, ki ima ločljivost 120 m,
- možnost prenosa podatkov je pri TM 85 Mb/s.



Sl. 3. Smeri skeniranja za MSS (a) in TM (b) (Gupta, 1991)

Kanali 1, 2, 3, 4, 5 in 7 so med drugim namenjeni boljšemu ločevanju lastnosti vegetacije. Kanal 1 se uporablja pri določanju morske globine, kanala 5 in 7 sta idealna za ločevanje kamninskih tipov, kanal 5 se uporablja za ločevanje med oblaki in snegom, kanal 6 pa se uporablja za vrsto aplikacij termalnega kartiranja. Natančnejši podatki so opisani v tabeli 1. Za kanale 1-4, ki se nahajajo na primarni fokusni ravnini, se uporabljajo silikonska tipala, kanali 5-7 pa se nahajajo na sekundarni, ohlajeni fokusni ravnini zaradi povečanja radiometrične občutljivosti. Za kanala 5 in 7 se uporablja indijevo-antimonitovo (InSb) tipalo, za 6. kanal pa se uporablja živo srebrovo-kadmijevo-telurijevo (HgCdTe) tipalo.

Interpretacija podatkov

Z obdelavo posnetkov in fotografij dobimo skupine rezultatov za nadaljno interpretacijo in aplikacije. Dobljene rezultate se pošlje skozi postopek določitve geotehničnih elementov, kot so oblikovanost pokrajin, vodnih mrež, zemljin, vegetacije in njihovih razpoznavnih znakov, ki so barvni toni, tekstura, oblika, velikost, sence, vzorci in sorodstvene povezave. Način pojavljanja objekta na sliki je odvisen od območja zaznavanja senzorja, v tem primeru senzorjev MSS in TM. Vsi štirje kanali multispektralnega skenerja spadajo v skupino, ki zaznava valovne dolžine območja sončevega odboja, pri tematskem kartografu pa sodi v to skupino šest kanalov (modri, zeleni, rdeči, bližnji - IR in dva kanala za srednji - IR del spektra). Sedmi spada v termalno - IR območje. Različni objekti imajo različne razpoznavne lastnosti. Te so za posamezne objekte podane v tabeli 2.

Tabela 1. Območja delovanja TM senzorjev misij Landsat-4 in -5
(Lillesand & Kiefer, 1994)

KANAL	λ (Mm)	SPEKTER	OSNOVNE APLIKACIJE KANALOV
1	0,45- 0,52	moder	Dobra penetracija vodnih teles; uporaben za obalno kartiranje, ločevanje poraščenih delov od golih, kartiranje tipov gozdov, opazovanje urbanih področij.
2	0,52- 0,60	zelen	Uporaben za merjenje vrhov zelene odbojnosti vegetacije za njeno ločevanje in ocenjevanje moči rasti, opazovanje urbanih območij.
3	0,63- 0,69	rdeč	Uporaben v območju zaznavanja absorpcije klorofila za ločevanje rastlinskih vrst, opazovanje urbanih območij.
4	0,76- 0,90	bližnji- ir	Uporaben za ugotavljanje tipov vegetacije, količine biomase, razmejevanje vodnih teles in za ločevanje zemljin glede na vsebnost vlage.
5	1,55- 1,75	srednji - ir	Uporaben za določanje vsebnosti vlage v rastlinah in zemljinah, ločevanje oblakov od snega.
6	10,4- 12,5	termalni- ir	Uporaben pri analiziranju količine vegetacije, ločevanje zemljin glede na vsebnost vlage in za aplikacije termalnega kartiranja.
7	2,08- 2,35	srednji- ir	Uporaben za ločevanje mineralov in kamnin in za določanje rastlinske vlage.

Interpretacija podatkov, posnetih v termalnem - IR območju

EM valovanje v območju od 3 μm do 35 μm imenujemo termalno - IR valovanje. Tako se imenuje zato, ker zajema zemeljsko sevanje, kot posledico njene lastne toplote, močnejše od energij odboja sončevega sevanja. Uporabne dele območja od 3 μm do 35 μm omejujejo pojavljanja atmosferskih oken (Gupta, 1991). Pri normalnih zemeljskih temperaturah ima sevanje črnega telesa vrh med 9 μm in 10 μm , atmosferska okna pa ležijo med 3 μm in 5 μm , med 8 μm in 14 μm in med 17 μm in 25 μm . Interpretacija podatkov v območju med 3 in 5 μm je zapletena zaradi prekrivanja z območjem sončevega odboja, območje med 17 in 25 μm pa še ni dovolj raziskano. Območje zajema podatkov je najprimernejše med 8 in 14 μm , za satelitsko opazovanje pa je območje opazovanja zaradi ozonske absorpcije pri 9,6 μm skraćeno na del spektra med 10,4 in 12,6 μm . Količina zemljine sebane energije je odvisna od dveh faktorjev, *površinske temperature* in *stopnje izžarevanja*.

Površinska temperatura, imenujemo jo tudi kinetična temperatura, je odvisna od dveh skupin faktorjev, *toplotnih energijskih virov* in *termodinamičnih lastnosti materialov* (tabela 3).

Tabela 2. Razpoznavne lastnosti objektov (Gupta, 1991)

OBJEKT	MODRA λ	ZELENA λ	RDEČA λ	BL-IR λ	SR-IR 1 λ	SR-IR 2 λ	OPOMBE
<u>listnat gozd</u>		temen	zelo temen	svetel	svetel	temnejši	
<u>iglast gozd</u>		temen	zelo temendo	srednji temen	svetel	temnejši	lisast
<u>goli gozd</u>		svetlo siv	srednje siv do svetel	temni toni			
<u>njive, polja</u>		siva	sr. siva	svetla	svetlo siva	svetlo siva	ogolata polja, vzorci
<u>voda:</u> čista, globoka	temna	temna	črna	črna	črna	črna	
plitva, motna	svetla	svetla	siva	črna	črna	črna	
<u>zemljina:</u> neobdelana	svetla	svetlo siva	svetlo siva	temnejša	siva	temnejša	vzorci
močvirnata		svetlo siva	svetlo siva	temno siva do črna			nepravil., zaplate, mejijo na vodo
<u>sneg:</u> svež	bel	bel	bel	bel	zelo temen	zelo temen	
umazan, stopljen	bel	bel	bel	zelo temen	zelo temen	zelo temen	
<u>urbana območja</u>	svetla	svetlo siva	siva	temnejša			značilni vzorci
<u>infrastruktura</u>	svetlejša	svetlejša	svetlejša	temnejša			linearni vzorci
<u>gole kamnine</u>	svetlejše	svetlejše	sive	sive			
<u>limonit</u>	zelo temen	zelo temen	svetel	svetel			
<u>gline</u> (kaolinit)	svetle	svetle	svetle	svetle	svetle	zelo temne	

Aplikacije širokopasovnega daljinskega zaznavanja v geologiji

Geomorfologija

Geomorfološke značilnosti terena je najlažje opazovati na nočnih posnetkih zaradi razlik v temperaturah, ki so posledica nadmorske višine, vlage v tleh in vegetacije. Nasprotno temu pa dajo dnevni posnetki več podatkov o reliefu.

Tabela 3. Fizikalni faktorji vpliva na stopnjo izžarevanja in kinetično temperaturo materialov (Ellyett in Pratt, 1975)

SPREMENLJIVKA	FIZ. LASTNOSTI	TALNI IN ATM. FAKTORJI	PODFAKTORJI
stopnja izžarevanja	sestava	tip kamnine, zemljine, vegetacije	
	površinska geometrija	površinska oblika talnih objektov	
kinetična temperatura	fizikalne toplotne lastnosti materialov	sestava kamnin, zemljin velikost delcev in poroznost vsebnost vlage	
	Faktorji energijskih virov	sončevo ogrevanje	letni čas zemljepisna širina oblaki višina sonca lokalni čas topografija in orientacija albedo atmosfersko vpijanje
		dolgo-valovno sevanje in prenos toplote na stiku ozračja in zemljine površine	temperatura tal
			stopnja izžarevanja temperatura ozračja hitrost vetra vlažnost temperatura neba oblaki dež nadmorska višina
		aktivni toplotni viri	vulkani fumarole, gejziri ogenj, termalni onesnaževalci

Strukturno kartiranje

Termalno- IR posnetki so nadvse uporabni pri strukturnem kartiranju. Strukturne oblike kot so prelomi, narivi ipd. so opazne zaradi termalnih lastnosti kamnin. Plastovitost in foliacija tvorita na posnetkih subparalelne linije zaradi razlik v kontrastu tvornih plasti. Prelomi in lineamenti so lahko povezani z izviri ali z gibanjem vode proti površini. Ti pojavi povzročajo evaporacijsko ohlajanje vzdolž prelomov.

Litološko kartiranje

Pri litološkem kartiranju je tako kot pri strukturnem glavni faktor omejitve ločljivost posnetkov, ki znaša za 6. kanal LANDAST-ovih posnetkov 120 m. Zaradi tega se podatki, dobljeni s satelitskim daljinskim zaznavanjem v termalno - IR območju, le redko uporabljajo za taka kartiranja. Ker na termalne posnetke močno vpliva vlaga na površini, jih uporabljajo tudi za hidrogeološke raziskave talne vlage, plitvih vodonosnikov, jezer in izlivov sladke vode v morje.

Aplikacije v inženirski geologiji

Podatki, dobljeni pri daljinskem zaznavanju, se v vedno večji meri uporabljajo tudi v inženirski geologiji. To omogoča predvsem splošen pregled, ki ga učinkovito uporabljamo pri napovedovanju geoloških tveganj in podajanju možnih alternativ in rešitev. Pridobivanje podatkov skozi neko časovno obdobje omogoča spremljanje sprememb skozi čas in možnost analiz vrste „KAJ PA ČE?“.

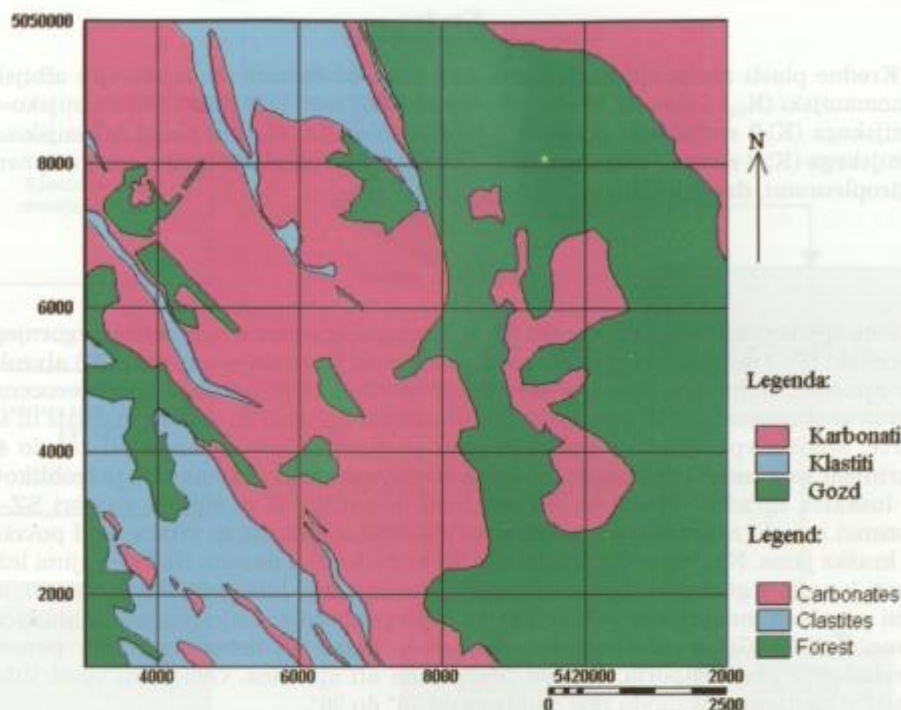
Inženirsko geološki problem določa stopnjo obravnavanja posameznih geoloških oblik in faktorjev. Podatki, ki jih običajno iščemo na satelitskih posnetkih so oblike reliefa, topografija, vodne mreže, litologija, strukture, orientacija, tipi zemljin, prisotnost površinske vlage in lastnosti preperevanja, uporabljajo pa se za:

- določanje obstoječih in napovedi možnih območij plazenj
- določanje najprimernejših tras linijskih objektov
- ocenjevanje ogroženosti zaradi potresov na podlagi neotektonike.



Sl. 4. Položaj obravnavanega območja

Fig. 4. Location of studied area and its surroundings



Sl. 5. Karta stanja na površini

Fig. 5. Real ground data

Obravnavano območje

Vir posnetkov, uporabljenih v tem prispevku so satelitski posnetki iz leta 1993, narejeni s tematskim kartografom (TM) satelita Landsat 5. Obravnavano območje Črna Kala (sl. 4) je bilo izbrano zaradi svoje pestre geologije, saj sestoji iz karbonatnih kamnin kredne starosti (apnenci in dolomiti; vzhodni del območja), paleocenskih apnencev (osrednji del območja) in klastitov (osrednji severni in jugozahodni del območja). Posamezne kamnine so bile združene glede na njihove litološke značilnosti. Gozd predstavlja pomembno oviro pri daljinskem zaznavanju, zato smo ga vključili v karto stanja na površini (sl. 5).

Geologija obravnavanega območja

Kamnine, ki sestavljajo obravnavano območje so kredne, paleocenske, eocenske in kvartarne starosti. Vir podatkov o geologiji je OGK SFRJ Trst ($M = 1:100.000$) (Ple ni č ar et al. 1965) in Tolmač lista OGK SFRJ Trst (Ple ni č ar et al. 1965).

Kreda

Kredne plasti zastopajo karbonatne kamnine, od katerih so najstarejše albijsko-cenomanijski ($K_{1,2}$) dolomiti, breča in apnenec. Nad temi leže plasti cenomanijsko-turonjskega (K_3^1) rudistnega apnenca z vložki dolomita. Sledijo plasti turonjsko-senonijskega (K_3^2) sivega in temno sivega apnenca, tem pa plasti temno sivega apnenca z giropleurami, danijske starosti (K_3^3).

Paleocen, eocen

Sem spadajo spodnjepaleocenski ($_{1}Pc_1$) kozinski apnenec s haracejami, zgornjepaleocenski (Pc_2) miliolidni apnenec, spodnjeeocenski in srednje-eocenski (E_1) alveolinski apnenec, numulitni apnenec (Pc, E) in foraminiferni apnenec spodnjeeocenske (E_1) in srednjeeocenske (E_2) starosti. Foraminiferni apneneci so debeloplastnati in sive barve. Splošni vpad plasti prevladuje proti severovzhodu v naklonih od 20° do 40° . Narinjeni so v smeri proti jugozahodu na srednjeeocenski fliš, tako da je izoblikovana luskasta zgradba. Luske ter osi sinklinal in antiklinal se vlečejo v smeri SZ-JV. Apneneci so zelo zakraseli, na površini se pojavljajo škraplje in vrtače, pod površino pa kraške jame. Na dnu vrtač je apnenec prekrit s kraško ilovico. Nad slednjimi ležijo plasti laporja z globigerinami srednjeeocenske (spodnje lutecijske) (E_2) starosti, nad temi pa plasti menjavanja peščenjaka in laporja srednje serije eocenskih klastičnih kamnin (fliš). Fliš srednjeeocenske starosti je tanko ali debelo plastnat, ponekod prevladujejo plasti laporja, drugod peščenjaka ali apnenca. Generalni vpad flišnih plasti je proti severovzhodu pod nagibom od 20° do 30° .

Kvartar

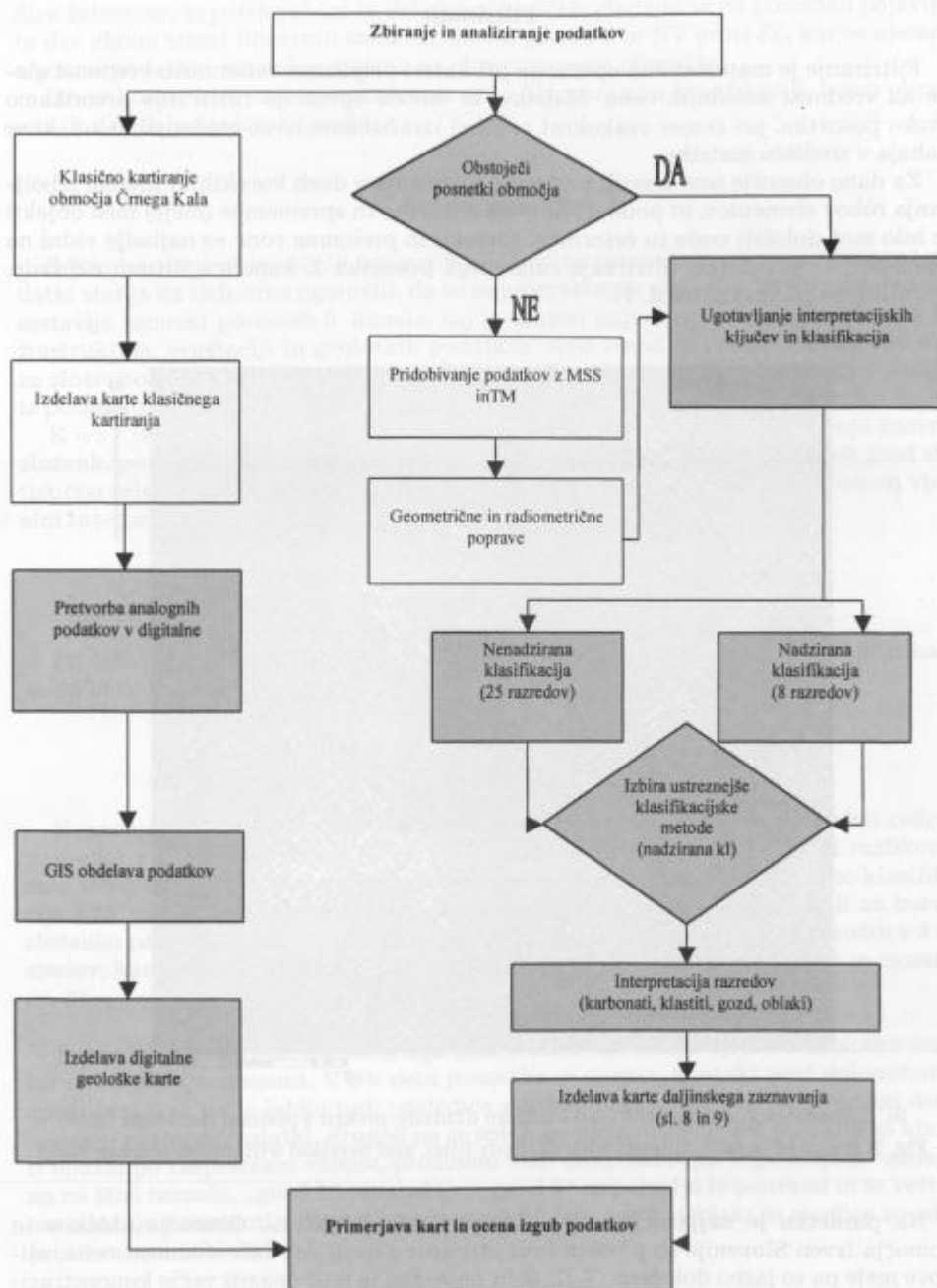
Flišna pobočja so ponekod prekrita z glinasto-grušnatimi nanosi s pobočij (Q_2) debeline od enega do več metrov. Grušč je ponekod sprijet v pobočno brečo.

Digitalna obdelava rastrskih posnetkov obravnavanega območja

Sl. 6 prikazuje izdelavo karte daljinskega zaznavanja za območje Črnega Kala in primerjavo rezultatov tega postopka z rezultati klasičnega geološkega kartiranja. Senčena polja ozančujejo izvedene korake na obravnavanem območju.

Raztegovanje kontrasta

Pri tej metodi se posnetkom umetno razširi številčni interval vrednosti celic. Za posnetke območja Črnega Kala smo uporabili metodo *histogramskega raztega*, pri kateri se natančneje razdeli vrednosti, ki se večkrat pojavljajo na posnetku (območja večje koncentracije celic). Posledica tega postopka so večje razlike in poudarek kontrasta med celicami na posnetku. Metoda je zelo uporabna za določevanje in izločevanje oblikov, ki predstavljajo oviro (s 1. kanalom), njihovih senc (s 4. in 5. kanalom) in za določitev gozdne površine (s 6. in 7. kanalom), služi pa le kot pomoč pri nadaljni obdelavi.

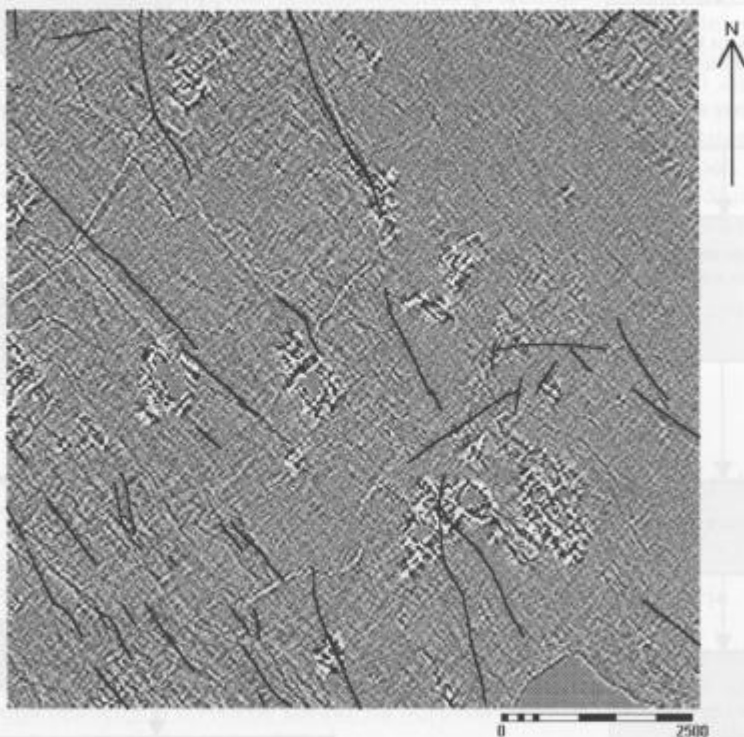


Sl. 6. Postopek izdelave karte daljinskega zaznavanja

Filtriranje

Filtriranje je matematična operacija pri kateri pripišemo celici novo vrednost glede na vrednost sosednjih celic. Matriko, ki določa operacijo filtriranja premikamo preko posnetka, pri čemer vsakokrat posebej izračunamo novo vrednosti celici, ki se nahaja v središču matrike.

Za dano območje smo izvedli postopek filtriranja v dveh korakih. S filtrom izboljšanja robov elementov, ki poudari linijske elemente in spremembe (meje) med objekti je bilo moč določiti ceste in železnico. Prelomi in prelomne cone so najbolj vidni na posnetku, ki je rezultat filtriranja osnovnega posnetka 2. kanala s filtrom $d2fdxdy$. Rezultati so prikazani na sl. 7.



Sl. 7. Posnetek 2. kanala, filtriran s filtrom $d2fdxdy$, prekrit s prelomi (temnejše linije)
 Fig. 7. Image of band 2, filtered with $d2fdxdy$ filter, and overlaid with faults (darker lines)

Na posnetku je najjasneje vidna linearna infrastruktura. Območja oblakov in območja izven Slovenije so povsem brez struktur zaradi enotnih vrednosti celic, njihove meje pa so jasno določene. V JZ delu posnetka je moč opaziti večjo koncentracijo linij v dinarski smeri (SZ-JV). To območje sestavljajo večinoma klastične kamnine. Zelo opazen je prelom med klastiti in karbonati v osrednjem vrhnjem delu posnetka. Tu se poraja vprašanje, ali je ta linearna struktura posledica preloma ali pa je posledica

dica železnice, ki poteka skozi ta del območja. Širše gledano se na posnetku pojavljata dve glavni smeri linearnih struktur, od SZ proti JV in NV proti JZ, kar se ujema z znanimi podatki o smereh pritiskov na obravnavanem območju.

Drugi korak, kjer smo uporabili operacijo filtriranja po klasifikaciji, bomo obravnavali v nadaljevanju prispevka.

Barvne zloženke

S kombiniranjem različnih osnovnih kanalov in primerjavo z vektoriziranimi podatki stanja na tleh, smo ugotovili, da so najuporabnejše zloženke, ki jih med drugimi sestavlja osnovni posnetek 6. kanala, saj le-ta nosi največ uporabnih podatkov o infrastrukturi, vegetaciji in geoloških podatkih. Med vsemi barvnimi zloženkami smo za zloženko iz posnetkov kanalov 2, 4 in 6 izbrali nadzirano klasifikacijo, za zloženko iz posnetkov kanalov 1, 2 in 7 pa nenadzirano klasifikacijo.

K o s t w i n d e r (1995) ne uporablja posnetka 6. kanala pri sestavljanju barvnih zloženek, po drugi strani pa daje prednost vizualni selekciji barvnih zloženek pred statistično selekcijo. Posnetek 6. kanala smo uporabili, ker smo dali večji pomen vizualni interpretaciji.

Klasifikacija posnetkov

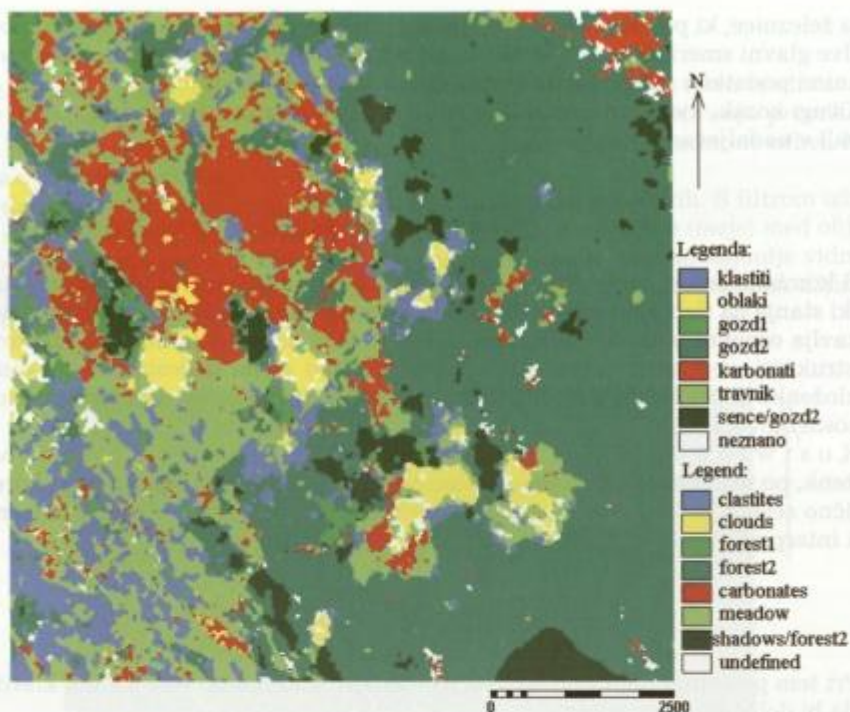
Pri tem postopku digitalne obdelave podatkov smo izvedli oba načina klasifikacije, da bi določili ustrežnejšega.

Nenadzirana klasifikacija

Nenadzirana klasifikacija je metoda pri kateri računalnik sam porazdeli celice s posnetka v razrede glede na njihove vrednosti. Namen prispevka je bil razlikovati med seboj karbonate, klastite in gozd, zato smo se odločili za nenadzirano klasifikacijo s 25 razredi. Kot že omenjeno, smo nenadzirano klasifikacijo izbrali za barvno zloženko posnetkov 1, 2 in 7. Po končani klasifikaciji smo 25 razredov združili v 8 razredov; karbonate, klastite, gozd 1, gozd 2, travnik, oblaki, sence/gozd 2 in neznano (sl. 8).

Porazdelitev razreda imenovanega „karbonati“ se dobro ujema z litološko enoto foraminifernega apnenca. V SV delu posnetka je opazen kontakt med dolomitom in apnencem, kar pa je lahko tudi posledica gozdne meje. „Klastiti“ se ponekod dobro ujemajo s talnimi podatki, drugod pa se sploh ne ujemajo. Bolj kot po barvi so klastiti opazni po razpršenem vzorcu, predvsem v JZ delu območja. Vegetacija je razdeljena na štiri razrede, „gozd 1“ prevladuje, „gozd 2“ se pojavlja le ponekod in se večinoma združuje s sencami v razred „sence/gozd 2“ in travnik. Oblaki in meglice so združeni v razred „oblaki“.

Barva	1	2	3	4	5	6	7	8
Opis	Karbonati	Klastiti	Gozd 1	Gozd 2	Travniki	Oblaki	Sence/gozd 2	Neznano



Sl. 8. Nenadzorovano klasificirana barvna zloženka osnovnih posnetkov kanalov 1, 2 in 7, filtrirana z večinskim filtrom

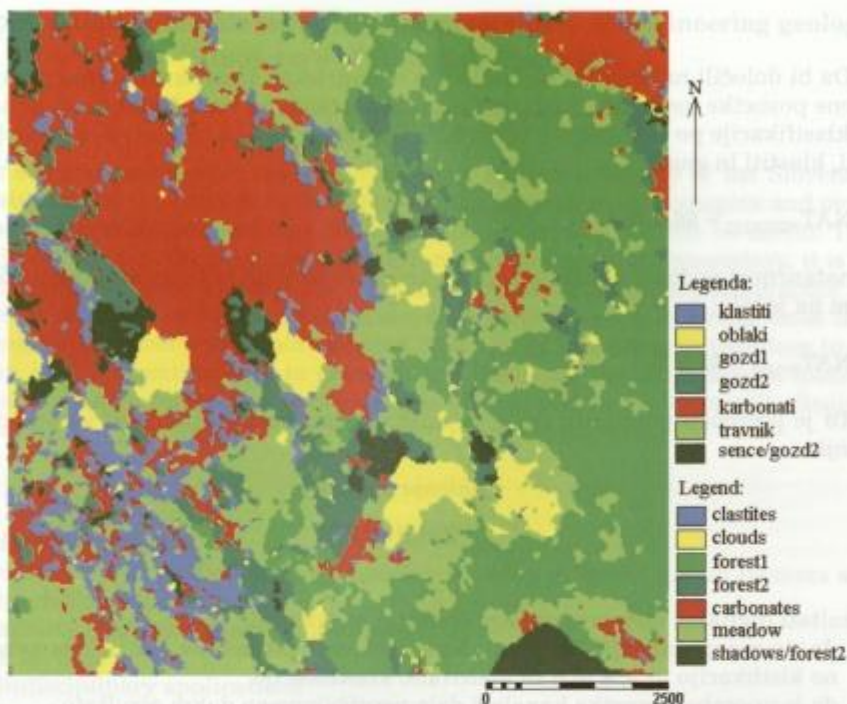
Fig. 8. Color composite of bands 1, 2 and 7, classified with unsupervised classification, filtered with the majority filter

Nadzirana klasifikacija

Pri nadzirani klasifikaciji uporabnik določi učne celice, ki predstavljajo reprezentativne vrednosti za posamezne razrede. Na podlagi teh nato računalnik razdeli ostale celice v razrede, katerim so celice najbolj podobne. Celice, ki niso podobne nobenemu razredu so definirane kot neznane. Metodo nadzirane klasifikacije smo izbrali za barvno zloženko osnovnih posnetkov kanalov 2, 4 in 6. Za vsak razred je bilo izbrano zadostno število učnih celic (minimalno $10n$, kjer je n število osnovnih posnetkov v zloženki) (tabela 4).

Tabela 4. Število učnih celic za posamezni razred

razred	karbonati	gozd 1	gozd 2	klastiti	oblaki	sence - gozd 2	travnik
št. učnih celic	1928	2836	110	31	381	386	156



Sl. 9. Nadzorovano klasificirana barvna zloženka osnovnih posnetkov 2, 4 in 6 kanala, filtrirana z večinskim filtrom

Fig. 9. Color composite of bands 2, 4 and 6, classified with supervised classification, filtered with majority filter

Rezultati nadzirane klasifikacije so prikazani na sliki 9. V SZ delu območja se razred „karbonati“ zelo dobro ujema podatki stanja na površini (sl. 5). Območje „klastitov“, ki v osrednjem severnem delu območja ločuje karbonate, se prav tako dobro ujema z dejanskim stanjem na tleh, na drugih delih posnetka pa o ujemanju ne moremo govoriti, ker je ta slaba ali pa je ni. Vegetacija se pri nadzirani klasifikaciji pojavlja nekoliko drugače kot pri nenadzirani. Tu zasedata večje območje razreda „travnik“ in „gozd 2“, celic razreda „gozd 1“ pa je manj. Oblaki in sence so locirani na istih mestih, kot pri nenadzirani klasifikaciji. Zanimivo je, da prav nobena celica ni bila klasificirana v razred „neznano“.

Postklasifikacijska poprava posnetkov

Po izvedeni klasifikaciji celic na posnetku, smo dobljene posnetke (podobe) filtrirali še z večinskim filtrom, ki ima velikost matrike 3×3 polja. Ta pripiše obravnavani (sredinski) celici večinsko vrednost (vrednost, ki se največkrat pojavlja) glede na vse celice v matriki. S to metodo se znebimo razpršenosti podatkov. Rezultata sta prikazana na sl. 8 in 9.

Natančnost klasifikacij

Da bi določili natančnost nadzirane in nenadzirane klasifikacije, smo prekrili dobljene posnetke (podobe) s podatki dejanskega stanja na tleh. Natančnost nenadzirane klasifikacije po filtriranju z večinskim filtrom je bila za tri glavne razrede (karbonati, klastiti in gozd):

$$\text{NAT}_{\text{NENADZ}} = 56,5 \%,$$

natančnost podobe, dobljene z nadzirano klasifikacijo in filtrirane z večinskim filtrom pa je bila:

$$\text{NAT}_{\text{NADZ}} \approx 65,2 \%.$$

Tu je potrebno poudariti, da je dejanska natančnost (natančnost za vse razrede) manjša.

Zaključki

Rezultati digitalne obdelave danega območja so pokazali:

- da sta najuporabnejši barvni zloženci osnovnih posnetkov 1, 2 in 7 za nenedzirano klasifikacijo in 2, 4 in 6 za nadzirano klasifikacijo,
- da je uporaba posnetka kanala 6 dala nepričakovano dobre rezultate,
- veliko uporabnost linearnih in večinskih filtrov.

Kljub uporabi Landsat TM satelitskih posnetkov, ki imajo slabšo ločljivost (30 m), je naloga pokazala njihovo koristnost in uporabnost, ki lahko služi geologu pri njegovem terenskem delu in sintezi prostorskih podatkov.

Daljinsko zaznavanje je uporabno:

- pri določanju lokacij izdankov in erozijskih con, kar je lahko v veliko pomoč geologu pri načrtovanju terenskega dela (gostota kartiranja ali vzorčevanja glede na zapletenost geologije),
- pri določanju območij poraslih z vegetacijo, kjer je potrebno detajlnejše kartiranje,
- pri določanju glavnih tektonskih elementov (prelomov in narivov) z linijskimi filtri,
- pri določanju možnih kontaktov med različnimi litološkimi členi, ki se razlikujejo v barvi, trdnosti in tipu vegetacijskega pokrova,
- kot pomoč pri ugotavljanju dejanskih geoloških mej (redkeje).

V prihodnosti, ko bodo imeli posnetki s satelitov večjo ločljivost (1×1 m ali manj) in bodo metode digitalnih obdelav teh posnetkov ob uporabi nevronske mreže in drugih analitičnih orodij natančnejše, bo uporabnost daljinskega zaznavanja še večja kot je danes.

The application of remote sensing - satellite imagery in engineering geology (study area of Črni Kal, Slovenia)

Preface

After some attempts were made several years ago, the majority of the Slovenian geologists came to the conclusion that our territory is geologically complex and overgrown with forest to the level that the use of remote sensing can not be useful. This belief almost stopped the progress in field of remote sensing (RS). Nowadays, it is time to ruin this purposeless conviction. The improvement of modern photographic techniques, computer processing, GIS, AI, etc. gives us now new, very strong tools, that prove great applicability of remote sensing. The aim of this paper is therefore to do first step in this direction, and to show on practical case the usefulness of modern methods. For this intention we chose an area of Črni Kal in the Primorska Region, Slovenia.

Remote sensing

Main advantages of RS:

- synoptic view of studied area - possibility to study different spatial features and their relationships
- possibility to observe inaccessible areas
- time savings
- multidisciplinary applications
- cost savings
- development of remote sensing technologies enables improvements in accuracy

Disadvantages of RS:

- demands of users/customers are always one step ahead of RS technology - resolution and wideness of provided data are always insufficient

Study area

Satellite images used in this paper were taken from platform Landsat 5 with the *thermal mapper* (TM). From the georeferenced mosaic of TM images of Slovenia, taken in summer 1993, the study area of Črni Kal (fig. 4) was selected due to its relative rich geologic structure. Area consists of cretaceous carbonates (limestone and dolomite; right part of the image), paleocene limestones (centre of the image), and of clastites (lower left corner of the image). Since forest cover is an important obstacle in RS, it was included in the ground data image as well (fig. 5).

Digital processing of raster images of the study area

In the flowchart below (fig. 10) a process of producing and evaluating a map of Črni Kal area is presented. Shaded fields represent steps that were made on the images of study area.

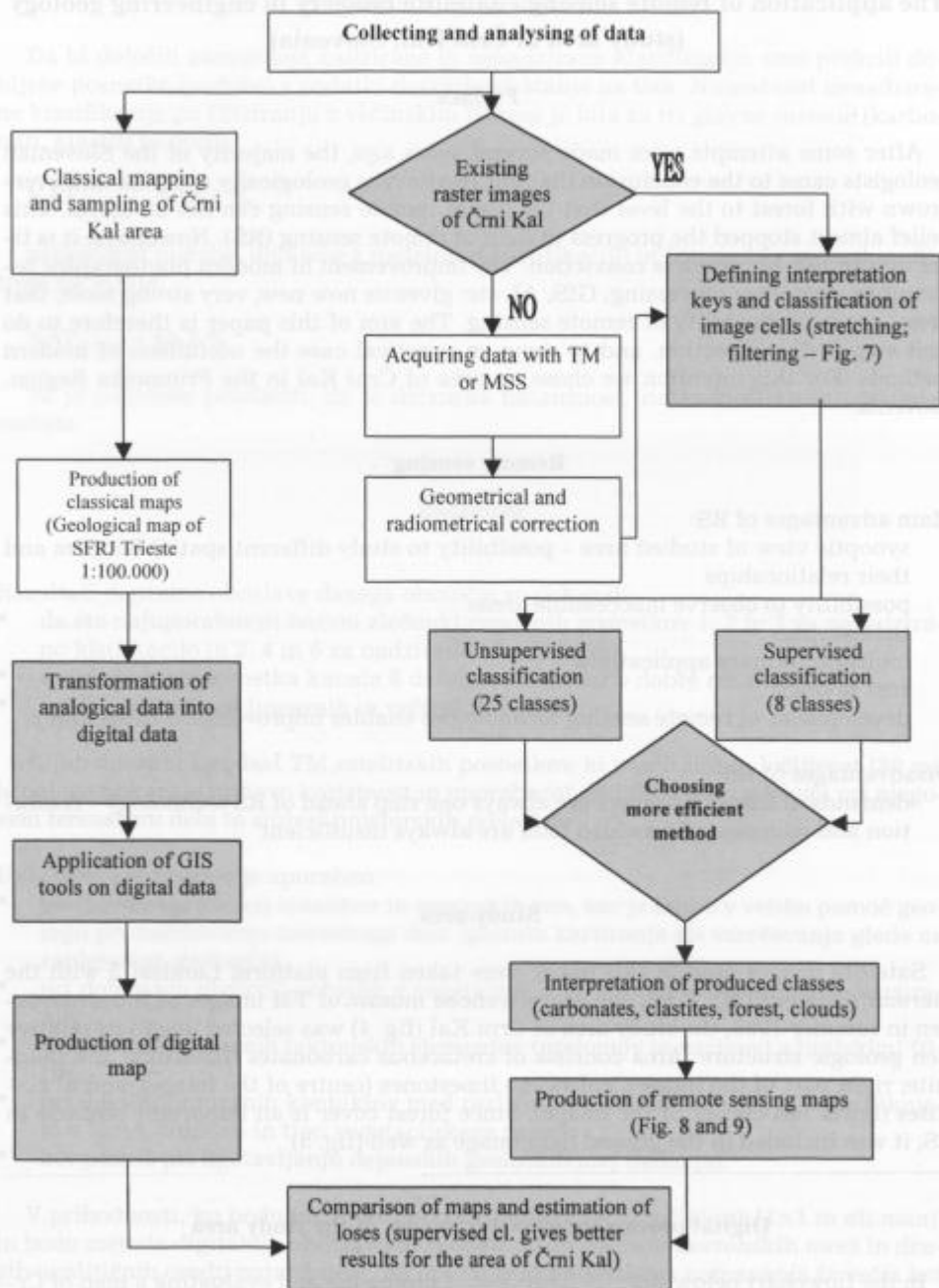


Fig. 10. Process of producing and evaluating a RS map of studied area

Stretching of contrast

For the stretching process of the study area a method of *histogram equalisation stretching* was used, since it stretches the values depending on value concentration in primary image thus emphasising contrasts and differences in image. This was useful in the separation of clouds that represent obstacles (with band 1), with stretched bands 4 and 5 shadows from the clouds were defined, and with bands 6 and 7 forest cover was determined. This method was used solely as help for further image processing.

Filtering

Filtering in two steps was performed. First filter functions to determine linear structures in the studied area were used. With filter *edge enhancement* (original minus Laplace -3×3 matrix) emphasising the entity edges, very good results in locating roads and railway were achieved. Faults and fault zones were better seen on image filtered with *d2fdxdy* filter (5×5 matrix - $d^2 \dots / dx dy$). The results are shown in fig. 7.

Linear infrastructure is clearly defined (most obvious linear entities). Areas of clouds and those outside of Slovenia are completely without structures because of the unique value of cells, but their margins are well defined. In the lower left corner of the image, a higher concentration of lines can be seen, that stretch in the Dinaridic direction (NW-SE). This area consists mainly of clastic rocks. In the middle upper part of the image, a fault on the contact of clastites and carbonates can be seen. Here, a question arises, whether this linear structure is a result of a railway that lies there, or it shows fault structure. Interpretation could also be that linear infrastructure elements often run along fault zones. Wider approach shows that two main directions of linear structures are present in the image, NW-SE and NE-SW. This information coincides with directions of major pressures in the studied region.

Second step, which will be dealt with later in this paper, was using filtering after the classification.

Colour composite

With combining different bands and overlaying them with vectorized ground data it was established that colour composites that consist of band 6 carry most useful data because they more clearly present infrastructure, vegetation and geological data, and hence they would be most suitable for further processing. Colour composites of bands 2, 4 and 6 for supervised, and colour composite of bands 1, 2 and 7 for unsupervised classification were chosen.

K o s t w i n d e r (1995) does not use band 6 for colour composites, but on the other hand he thinks that the visual selection of colour composites is more important than the statistical selection. We used band 6 because we gave privilege to visual interpretation.

Major defectiveness of program package that we used was possibility of combining only three raster images or bands.

Classification of images

In this step of digital image processing both methods of classification were performed to define most appropriate procedure.

Unsupervised classification

Since main purpose of this paper was to differentiate carbonates, clastites and forest, it was decided that 25 classes would be sufficient for successful classification. The colour composite used for unsupervised classification was made of histogram stretched bands 1, 2 and 7. After classification, 25 primary classes were joined into 8 classes; Carbonates (red), Clastites (cyan), Forest 1 (light green), Forest 2 (dark green), Meadow (meadow green), Clouds (yellow), Shadows / Forest 2 (black) and undefined (white) (Fig. 8).

Distribution of class that was named „Carbonates“ matches very well with lithological unit of foraminiferous limestone. In the upper right corner the contact of limestone and dolomite is visible though is possible that this difference derives from a forest boundary. „Clastites“ match in some places with ground data, whilst in other parts of image they do not match at all. More than by their colour, the clastites can be detected by scattered pattern, which is seen in the lower left corner of the image. Vegetation is divided into four classes, „Forest 1“ that prevails, „Forest 2“ that is located only in some parts, and is often combined with shadows from the clouds, and „Meadow“. Clouds and fogs are combined in class „Clouds“.

Supervised classification

With supervised classification, user defines learning cells, which are then representative samples (numerical descriptions) for different classes. Computer then classifies each cell into class that the cell is most similar to. Cells that do not match with any of the classes are valued as unidentified cells. For this type of classification the colour composite of bands 2, 4 and 6 was chosen. For each class a sufficient number (minimum $10n$, where n is number of bands) of learning cells were selected (table 5).

Table 5. Number of learning cells for each class

class	carbo- nates	forest 1	forest 2	clastites	clouds	shadows - forest 2	meadow
Nr. learning cells	1928	2836	110	31	381	386	156

Result of supervised classification is shown in fig. 9. In the upper left quarter of the image, „carbonates“ match with real ground data. Area of „clastites“ that divide carbonates in the middle upper part of the image match almost perfectly with the

ground data. In the other locations, „clastites“ match poorly with ground data, if at all. Vegetation is arranged differently than with unsupervised classification. Here more „meadow“ and „forest 2“ is present, on account of „forest 1“. Shadows and clouds are located on same spots, like with unsupervised classification. It is interesting, that not one cell was classified as undefined.

Postclassification correction of data

After classification was done, filtering with the majority filter was applied onto classified images. The majority filter (3×3 matrix) selects the predominant (most frequently occurring) value or class for each cell from the surrounding cells and assigns that cell into the predominant class. The results are fig. 4 and 5.

Accuracy of classification

To get accuracy of unsupervised and supervised classifications, the resulted images had to be overlaid with real ground data. Accuracy of unsupervised classification for three major classes after filtering with the majority filter was:

$$ACC_{\text{unsup}} = 56,5\%$$

Accuracy for the image produced with supervised classification after filtering with the majority filter was:

$$ACC_{\text{sup}} = 65,2\%$$

It has to be stressed out at this point, that the actual accuracy (for all classes) is lower.

Conclusions

Results of digital image processing of the study area have shown that:

- the most appropriate colour composite for supervised classification was that of 2nd, 4th and 6th band, and for unsupervised classification that of 1st, 2nd and 7th band,
- band 6 showed unpredictably good results,
- great usefulness of linear and majority filters.

Tests of applicability of RS on area of Črni Kal, despite the use of TM images that can provide us with only coarse data, have shown some results, which are useful for geologist in his filed work and for synthesis of spatial information.

RS is useful for:

- determination of bare rock sites and erosion zones, which enables better planning of field work (density of mapping due to complexity of geology),
- determination of areas covered with vegetation, where more detailed mapping in necessary,
- defining general tectonic elements (faults and thrusts) with linear filter,

- determination of probable contacts between different lithological types that differ in colour, solidness and types of vegetation cover
- assistance at establishing actual geologic boundaries (seldom mapping).

In the future, when satellites with accuracy of 1×1 m will be launched, and with use of better digital image processing software and other analytical tools as neural networks, etc., the applicability of RS will surely be improved.

If we compare results with classification with seven bands (H a f n e r & K o m a c, 1998), the conclusion is that higher number of used bands and application of neural network technology give better results, even if only for few percents. It is not necessary to emphasise how important each percent is when dealing with accuracy.

Literatura/References

- Christensen, P.R., Kiefer, H. H., Chase, S. C. & Laporte, D. D. 1986: A thermal emission spectrometer for identification of surface composition from earth orbit. Commercial applications and scientific research requirements for thermal infrared observations of terrestrial surfaces. - NASA-EOSAT Joint Report, 119-132, Washington.
- Gonzales, R.C. & Woods, R.E. 1993: Digital image processing. - Addison- Wesley Publishing Company, 716 p., Detroit.
- Gupta, R.P. 1991: Remote sensing geology. - Springer Verlag, 356 p., Berlin.
- Kostwinder, H. 1995: Introduction to image enhancement. - International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 4/1 - 4/13, Enschede.
- Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W. 1994: Remote sensing and image interpretation. - John Wiley & Sons, 750 p., New York.
- Pleničar, M., Polšak, A. & Šikić, D. 1965: Osnovna geološka karta SFRJ Trst 100.000 (Geological map of SFRJ Trieste 1:100.000). - Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Pleničar, M., Polšak, A. & Šikić, D. 1965: Tolmač lista Trst. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 (Explanatory text for sheet Trieste. Geological map of SFRJ 1:100.000). - Zvezni geološki zavod, 68 p., Beograd.
- Reeves, R.G. 1968: Introduction to electromagnetic remote sensing with emphasis on applications to geology and hydrology. - Am. Geol. Inst., Washington.
- Sabins, F.F. JR. 1987: Remote sensing principles and interpretation, 2nd ed. - Freeman and Company, New York, 449 p., New York.
- Vickers, R.S. & Lyon, R.J.P. 1967: Infrared sensing from spacecraft - a geological interpretation. - Proc. Thermophysics Spec. Conf., Am. Inst. Aeronautics Astronautics, 67-284, Washington.
- Zavod republike Slovenije za statistiko 1993: Georeferencirani mozaik Slovenije izdelan iz podatkov satelita Landsat - TM (Georeferenced mosaic of Slovenia produced from LANDSAT-TM data). - 314,4 MB, Ljubljana.

Klasifikacija satelitskih posnetkov z metodami umetne inteligence

Satellite image classification with artificial intelligence methods

Janez Hafner

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija,
Email:janez.hafner@geo-zs.si

Ključne besede: digitalna obdelava podob, daljinsko zaznavanje, statistika, klasifikacija, umetna inteligenca, umetne nevronske mreže

Key words: image processing, remote sensing, statistics, classification, artificial intelligence, artificial neural networks

Povzetek

Namen tega članka je predstaviti osnove obdelave satelitskih posnetkov, še zlasti njihove klasifikacije. V zvezi s tem je bila izvedena litološka klasifikacija širšega območja Kopra in Kozine. Standardne klasifikacijske metode, ki temeljijo na statističnih načelih, se mnogokrat izkažejo za prešibke. Zato se strokovnjaki, ki se ukvarjajo z obdelavo digitalnih podob, trudijo osvojiti nove metode, ki bi jih pripeljale do uporabnejših rezultatov. Na tem mestu je potrebno poudariti, da metode opisane v tem članku niso uporabne le za interpretacijo satelitskih posnetkov ampak se lahko uporabljajo tudi nad katerikoli drugimi prostorskimi podatki (geofizikalnimi, geokemičnimi ...). Ena od vej, ki na nov način poiskuje reševati klasifikacijsko vprašanje so tudi umetne nevronske mreže (UNN). V članku je predstavljena tehnika strojnega učenja, ki kombinira nenadzorovano (ang. Self Organising Maps - SOM) in nadzorovano učenje (ang. backpropagation - BPG). Primerjava s standardnim pristopom je pokazala, da uporaba umetnih nevronskih mrež mnogokrat boljše rešuje klasifikacijske probleme. Izkazalo se je, da je končna natančnost odvisna predvsem od števila razredov in njihove linearne ločljivosti. Z uporabo umetnih nevronskih mrež se odpirajo nove interpretativne možnosti. V učni proces lahko dodatno uvedemo X in Y koordinati, kar pri standardnih metodah zaradi njihovih omejenih sposobnosti pri razdelitvi multivariatnega prostora vhodnih podatkov ni smiselno.

Abstract

The scope of this article is to acquaint Slovene geologic public with rudiments of image processing of satellite data and especially with classification issue. These methods are not useful only with remotely sensed data but can be also used with any other kind of spatial data (geophysical, geochemical etc.). Standard classification methods based on statistical principles do not always give satisfactory results. Therefore a variety of new approaches are being tested in order to achieve better accuracy. One of the most promising fields is artificial intelligence where artificial neural networks (ANN) have proven to be useful. In this article two methods have been

tested, unsupervised learning with Self Organising Maps and supervised learning with backpropagation network. In comparison with standard approach better results were gained especially in more complicated cases where classes are not linearly separable. One of the advantages of ANN is that X and Y coordinates can be incorporated in learning process. In this way much better accuracy is achieved. This kind of model has ability to favour certain classes according to spatial position of input data, but has disadvantage of not being the general model. It is strictly applicable only to examined area.

Uvod

Članek obravnava interpretacijo podatkov pridobljenih z metodami daljinskega zaznavanja (ang. remote sensing), njihovo uporabo v geologiji in perspektive, ki se odpirajo na tem področju. Poseben poudarek je dan naprednim klasifikacijskim metodam večspektralnih satelitskih posnetkov.

Uporaba satelitskih posnetkov se je zlasti razmahnila po letu 1972 z lansiranjem satelita Landsat, ki je začel zbirati velike količine komercialnih satelitskih posnetkov. Za vsak košček zemlje velikosti 57×79 metrov je satelit vsakih 18 dni izmeril elektromagnetno sevanje v štirih različnih pasovih valovne dolžine. Sledila je cela vrsta satelitov, ki so sistematično zbirali podatke o zemeljskem površju. Količine podatkov pridobljene na ta način so tako velike, da jih ni mogoče obdelati drugače kot z uporabo računalniških metod. Trdimo lahko, da je pojav satelitskih posnetkov povzročil hiter razvoj tehnik računalniške obdelave podob (ang. image processing). V zadnjih nekaj letih razvoj na tem področju poteka v smeri iskanja novih metod, ki naj bi v bodočnosti nadomestile v tem trenutku standardni pristop z uporabo statističnih klasifikatorjev. Kot uporabne so se pokazale metode umetne inteligence, še zlasti uporaba umetnih nevronske mreže in mehke logike. V nadaljevanju je izvedena klasifikacija satelitskega posnetka širšega območja Kopra in Kozine s standardnimi klasičnimi metodami in z uporabo posebne nevronske mreže - Samo Organizirajoče Matrike (SOM) ter njeno nadgradnjo z uporabo gradientnih algoritmov - FMC (Feature Map Classifier).

Digitalna obdelava podob

Digitalna obdelava satelitskih posnetkov se šteje za enega najpomembnejših delov obdelave podob (ang. image processing). Te metode so zadosti univerzalne, da lahko z računanikom obdelamo praktično katerokoli podobo - od fotografij, posnetih iz zraka do geofizikalnih podatkov (K v a m m e et al., 1997). Digitalno podobo si matematično lahko predstavljamo kot funkcijo $f(x, y)$. To pomeni, da je barva (ali osvetlitev) rasterske celice funkcija njenega položaja (x, y) . V nadaljevanju so vse podobe obravnavane v sivih odtenkih - barvne slike so namreč le združba treh osnovnih barv (rdeča, zelena, modra) in jih zato lahko obdelujemo enako kot sivinske. Digitalna podoba je rezultat vzorčenja in kvantiziranja nekega objekta ali njegove podobe. V postopku kvantiziranja vsaki točki rastra dodelimo določeno število, ki kot sivi odtenek predstavlja osvetlitev te točke. V večini primerov je opisu namenjen en podatkovni bajt, kar pomeni, da v tem primeru dobimo na voljo 256 različnih vrednosti osvetlitve. V primeru Landsat-5 (TM skener) posnetka, to pomeni, da je vsaka celica velikosti 30 krat 30 metrov predstavljena z nizom sedmih sivih vrednosti od 0 do 255. Tematski kartograf (TM - Thematic Mapper) je predelan multispektralni skener druge

generacije, ki deluje v sedmih območjih elektromagnetnega spektra, med 0.45 μm in 12.5 μm . Razen šestega kanala, ki ima ločljivost 120 metrov, je ločljivost vseh kanalov enaka 30 metrov. V geologiji sta se kot uporabna izkazala zlasti kanala 5 in 7, ki predstavljata sevanje v srednjem IR (infra rdečem) območju.

V grobem lahko obdelavo podob delimo v tri sklope:

- pred obdelava; Ta faza vsebuje odstranitev šuma, geometrično in radiometrično korekcijo. Sem spadajo zlasti korekcije napak nastalih zaradi napak v delovanju senzorjev, atmosferskih efektov in ukrivljenosti zemeljskega površja. Ponavadi večino dela opravi že distributer podatkov.
- izboljšave; V ta sklop spada množica metod za raztegovanje, filtriranje in transformacijo podatkov z namenom izboljšati kontraste preiskovanih objektov.
- klasifikacija; Namen klasifikacije je avtomatična uvrstitev celic večspektralnega satelitskega posnetka v razrede. Za osnovo pri tem služijo sivinske vrednosti za posamezne celice.

Osnove klasifikacije

V osnovi ločimo dva tipa klasificiranja: nadzorovani in nenadzorovani. Pri nadzorovanem načinu v klasifikacijski način vstopa poleg vhodnih podatkov tudi pravilna razvrstitev v razrede medtem, ko pri nenadzorovanem načinu algoritem samostojno sklepa na podobnost med vhodnimi podatki.

Za boljše razumevanje procesa razvrščanja opazovanj v prostoru si oglejmo proces klasifikacije iz nekoliko drugačnega zornega kota (B r a t k o et al, 1998). Vzemimo, da se nek pojav v prostoru U obnaša po zakonitosti C . Zakonitost C predstavlja torej podmnožico v prostoru U

$$C: C \subset U.$$

Naš cilj je izdelati hipotezo C' , ki za vse objekte (opazovanja) X iz prostora U pravilno ugotovi ali so ali niso del podmnožice, ki jo definira C . Pri tem je napaka hipoteze enaka

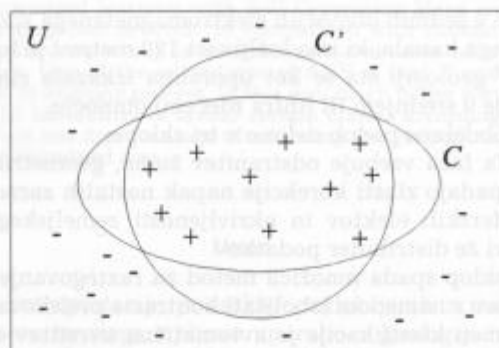
$$(C - C') \cup (C' - C),$$

delež pravilno klasificiranih objektov pa je enak

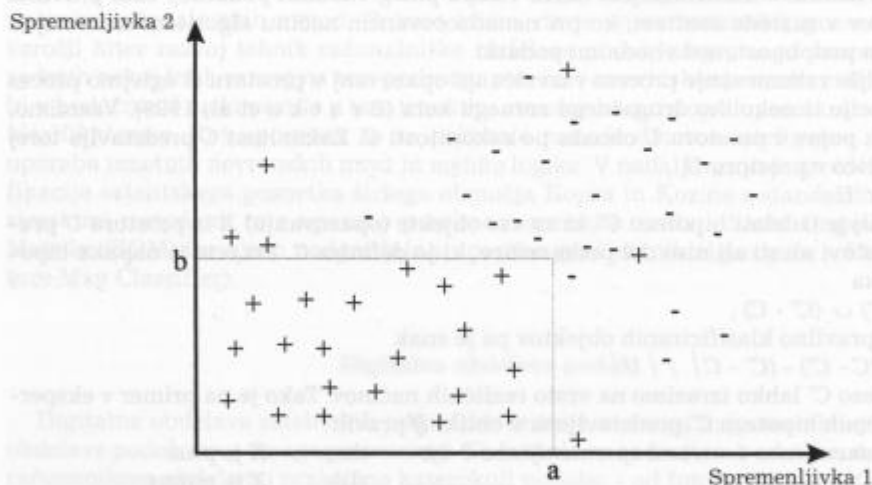
$$|U - (C - C') - (C' - C)| / |U|$$

Hipotezo C' lahko izrazimo na vrsto različnih načinov. Tako je na primer v eksperntih sistemih hipoteza C' predstavljena v obliki \mathcal{H} pravil:

If *spremenljivka 1* < *a* and *spremenljivka 2* < *b* then X je plus
else X je minus.

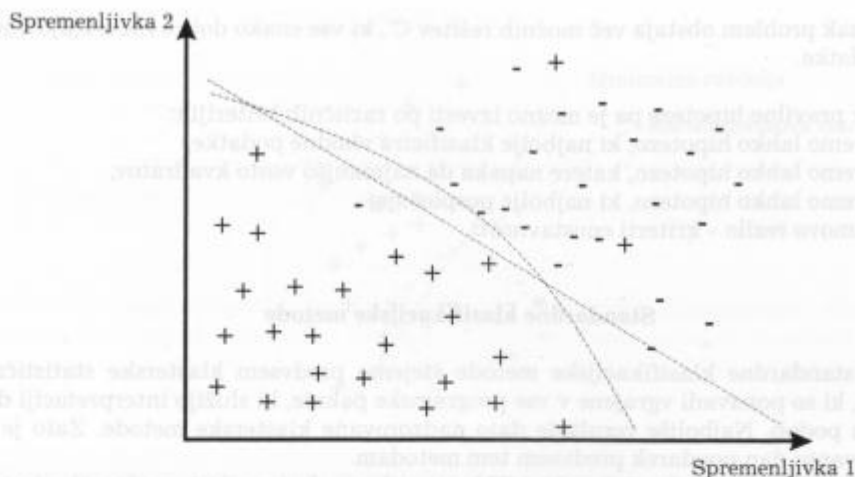
Sl. 1. Zakonitost C in hipoteza C'

Kot je razvidno (slika 2) je tovrstna hipoteza v dvorazsežnostnem prostoru predstavljena z dvema med seboj pravokotnima črtama, ki delita prostor v dva razreda.



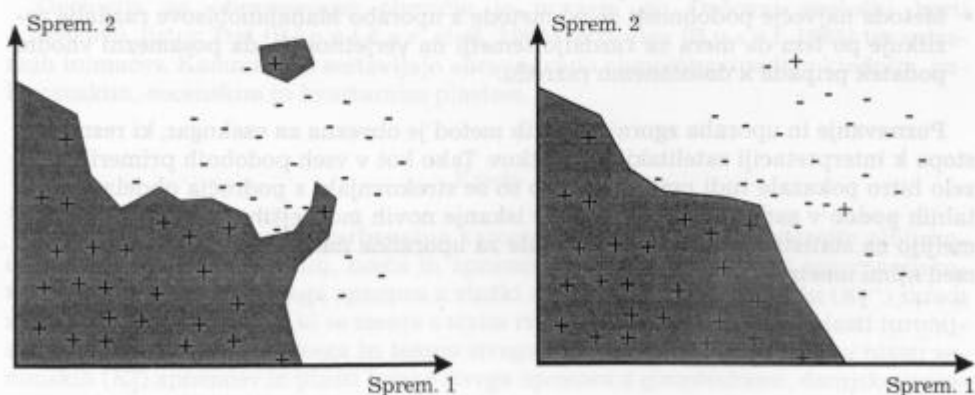
Sl. 2. Način delitve kot ga izdelata ekspertni sistem

Mnogo boljšo rešitev predstavlja poševna meja, še boljše pa zakrbljena meja med razredoma (slika 3). Prvi tip razmejitve med razredi lahko izdelamo z uporabo postopka na osnovi minimalne razdalje do srednje vrednosti ali regresijskimi drevesi medtem, ko drugi tip rešitve lahko izdelamo s klasifikacijo po principu Gaussove maksimalne podobnosti.



Sl. 3. Delitev na osnovi minimalne razdalje do srednje vrednosti in po principu Gaussove maksimalne podobnosti

Postavlja se vprašanje katera hipoteza je najboljša. Pogosto se srečujemo z avtorji, ki za najboljšo določajo tisto hipotezo, ki najbolje kategorizira vhodne podatke. V resnici pa to ne drži. Zavedati se je potrebno, da vsako vzorčenje/pridobivanje podatkov neizogibno v podatke uvede tudi šum - napako. Zato se lahko zgodi, da s tem, ko izdelamo rešitev, ki se maksimalno prilega vhodnim podatkom, nehoti izdelamo model v katerega je vključena tudi napaka vzorčenja. S tem smo izdelali hipotezo C' , ki se najbolj prilega vhodnim podatkom ne pa zakonitosti C . Taka hipoteza se sicer izkaže za optimalno v primeru učnih podatkov, ni pa nujno, da se enako dobro obnese tudi na testnih podatkih. Zato je naš cilj izdelati hipotezo C' , ki bo poleg tega, da se čim bolje prilagaja vhodnim podatkom vsebovala tudi veliko sposobnost posploševanja.



Sl. 4. Napaka v vhodnih podatkih zahteva sposobnost posploševanja

Za vsak problem obstaja več možnih rešitev C' , ki vse enako dobro razvrščajo vhodne podatke.

Izbor pravilne hipoteze pa je možno izvesti po različnih kriterijih:

- izberemo lahko hipotezo, ki najbolje klasificira vhodne podatke,
- izberemo lahko hipotezo, katere napaka da najmanjšo vsoto kvadratov,
- izberemo lahko hipotezo, ki najbolje posplošuje,
- Occamovo rezilo - kriterij enostavnosti.

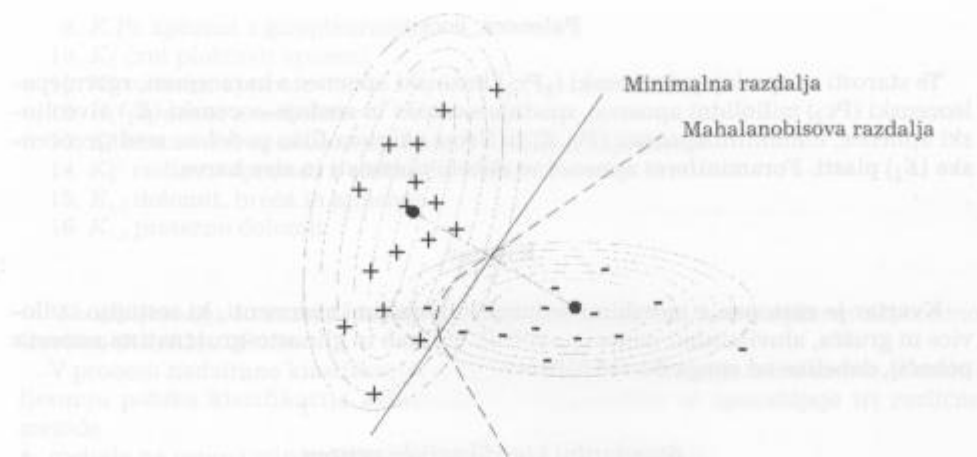
Standardne klasifikacijske metode

Pod standardne klasifikacijske metode štejemo predvsem klusterske statistične metode, ki so ponavadi vgrajene v vse programske pakete, ki služijo interpretaciji digitalnih podob. Najboljše rezultate dajo nadzorovane klusterske metode. Zato je v nadaljevanju dan poudarek predvsem tem metodam.

Vsaka celica satelitskega Landsat TM posnetka vsebuje sedem vrednosti - tonov sivine, ki predstavljajo sedem kanalov elektromagnetnega spektra. S tem je vsaki celici določen položaj v sedem razsežnostnem prostoru, ki ga definirajo kanali TM skenerja. V procesu klasifikacije je ta prostor razdeljen med razrede v katere uvrščamo vhodne podatke. Z uporabo reprezentativnih učnih podatkov za katere je že znana pravilna klasifikacija, se zgradi klasifikacijski model, ki ga lahko v bodočnosti uporabimo kot klasifikator. Način izdelave klasifikacijskega modela zavisi od postopka, ki ga izberemo. Ponavadi se uporabljajo naslednji postopki (L i l l e s a n d i n K i e f e r, 1994):

- metoda na osnovi minimalne razdalje do srednje vrednosti. Za vsak razred se iz učnih podatkov izračuna njegova srednja vrednost. Klasifikator deluje tako, da se posamezni vhodni podatek uvrsti v razred z najmanjšo evklidsko razdaljo do njegovega centroida (povprečja).
- Metoda z uporabo Mahalanobisove razdalje. Medtem ko metoda na osnovi minimalne razdalje do srednje vrednosti uporablja za mero razdalje evklidsko razdaljo, je v tem primeru razdalja odvisna od porazdelitve znotraj posameznega razreda. Pri izračunu razdalj uporablja matriko kovarianc.
- Metoda največje podobnosti se od metode z uporabo Mahalanobisove razdalje razlikuje po tem da mera za razdaljo temelji na verjetnostih, da posamezni vhodni podatek pripada k določenemu razredu.

Poznavanje in uporaba zgoraj naštetih metod je obvezna za vsakogar, ki resno pristopa k interpretaciji satelitskih posnetkov. Tako kot v vseh podobnih primerih so se zelo hitro pokazale tudi omejitve. Zato so se strokovnjaki s področja obdelave digitalnih podob v zadnjih letih usmerili v iskanje novih močnejših postopkov, ki ne temeljijo na statistiki. Zlasti so se izkazale za uporabne metode umetne inteligence in med njimi umetne nevronske mreže.



Sl. 5. Različne metode različno delijo podatkovni prostor

Rezultati obdelav

Geografska lega

Obravnavano območje zavzema južno polovico lista (OGK1) Gorica in skoraj celoten list Trst. Mejne koordinate območja so po Gauss-Krugerju:

$$\begin{aligned}x_{\min} &= 5.388.407,00 \text{ m} \\x_{\max} &= 5.422.207,00 \text{ m} \\y_{\min} &= 5.039.989,00 \text{ m} \\y_{\max} &= 5.068.009,00 \text{ m}\end{aligned}$$

Geologija

Geologija za obravnavano območje je povzeta po Osnovni geološki karti 1:1000.000, listov Trst (P l e n i č a r et al, 1965) in Gorica (B u s e r, 1965) ter ustreznih tolmačev. Kamnine, ki sestavljajo obravnavano območje pripadajo krednim, paleocenskim, eocenskim in kvartarnim plastem.

Kreda

Kredne plasti zastopajo karbonatne kamnine, od katerih so najstarejše albijsko-cenomanijski ($K_{1,2}$) dolomiti, breča in apnenec. Nad temi leže plasti cenomanijsko-turonijskega (K_2^2) rudistnega apnenca z vložki dolomita. Sledijo turonski ($K_3^{1,2}$) skladi z temno sivim apnencem, ki se menja s sivim rudistnim apnencem nato plasti turonijsko-senonijskega ($K_2^{2,3}$) sivega in temno sivega apnenca z radioliti, tem pa plasti senonskih (K_3^3) apnencev in plasti temno sivega apnenca z giropleurami, danijske starosti (K, Pc).

Paleocen, eocen

Te starosti so spodnjepaleocenski (${}_2Pc_1$) kozinski apnenec s haracejami, zgornjepaleocenski (Pc_2) miliolidni apnenec, spodnjeeocenski in srednje-eocenski (E_1) alveolinski apnenec, numulitni apnenec (Pc , E) in flišne oziroma flišu podobne srednjeeocenske (E_2) plasti. Foraminiferni apneneci so debelo plastnati in sive barve.

Kvartar

Kvartar je zastopan z morskimi sedimenti, jamskimi sedimenti, ki sestojijo iz ilovice in grušča, aluvijalnimi nanosi po rečnih dolinah in glinasto-gruščnatimi nanosi s pobočij, debeline od enega do več metrov.

Standardni klasifikacijski pristop

Posnetek Landsat TM iz leta 1993 je bil pridobljen preko *Zavoda republike Slovenije za statistiko*. Po izrezu obravnavanega območja je bilo opaziti, da je posnetek v veliki meri prekrit z oblaki, meglicami in njihovimi sencami, kar onemogoča izdelavo optimalnega klasifikacijskega modela. Vendar pa to ne vpliva na uporabnost posnetka za primerjavo različnih klasifikacijskih metod.

V ta namen je bilo potrebno posnetek najprej ustrezno pripraviti:

- Pregled možnih napak. Izvedena je bila analiza glavnih komponent (PCA). Na sedmi komponenti je lepo opaziti napako pasov (ang. striping), ki nastane kot posledica delovanja večih senzorjev. Ker je napaka ponavljajoče narave, jo je bilo razmeroma lahko odstraniti z uporabo hitre fourierjeve transformacije.
- Z nadzorovano klasifikacijo je bilo potrebno odstraniti oblake in njihove sence, ki bi v nadaljni klasifikaciji pomenili le dodatni šum. Po eni strani je to ena od nalažjih operacij, saj so oblaki zelo dobro razvidni, po drugi pa se pojavlja vprašanje kdaj je potrebno oblak še izločiti in kdaj ne. Prehod iz oblačnega v neoblačno nebo je namreč pogosto zvezen - zamegljen. Kot se je pokazalo kasneje je to močno vplivalo na točnost klasifikacije, saj so območja v bližini oblakov pogosto napačno klasificirana.

Klasifikacija - 16 razredov

Na osnovi geološke karte je bilo na obravnavanem področju določeno začetnih 16 razredov:

1. Q melišča in pobočni grušč
2. Q aluvij
3. Q morski sedimenti
4. 1E_2 fliš
5. ${}^{1,2}E_2$ lapor
6. Pc, E alveolinski in numulitni apneneci
7. Pc_2 miliolidni apnenec
8. ${}_2Pc$, kozinski skladi

9. K_1P_1 apnenci z giropleurami
10. K_2^1 črni ploščasti apnenci
11. K_2^2 rudistni apnenc
12. $K_2^{2,3}$ apnenc z radioliti
13. K_2^3 temno sivi apnenc v menjavi z rudistnim apnencem
14. $K_{1,2}^1$ rudistni apnenc z vložki dolomita
15. $K_{1,2}$ dolomit, breča in apnenc
16. $K_{1,2}$ pretežno dolomit

V nadaljevanju so razredi zaradi enostavnosti označeni kar z njihovo zaporedno številko (R1, R2, ... R16).

V procesu nadziranje klasifikacije je najprej potrebno določiti učne vzorce, v nadaljevanju poteka klasifikacija avtomatično. Najpogosteje se uporabljajo tri različne metode

- metoda na osnovi minimalne razdalje do srednje vrednosti,
- metoda z uporabo Mahalanobisove razdalje,
- metoda največje podobnosti.

Izkazalo se je, da metoda po kriteriju največje podobnosti ne glede na število uporabljenih razredov praviloma da najboljše rezultate. Pri ugotavljanju pravilnosti klasifikacije so zanimivi predvsem trije parametri (L i l l e s a n d i n K i e f e r, 1994):

- Natančnost postopka za razred n je mera, ki nam pove koliko celic iz vsakega razreda je pravilno klasificiranih.

$$NP_n = \frac{\text{število pravilno klasificiranih celic razreda } n}{\text{skupno število vseh celic klasificiranih v razredu } n}$$

- Uporabna natančnost za razred n je mera, ki podaja pravilnost klasificiranega razreda. V primeru, ko je NP_n 100% to še ne pomeni, da je klasifikacija dobra, saj nam lahko razred n »požre« druge razrede in s tem zgubi na svoji pravilnosti.

$$UN_n = \frac{\text{število pravilno klasificiranih celic razreda } n}{\text{skupno število celic v razredu } n}$$

- skupna natančnost podaja odstotek vseh pravilno klasificiranih razredov.

$$SN = \frac{\text{število pravilno klasificiranih celic}}{\text{skupno število celic}}$$

Ker je ponavadi med obema natančnostima NP_n in UN_n velika razlika se je včasih težko odločiti, kako ovrednotiti pravilnost razreda. Zato lahko kot mero pravilnosti uvedemo P_n , definirano kot

$$P_n = \sqrt{NP_n \times UN_n}$$

V tabeli 1 je prikazan rezultat klasifikacije za vseh 16 razredov po metodi največje podobnosti.

Tabela 1. Pravilnost klasifikacije z metodo največje podobnosti za 16 razredov

Razred	Število celic v razredu	Število celic klasificiranih v razred	Število pravilno klasificiranih celic	NP _n	UN _n	P _n
neklas.	7030	8328	6388	---	---	---
1	138	8644	106	76.81%	1.23%	9.71%
2	1408	4252	698	49.57%	16.42%	28.53%
3	411	585	148	36.01%	25.30%	30.18%
4	14999	1003	790	5.27%	78.76%	20.37%
5	242	1585	24	9.92%	1.51%	3.87%
6	6616	200	146	2.21%	73.00%	12.7%
7	960	273	17	1.77%	6.23%	3.32%
8	1656	58	5	0.30%	8.62%	1.61%
9	1585	16	3	0.19%	18.75%	1.88%
10	304	6911	169	55.59%	2.45%	11.67%
11	1664	230	20	1.20%	8.70%	3.23%
12	1204	2034	218	18.11%	10.72%	13.93%
13	2608	749	290	11.12%	38.72%	20.75%
14	1403	1565	279	19.89%	17.83%	18.83%
15	1380	2430	468	33.91%	19.26%	25.56%
16	652	5397	582	89.26%	10.78%	31.02%
Povprečna vrednost:				25.69%	21.14%	14.82%
Skupna natančnost SN:				23.39%		

Kot je razvidno iz tabele 1 rezultat klasifikacije ni uporaben saj tako majhne natančnosti praktično ne prinašajo rezultata (klasificirane karte). Zato je nujno zmanjšati število razredov. Združevanje razredov lahko poteka na različne načine, kjer je nujno potrebno upoštevati namen klasifikacije, hkrati pa si pomagamo s statističnimi parametri in s klasifikacijsko matriko. Ko govorimo o statističnih parametrih si predstavljamo, da je vsak razred predstavljen v sedem razsežnostnem prostoru s sedem razsežnostnim elipsoidom, definiranim s srednjo vrednostjo in variancami v vseh sedmih dimenzijah.

Pri nadaljnem združevanju je bila uporabljena metoda transformirane divergen-
ce, ki za merilo podobnosti med dvema razredoma uporablja naslednji enačbi
(S w a i n in D a v i e s, 1978):

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr}((C_i - C_j)(C_i^T - C_j^T)) + \frac{1}{2} ((C_i^T - C_j^T)(\mu_i - \mu_j)(\mu_i - \mu_j)^T)$$

$$TD_{ij} = 2 \left(2 - e^{-\frac{D_{ij}}{v}} \right),$$

kjer so:

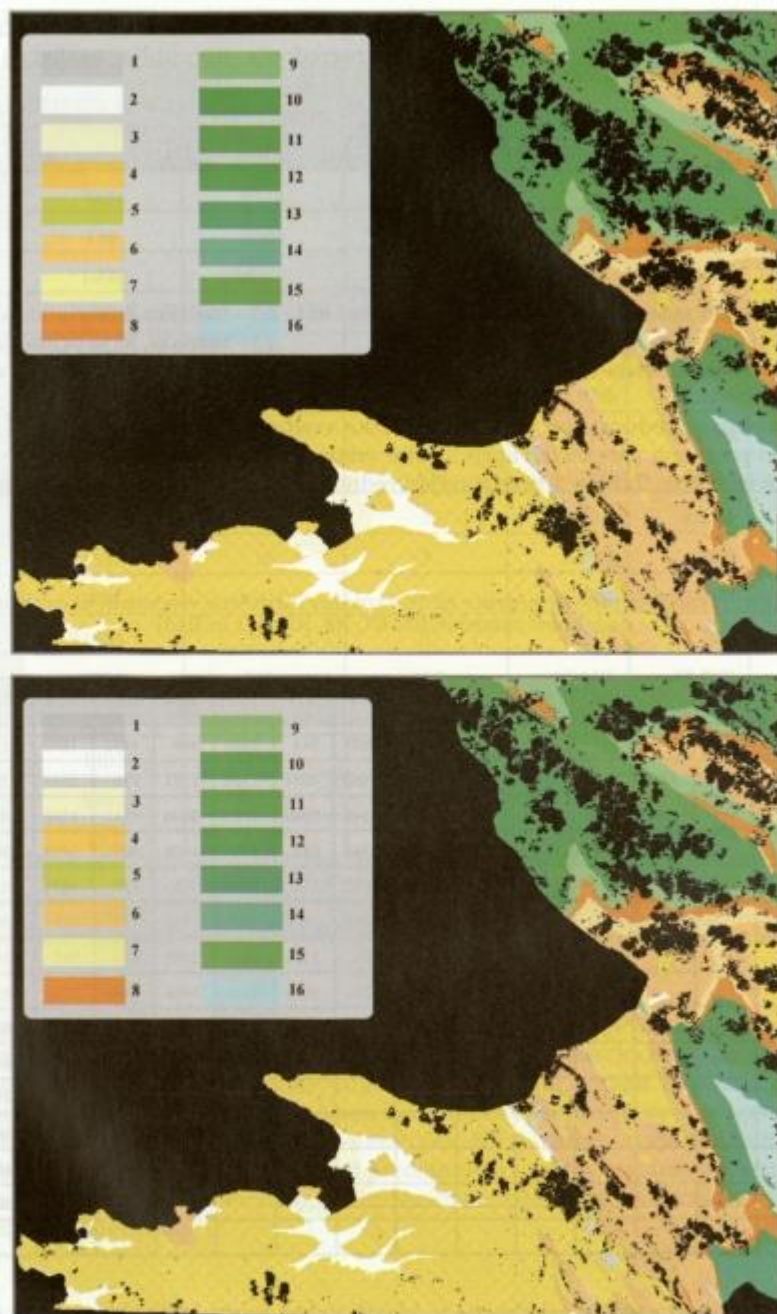
TD_{ij} - transformirana divergenca med razredoma i in j C_i - matrika kovarianc za razred i
 D_{ij} - divergenca med razredoma i in j i, j - razreda, ki ju primerjamo
 μ_i - glavni vektor razreda i μ_i - vsoto diagonalnih el. matrike

TD_{ij} zavzame vrednosti od 0 do 2000. Nizke vrednosti pomenijo, da sta si dva ra-
zreda zelo podobna (se prekrivata), visoke vrednosti pa pomenijo, da sta si razreda
med seboj različna. Tabela 2 predstavlja vrednosti TD_{ij} za klasifikacijo izvedeno s 16
razredi.

Tabela 2. Transformirane divergenca za 16 razredov (označene vrednosti, ki označujejo
podobnost razredov R6, R7, R8, R9, R11 in R13)

	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
R1	1695	2000	1166	517	1946	1522	1807	1999	743	1845	969	1452	1880	1114	1777
R2	-	1775	390	1199	1194	1282	1198	1560	1094	1384	1592	986	1837	1364	2000
R3	-	-	1890	2000	1584	1863	1732	1648	2000	1807	2000	1811	1992	2000	2000
R4	-	-	-	590	848	668	735	1364	661	819	1076	509	1459	930	1983
R5	-	-	-	-	1685	940	1382	1972	555	1489	503	822	1632	632	1788
R6	-	-	-	-	-	290	155	356	1829	376	1702	717	877	1763	1991
R7	-	-	-	-	-	-	154	695	1271	196	1059	430	951	1106	1880
R8	-	-	-	-	-	-	-	535	1614	294	1406	584	775	1522	1959
R9	-	-	-	-	-	-	-	-	1988	347	1981	1092	1395	1969	2000
R10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1643	1180	1083	1861	683	1965
R11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1622	471	1207	1475	1972
R12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1230	1336	1363	1378
R13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1592	718	1978
R14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1905	1798
R15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1979

Rezultat nadzorovane klasifikacije je klasificirana karta 16 razredov (glej sliko 6),
razporeditev vhodnih podatkov v ciljne razrede pa je podana s klasifikacijsko matri-
ko v tabeli 3. Stolpci predstavljajo dejanske razrede, vrstice pa razporeditev kot smo
jo izdelali s klasifikacijo.



Sl. 6. Geološka karta Slovenskega Primorja (zgoraj) in rezultat nadzorovane klasifikacije po metodi največje podobnosti za 16 razredov (spodaj)

Na podlagi spektralne podobnosti razredov (glej tabelo 2) sem se v nadaljevanju odločil za iz geološkega vidika sicer ne povsem dosledno združevanje:

- R6, R7, R8, R9, R11 in R13
- R5 in R12
- R2 in R4

Tabela 3. Klasifikacijska tabela za 16 razredov

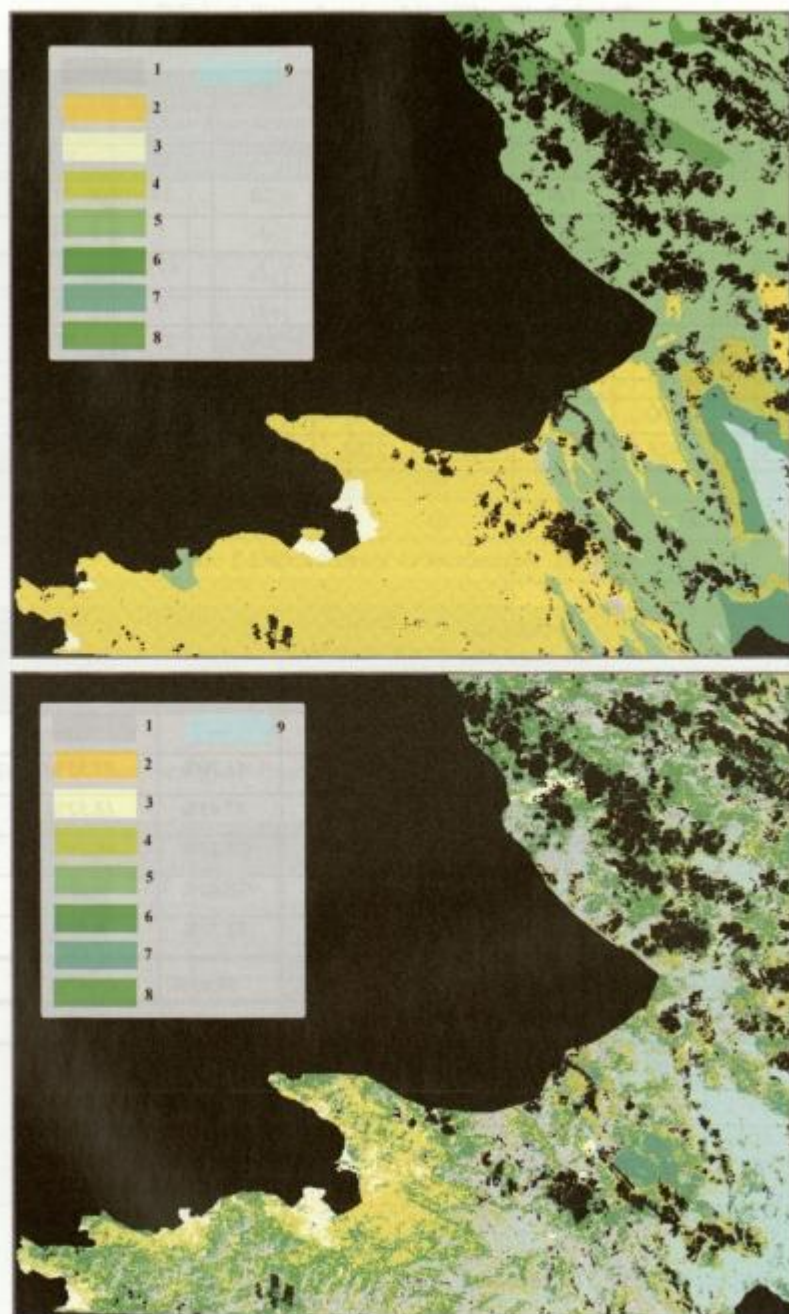
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
0	0	10	40	339	7	516	102	113	165	15	178	46	229	24	152	4
R1	106	51	9	4037	100	1296	234	279	561	81	676	41	768	13	275	3
R2	2	698	167	2934	5	194	13	24	45	12	8	25	81	14	27	0
R3	1	83	148	148	0	75	1	6	4	0	11	0	81	1	7	0
R4	0	105	0	790	1	35	9	13	4	2	9	9	19	4	3	0
R5	4	10	0	739	24	350	29	29	50	3	74	34	107	11	16	2
R6	2	0	0	17	3	146	3	6	2	0	1	5	0	8	0	0
R7	0	1	2	39	3	105	17	26	10	5	21	16	4	5	3	6
R8	0	2	2	15	0	23	3	5	1	1	2	1	2	1	0	0
R9	0	1	0	2	0	2	0	4	3	0	0	0	0	0	4	0
R10	13	410	2	3697	14	545	153	420	418	169	321	43	284	29	377	2
R11	0	4	0	64	0	45	11	9	4	5	20	1	49	5	9	1
R12	1	7	0	324	11	882	76	126	44	1	23	218	64	195	2	15
R13	1	0	2	140	3	114	13	22	11	2	42	15	290	1	34	1
R14	0	5	0	161	9	751	33	114	49	0	9	93	22	279	3	36
R15	1	21	39	705	18	212	59	55	149	8	110	11	376	1	468	0
R16	7	0	0	848	44	1325	214	405	65	0	159	646	232	812	0	582

Klasifikacija - 9 razredov

Na podlagi transformiranih divergenc je bila izdelana nova klasifikacijska shema z 9 razredi:

1. Q melišča in pobočni grušč
2. Q aluvij + 3E_2 fliš
3. Q morski sedimenti
4. $^{1,2}E_2$ lapor + $K_2^{2,3}$ apneneci z radioliti
5. Pc, E alveolinski in numulitni apnenec + Pc₂ miliolidni apnenec + 2Pc_1 kozinski skladi + K, Pc apnenec z giropleurami + K_2^2 rudistni apnenec + K_1^2 apnenec
6. K_2^2 črni ploščasti apneneci
7. $K_1^{1,2}$ rudistni apnenec z vložki dolomita
8. $K_{1,2}$ dolomit, breča in apnenec
9. $K_{1,2}$ pretežno dolomit

Po določitvi novih razredov je bila ponovno izvedena klasifikacija. Natančnost klasifikacije in podatki o transformirani divergenci so podani v tabelah 4 in 5, rezultat pa je prikazan v sliki 7.



Sl. 7. Geološka karta Slovenskega Primorja (zgoraj) in rezultat nadzorovane klasifikacije po metodi največje podobnosti za 9 razredov (spodaj)

Kot je razvidno iz tabel 5 in 6 so si zelo podobni razredi R2, R6 in R8. Če bi nadaljevali s takim združevanjem bi to pomenilo, da bi združili apnenec in fliš, kar pa ne bi bilo smiselno, saj bi s tem združili dve glavni litološki enoti na tem področju, s tem pa bi klasifikacija izgubila svoj namen. Zato v nadaljevanju združevanje poteka predvsem glede na potrebe uporabnika.

Klasifikacija - 5 razredov

Zadnja klasifikacija je bila izvedena nad 5 razredi:

1. Q melišča in pobočni grušč + Q aluvij + 1E_2 fliš
2. Q morski sedimenti
3. ${}^{1,2}E_2$ lapor + $K_2^{3,4}$ apnenec z radioliti + Pc, E alveolinski in numulitni apnenec + Pc_2 miliolidni apnenec + 2Pc_1 kozinski skladi + K, Pc apnenec z giropleurami + K_2^3 rudistni apnenec + K_2^2 apnenec + K_2^3 črni ploščasti apnenec + $K_2^{1,2}$ rudistni apnenec z vložki dolomita
4. $K_{1,2}$ dolomit, breča in apnenec
5. $K_{1,2}$ pretežno dolomit

Transformirana divergenca in rezultati klasifikacije so razvidni iz tabel 7, 8 in 9 rezultat klasifikacije pa je prikazan na sliki 8.

Po pregledu rezultatov v tabelah je razvidno:

- da je relativno dobro klasificiran le prvi razred (Q melišča in pobočni grušč + Q aluvij + 1E_2 fliš),
- medtem ko za razred 3 (večina apnenecv in lapor) velja, da je pravilno klasificiran le manjši del,
- razredi 2 (Q morski sedimenti), 4 ($K_{1,2}$ dolomit, breča in apnenec) in 5 ($K_{1,2}$ pretežno dolomit) imajo zadovoljivo natančnost postopka in majhno uporabno natančnost, kar pomeni, da v veliki meri posegajo na področja, ki jim ne pripadajo.

Tabela 8. Klasifikacijska tabela za klasifikacijo s 5 razredi

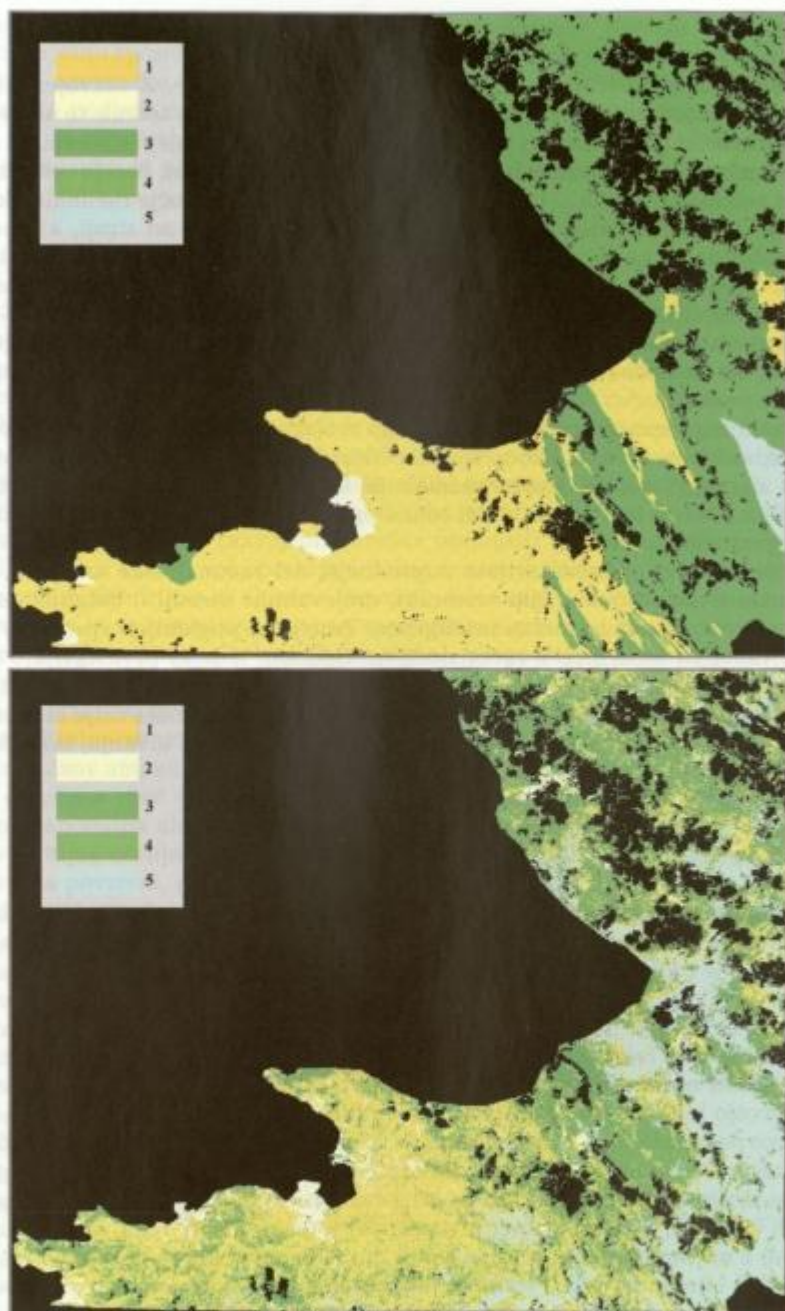
	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>	<i>R5</i>
<i>0</i>	295	37	1179	133	3
<i>R1</i>	10125	134	2626	124	1
<i>R2</i>	548	195	275	13	0
<i>R3</i>	307	2	3329	22	35
<i>R4</i>	3897	43	5741	1085	2
<i>R5</i>	1373	0	5091	3	611

Tabela 9. Transformirane divergence za 5 razredov

	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>	<i>R5</i>
<i>R1</i>	1875	732	954	1989
<i>R2</i>		1628	2000	2000
<i>R3</i>			1597	1980
<i>R4</i>				1979

Končni rezultat vseh treh klasifikacij ni možno oceniti za zadovoljivega, kar je posledica naslednjih dejstev:

- Satelitski posnetek, ki je bil uporabljen za izvedbo klasifikacije še zdaleč ne dosega ustrezne kvalitete. Severni del posnetka je v veliki meri prekrit z oblaki in njihovimi sencami. Odkriti deli posnetka so v veliki meri prekriti z meglicami, ki sicer še omogočajo izvedbo klasifikacije a že na začetku v podatke vnašajo šum. Za boljši rezultat bi bilo nujno potrebno pridobiti kvalitetnejši posnetek.
- Posnetek ni dobro georeferenciran, saj kljub velikim naporom pri vpenjanju posnetka RMS napaka na nekaterih delih še vedno presega 60 metrov. Vpenjanje je bilo oteženo zlasti zaradi prisotnosti oblačnih delov, kjer ni bilo mogoče poiskati dovolj velikega števila povezovalnih točk.
- Število uporabljenih kanalov (7) je relativno majhno. Kvaliteto klasifikacije bi bilo nujno potrebno izboljšati z vpeljavo novih posnetkov - npr. SPOT posnetka s čimer bi tudi izboljšali prostorsko ločljivost.
- Omejene sposobnosti uporabljenih klasifikacijskih metod. Natančnost je možno izboljšati z vpeljavo novih metod. Ena od njih - SOM (Samo Organizirajoče Matrike) bo prikazana v nadaljevanju.



Sl. 8. Geološka karta Slovenskega Primorja (zgoraj) in rezultat nadzorovane klasifikacije po metodi največje podobnosti za 5 razredov (spodaj)

Umetna inteligenca

Že skozi stoletja si je človek želel ustvariti misleče stroje. Z razvojem računalništva ter petdesetletnim razvojem na področju programskih tehnik te sanje počasi postajajo realnost. Raziskovalci na različnih področjih izdelujejo sisteme, ki so sposobni oponašati človeško razmišljanje, razumejo človeški govor, berejo rokopise, premagujejo velemojstre šaha... Umetna inteligenca (UI) je področje računalniških znanosti, ki se ukvarja z izdelovanjem inteligentnih strojev – to so stroji, ki oponašajo človeško obnašanje na tak način, da jih lahko imenujemo inteligentne. Seveda se pri tem postavi vprašanje, kaj je to inteligenca... Do kakšne mere inteligenca sestoji iz reševanja kompleksnih problemov, posploševanja, percepcije, razumevanja... Razvijalci umetne inteligence so bili in so še danes postavljeni pred zahtevno nalogo izgraditi sistem, ki oponaša delovanje človeških možganov – verjetno najbolj kompleksne nam znane materije.

Umetna inteligenca je prehodila v obdobju svojega nastanka dolgo pot. Začetki segajo v predelektronsko dobo, ko so različni filozofi, matematiki in drugi ustvarjali temelje za današnji razvoj. Resen razmah je UI doživela z izumom elektronskega računalnika 1941. S tem je svet dobil tehnologijo, vsaj tako je izgledalo, za simuliranje inteligentnega delovanja.

UI je že od nekdaj predstavljala naprednejši del računalniške znanosti, saj vsi računalniški jeziki, računalniški vmesniki, urejevalniki besedil... dolgujejo svoj obstoj razvoju na področju umetne inteligence. Teorija in poglobljen vpogled v UI postavljata razvojne smernice v računalništvu. Sodobni izdelki predstavljajo majhne korake v smeri vsesplošne uporabe metod umetne inteligence, ki v bodočnosti napoveduje razmah na vsa področja našega življenja. Ne glede na naše želje ali pomisleke umetna inteligenca počasi in neopazno prodira v pore našega bivanja, tako da se temu ne bo mogoče izogniti.

Nevronske mreže

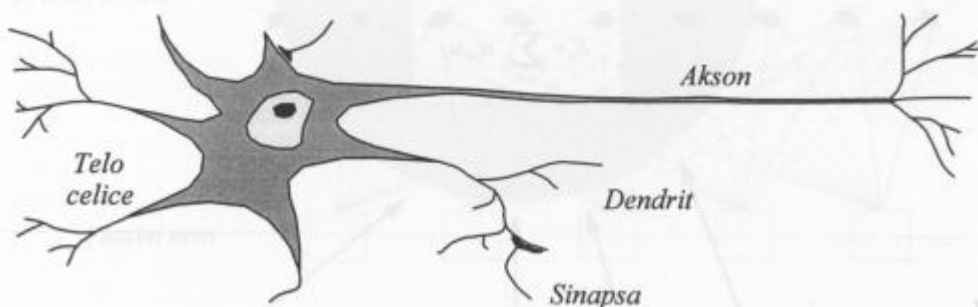
Končni cilj umetne inteligence je pripraviti računalnike do tega, da bi bili enakovredni človeku na področjih kot so učenje, zaznavanje, govor, robotsko premikanje... V tem trenutku je tudi najbolj optimističnim strokovnjakom na področju UI postalo jasno, da je ta naloga če že ne neuresničljiva vsaj zelo težko dosegljiva. Zanimivo je, da so nekatere naloge, ki jih ljudje z lahkoto vsakodnevno in samoumevno opravljamo, za računalnik tako rekoč neizvedljive. Seveda je najlažje tak ali podobno težak problem proglasiti za nerešljivega, vendar pa hkrati lahko opazimo, da isti problem vsak dan z največjo lahkoto rešujejo številna živa bitja. Prav zaradi tega je logično, da se zgledujemo po edinih nam znanih sistemih, ki so sposobni reševati tako zapletene naloge – možganih. Ob tem se moramo zavedati, da bi lahko enako uspešno delovale tudi kakšne druge metode in se zato ni priporočljivo stoočstno držati sistemov uveljavljenih v naravi. Tipičen primer je na primer letenje. Kljub temu, da smo natančno seznanjeni z načinom letenja ptic, se je kot najbolj enostavna in praktična rešitev razvila tehnika letenja z letali. Pretirano posnemanje bioloških sistemov ni smiselno tudi iz razloga, da naše poznavanje teh sistemov še zdaleč ni popolno ampak se sproti dopolnjuje in spreminja. Na podlagi vsega zgoraj opisanega so se kot ena izmed najbolj obetajočih vej umetne inteligence razvile umetne nevronske mreže (v nadaljevanju – NM, nevronske mreže). Pri tem je potrebno poudariti, da ne obstajajo zagotovi-

la, da so NM sposobne rešiti vse težave umetne inteligence. Metoda bo enkrat v bodočnosti verjetno sposobna reševati tudi težje naloge, ki pa jim zaenkrat še ni kos.

Umetne nevrnske mreže lahko smatramo za poenostavljene matematične računalniško podprte modele človeških možganov. Od običajnih računalniških programov, ki jih je potrebno programirati za reševanje problemov, jih loči to, da so se NM sposobne učiti in jih zato ne programiramo ampak učimo.

Človeški možgani

Zaradi svoje kompleksnosti in neverjetnih sposobnosti so človeški možgani skozi vso zgodovino privlačili znanstvenike različnih področij. Kljub temu, da možganske celice delujejo sedemkrat počasneje kot preklopni elementi v sodobnih računalnikih, so človeški možgani sposobni opravljati operacije, ki so za računalnike popolnoma neizvedljive. Glavni razlog za to leži v ogromnem številu nevronov, povezavah med njimi in v zapletenih kombinacijah vzporednih in asinhronskih obdelav podatkov. Človeški možgani so sestavljeni iz približno 10^{11} nevronov. Vsak od njih je z 1.000 do 10.000 vezmi povezan z drugimi nevroni. Vsaka povezava ima svojo utežno funkcijo, ki se spreminja skladno z razvojem človeške osebnosti. Poznamo več tipov nevrnskih celic, ki pa v osnovi vse opravljajo nekaj osnovnih funkcij. Nevron je sestavljen iz telesa celice, dendritov in aksona. Osnovno delovanje poteka tako, da dendriti na stičnih mestih, ki se imenujejo sinapse, sprejemajo signale od drugih nevronov in jih nato posredujejo celičnemu telesu. Tu se signali povprečijo z ostalimi podobnimi signali. V primeru, da je povprečje v nekem kratkem časovnem intervalu dovolj veliko (preseže aktivacijski prag), se nevron »vžge« in po aksonu posreduje impulz drugim nevronom. Skrivnost učenja se skriva v delovanju sinaps. Njihova funkcija ni samo prenos impulzov ampak se v sinapsah impulzi ojačajo ali oslabijo. To pomeni, da je v sinapsi določena moč povezave med dvema nevronoma. Ugotovljeno je bilo, da večkratna zaporedna aktivacija sinapse poveča njeno prevodnost (H e b b, 1949). To predstavlja ključ učenja v človeških možganih saj večkratni pojav enakega aktivacijskega vzorca povzroči, da se ta preko povečanja prevodnosti v sinapsah »zapiše«. Iz tega sledi da se v možganih znanje zapisuje v obliki sinaptičnih prevodnosti.



Sl. 9. Struktura nevrona (G a l l a n t, 1993)

Neuron kot preklopni element

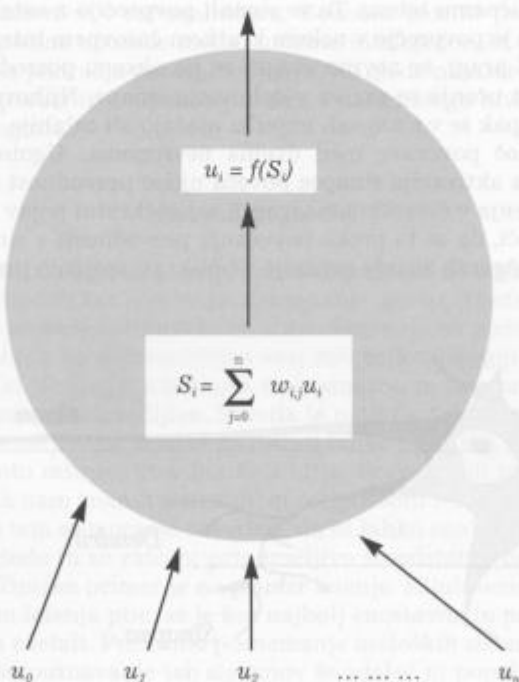
Analogijo biološkemu nevronu v teoriji umetnih nevronske mrež predstavlja umetna nevronska celica (v nadaljevanju nevron), ki je osnovni gradnik zveznih modelov. Delovanje nevrna (glej sliko 10) poteka tako, da vsak nevron u_i , glede na prispele impulze izračuna svojo izhodno vrednost – aktivacijo in jo posreduje naslednjemu nevronu. Praviloma vsi nevroni uporabljajo enake algoritme za računanje svoje aktivacije. Vstopni podatki so aktivacije spodaj ležečih nevronov in njihove uteži, kjer oznaka w_{ij} predstavlja utež od nevrna u_i proti nevronu u_j . V i -tem nevronu se aktivacija u_i izračuna na naslednji način (G a l l a n t, 1993):

1. Nevron najprej izračuna obteženo vsoto aktivacij iz direktno povezanih spodaj ležečih nevronov:

$$S_i = \sum_{j=0}^n w_{ij}u_j$$

2. V naslednjem koraku s pomočjo preklopne funkcije izračuna aktivacijo

$$u_i = f(S_i)$$

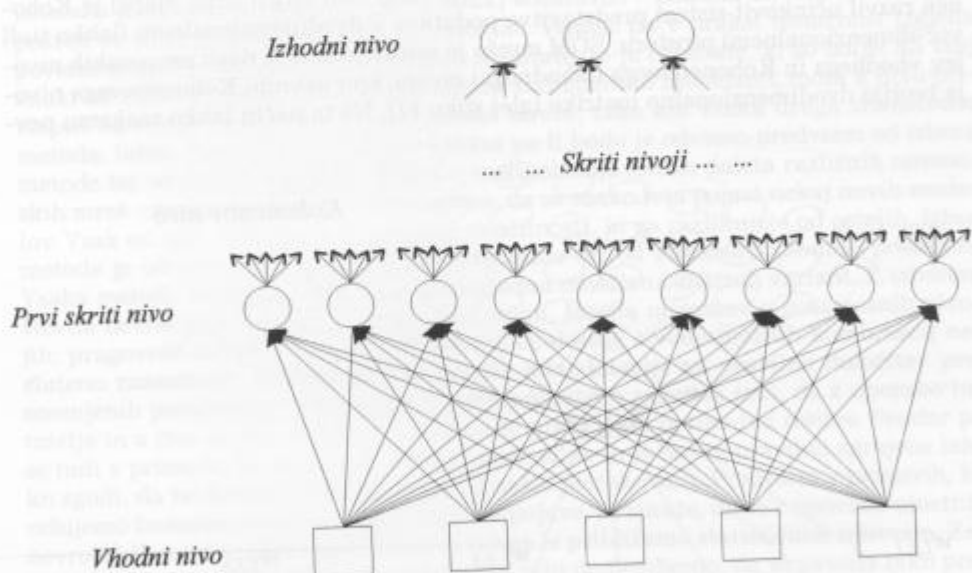


Sl. 10. Umetni nevron - preklopna celica (G a l l a n t, 1993)

V nadaljevanju sta na kratko opisana dva modela nevronske mreže, ki skupno tvorita FMC (ang. Feature Map Classifier) mrežo: BPG in SOM.

BPG (ang. BackPropagation)

BPG nevronska mreža je verjetno v tem trenutku najbolj razširjena, najlažje razumljiva in najbolj pogosto uporabljena nevronska mreža za reševanju klasifikacijskih problemov. Bistvo BPG mreže je njena večnivojska struktura in sistem učenja, razvit ter izpopolnjen v sedemdesetih in osemdesetih letih (W e r b o s, 1976, M c C l e l l a n d in R u m e l h a r t, 1986 ter P a r k e r, 1985). Nevroni so organizirani v večih nivojih (glej sliko 11), tako da signal potuje od spodnjega nivoja proti zgornjemu. Prvi nivo imenujemo tudi vhodni nivo. Vanj vstopajo vhodni podatki. V primeru klasifikacije satelitskega posnetka ga sestavlja 7 nevronov (za 7 spektralnih kanalov). Klasifikacija poteka na nmaslednji način. Signal se iz vhodnega nivoja preko obteženih povezav med nevroni prenese na višje ležeče skrite nivoje vse dokler ne doseže zadnjega izhodnega nivoja, ki predstavlja ciljne klasifikacijske razrede. Vsak od nevronov v tem razredu predstavlja po en razred. Ko signal doseže izhodni nivo, se v njem izračunajo obtežene vsote. Neuron z največjo obteženo vsoto je proglašen za zmagovalca, kar pomeni, da se vhodnim podatkom pripiše razred, ki ga ta nevron predstavlja.



Sl. 11. Večnivojska nevronska mreža

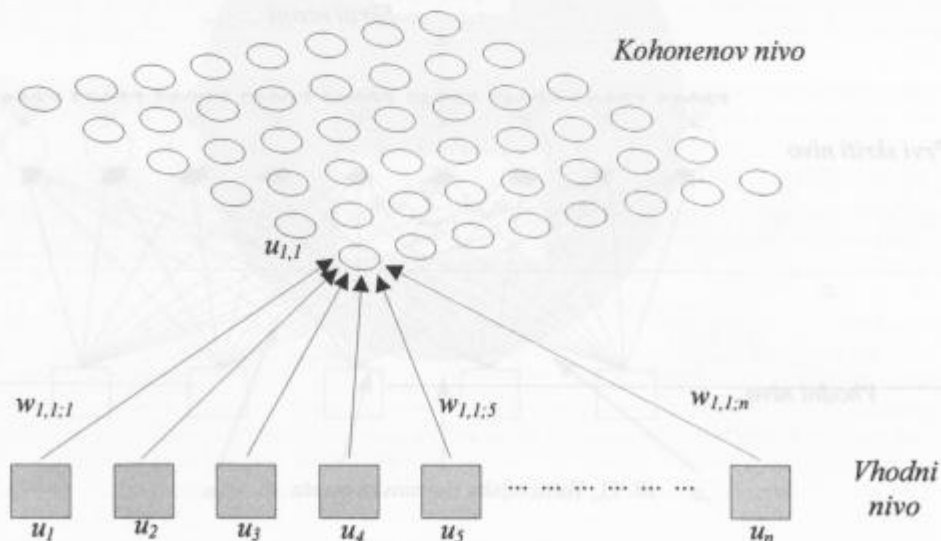
BPG mreža je svoje ime dobila po nadzorovanem načinu učenja, ki poteka v dveh korakih. V prvem koraku signal potuje preko celotne mreže do izhodnega nivoja. V izhodnem nivoju se dobljeni rezultat primerja z že prej znanim pravilnim rezultatom. Na ta način se izračuna napaka mreže. V drugem koraku napaka potuje navzdol po mreži, od izhodnega proti vhodnemu nivoju. Za vsako povezavo (utež) med nevroni se najprej izračuna njen prispevek k napaki ter nato utež premakne v smeri zmanjšanja skupna napake. Proces učenja je iterativen in poteka dokler se napaka ne ustali in se z nadaljnim učenjem ne zmanjšuje več.

Matematično ozadje je dokaj zapleteno in presega okvire tega članka. Zato svetujem bralcu, ki ga področje bolj zanima, da si ogleda strokovno literaturo (G a l l a n t, 1993).

SOM - Samo Organizirajoče Matrike

V prejšnjem poglavju je opisana tipična metoda za nadzorovanega učenja, ki zahteva, da v procesu učenja mreži skupaj z vhodnimi podatki predstavimo tudi pravilne rezultate. Poleg takih metod so se zelo uveljavili tudi postopki nenadzorovanega učenja, ki med seboj združujejo podatke glede na njihovo podobnost. Izjemno zanimivo področje samoorganiziranja pri nevronske mrežah je prvi načel Kohonen (K o h o n e n, 1984), ki ni le razvil ustrezne teorije ampak jo je tudi na široko uveljavil in vpeljal v reševanje praktičnih problemov.

Kadarkoli upravljamo z večdimenzionalnimi podatki, se vedno zastavlja vprašanje njihove najboljše predstavitve. S teorijo SOM (ang. Self Organising Maps) je Kohonen razvil učinkovit sistem predstavitve podatkov v dvodimenzionalnem (lahko tudi več-dimenzionalnem) prostoru. SOM mreža je sestavljena iz dveh nevronske nivojev, vhodnega in Kohonenovega (izhodnega) nivoja, kjer nevroni Kohonenovega nivoja tvorijo dvodimenzionalno matriko (glej sliko 12). Na ta način lahko vsakemu nev-



Sl. 12. Struktura SOM (G a l l a n t, 1993)

ronu Kohonenovega nivoja določimo njegove sosedo. V fazi učenja se uteži med obema nivojema samo organizirajo tako, da podobni vhodni podatki aktivirajo bližnje ležeče izhodne nevrone. S tem je doseženo, da razdalja med nevroni predstavlja mero za podobnost. Zgled za tako strukturo najdemo v možganih sesalcev, kjer dražljaji bližnjih točk na telesu sprožajo tudi bližnje nevrnske celice v možganih.

Moč SOM je v sposobnosti hitrega organiziranja velikega števila podatkov v n -dimenzionalno matriko. To je v bistvu nelinearna projekcija verjetnostne gostotne funkcije visoko-dimenzijskih podatkov v dvo ali več dimenzionalni prostor (Kohonen et al., 1995). Na ta način lahko učinkovito preučujemo strukturo vhodnih podatkov in ugotovljamo relacije med njimi. Če primerjamo to metodo s klasičnimi statističnimi clustreskimi metodami, je njena glavna prednost v nelinearnosti projekcije.

V procesu samoorganiziranja je včasih zaželeno, da vhodne vektorje povežemo z že znanimi končnimi rezultati (klasifikacija) podobno kot to dela BPG mreža. V takem primeru se SOM razširi z dodatnim izhodnim nivojem. Uteži med Kohonenovim nivojem in izhodnim nivojem nato določimo z BPG pravilom. Na ta način dobimo FMC (Feature Map Classifier) nevronske mreže.

Prednosti in slabosti umetnih nevronskih mrež

Delo z umetnimi nevronskimi mrežami lahko pod pogojem, da nam je dostopna ustrežna programska oprema, izpade dokaj enostavno - podatki se vstavijo v mrežo, počne se učni proces in počaka na rezultat. Vendar pa v praksi resničnost izgleda povsem drugače. Kdor želi dobiti dobre rezultate, to je rezultate, ki so boljši ali vsaj enaki od tistih pridobljenih s standardnimi statističnimi metodami, mora k delu pristopiti na resen način. Umetne nevrnske mreže, tako kot vsaka druga znanstvena metoda, lahko dajo dobre rezultate, kakšni pa ti bodo je odvisno predvsem od izbora metode ter od načina uporabe. Danes v svetu obstaja široka paleta različnih nevronskih mrež - razvoj se odvija s tako naglico, da se vsako leto pojavi nekaj novih modelov. Vsak od njih vsebuje svoje posebne značilnosti, ki ga razlikujejo od ostalih. Izbor metode je odvisen predvsem od vrste problema ter od strukture vhodnih podatkov. Vsaka metoda nadalje predstavlja nepregledno množico različnih variant. Z izborom števila nevronskih nivojev, povezav med njimi, števila nevronov v posameznih nivojih, pragovnih funkcij, učilnih algoritmov, Ö, doseže število možnih kombinacij nesluteno razsežnost. Trenutno še ni razvite metodologije za pravilno določitev prej omenjenih parametrov. Uporabnik je zato prepuščen samemu sebi, da z uporabo intuicije in s čim večjim številom poiskusnih mrež najde optimalno rešitev. Vendar pa se tudi v primeru, da je izbrana metoda optimalna in je mreža pravilno zgrajena lahko zgodi, da bo končni rezultat slabši od naših pričakovanj. Predvsem v primerih, ko rešujemo linearne oziroma skoraj linearne pojave, se izkaže, da se z uporabo umetnih nevronskih mrež v najboljšem primeru lahko le približamo statističnim rešitvam. Zaradi vsega prej naštetega je za uporabnika zelo pomembno, da se zaveda tako prednosti, kot tudi slabosti umetnih nevronskih mrež.

Prednosti

Umetne nevronske mreže odlikujejo predvsem naslednje lastnosti:

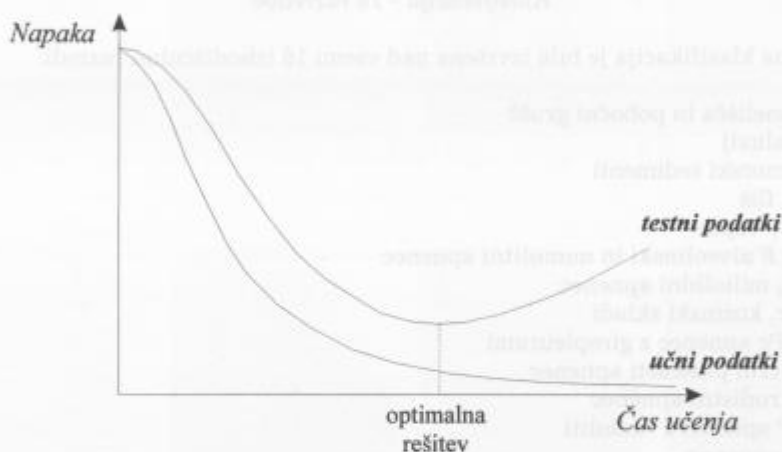
- Sposobne so se učiti iz podatkov. Tudi v primerih, ko nam ni dostopno znanje o zakonitostih, ki vplivajo na nek pojav, lahko z uporabo nevronskih mrež uspešno modeliramo njegovo delovanje.
- Rešitve pridobljene na tak način so nelinearne.
- Vsebujejo prirojeno sposobnost posploševanja.
- Odlično rešuje težave, ki pri statističnih metodah lahko nastanejo zaradi medsebojne odvisnosti vhodnih spremenljivk.
- Zaradi velike sposobnosti posploševanja zelo dobro rešujejo težave, ki nastanejo zaradi šuma v vhodnih podatkih.
- Tudi v primerih, ko v mrežo vstopajo le delni vhodni podatki, torej ko del podatkov manjka, so nevronske mreže zaradi razpršenega zapisa znanja v utežeh sposobne izdelati relativno dobre rešitve. To pomeni, da so sposobne sklepati, kakšen naj bi bil manjkajoči del podatkov.
- Ko je mreža enkrat naučena, lahko z njo zelo hitro obdelujemo podatke.

Slabosti

Ob vsestranski uporabnosti se je potrebno zavedati tudi slabih strani nevronskih mrež. Mnoge od njih so bile omenjene že v prejšnjih poglavjih, kljub temu pa je dobro če si jih na tem mestu še enkrat ogledamo v združeni obliki. Z vsakodnevnim razvojem sicer prihajajo nove in nove rešitve, vendar so uporabniki trenutno še vedno soočeni z naslednjimi slabostmi:

- Za uspešno učenje potrebujemo veliko število kvalitetnih vhodnih podatkov. V primeru, da podatki niso kvalitetni, je taka tudi rešitev (ang. garbage in - garbage out).
- Iskanje optimalne nevronske mreže ter njeno učenje je lahko zelo dolgotrajen proces.
- Razen ART druge nevronske mreže ne rešujejo problema hkratnega pomnjenja novih in ohranjanja starih vzorcev. Zato je zelo pomembno, da so vhodni podatki pravilno strukturirani - v primeru klasifikacijskih nevronskih mrež morajo biti v vhodnih podatkih vsi razredi enako zastopani.
- Pri gradientnih učilnih algoritmih se pojavlja problem lokalnih minimumov.
- Rešitve, ki jih pridobimo, so ponavadi nejasne. V večini primerov je nemogoče ugotoviti kakšne so zakonitosti, ki privedejo sistem do pravega delovanja. V literaturi pogosto nevronske mreže primerjajo s črno skrinjico - na eni strani podatki vstopajo, na drugi izstopajo, kakšni so notranji mehanizmi pa ostaja očem skrito. Iz tega sledi, da moramo biti zelo previdni pri izboru metode s katero želimo interpretirati podatke. Vnaprej moramo določiti namen našega dela. Če želimo le postaviti nek model, ki bo pravilno deloval in nas mehanizmi ne zanimajo, so nevronske mreže vsekakor priporočljive. Nasprotno pa v primeru, ko želimo analizirati postopke in dognati zakonitosti, nevronske mreže le redkokdaj pridejo v poštev.
- Težave zaradi »pretreniranosti«. Cilj procesa učenja je doseči čim boljše prilagajanje učnim podatkom. S spreminjanjem uteži v mreži skušamo delovanje modela privedi do čim manjše napake. Seveda pa je glavni cilj izdelati model, ki ne bo deloval le na učnih podatkih ampak se bo enako dobro obnesel tudi na katerikoli

drugih podatkih. Zato je potrebno v postopku učenja neprenehoma izvajati tudi postopke testiranja. V ta namen je potrebno uporabiti testne podatke, ki niso enaki učnim. Preučevanje napake (glej sliko 13) kaže na to, da se ta za učne in testne podatke ne zmanjšuje enako hitro. V neki točki pa se napaka na testnih podatkih začne povečevati kljub temu, da se nad učnimi podatki še naprej zmanjšuje. V tej prevojni točki je dosežen trenutek, ko rečemo, da je od tu naprej mreža »pretrenirana«. Predolg proces učenja vodi v efekt slabega posploševanja. Z drugimi besedami lahko rečemo, da je mreža izgubila sposobnost posploševanja, pričel pa se je proces memoriranja učnih podatkov. S tem se v utežeh v bistvu zapisuje vsak učni podatek posebej, hkrati s tem pa se izgublja sposobnost uspešne obdelave doslej še neznanih podatkov. Učenje je potrebno v prevojni točki prekiniti. Načeloma bi napako nad učnimi podatki lahko poljubno zmanjšali z povečevanjem števila nevronov, vendar pa bi hkrati s tem izgubili sposobnost posploševanja.



Sl. 13. Napaka na učnih in testnih podatkih ni enaka

Klasifikacija satelitskega posnetka z uporabo FMC

V nadaljevanju sledi prikaz klasifikacije z FMC (ang. Feature Map Classifier). To je metoda, ki kombinira nenadzorovano učenje SOM in nadzorovano učenje po metodi BPG. Uporabljena mreža je bila sestavljena iz:

- vhodnega nivoja nevronov, ki vsebuje sedem vhodnih nevronov od katerih vsak predstavlja po en kanal Landsat TM posnetka.
- SOM nivo oziroma Kohonenov nivo sestavlja matriko 20×20 nevronov, kar pomeni, da je sestavljen iz 400 nevronov.
- Izhodni nivo nevronov je bil odvisno od primera (števila razredov) sestavljen iz 16, 9 in 5 izhodnih nevronov od katerih vsak predstavlja po en razred.

Učenje je potekalo v dveh korakih. V prvem je bil izveden nenadzorovani del učenja, v katerem so se določile uteži med vhodnim in Kohonenovim nivojem. S tem se je izvedla samo-organizacija matrike. To pomeni, da bližnji nevroni zmagujejo

(vsota vseh prispevkov iz vhodnega nivoja je najvišja) kadar so si vhodni podatki podobni. V drugi fazi učenja uteži Kohonenovega nivoja mirujejo, nadzorovano učenje pa po BPG metodi poteka med Kohonenovim in izhodnim nivojem. Za učenje in testiranje sta bili izdelani dve datoteki s po 4000 vhodnih in izhodnih podatkov v vsaki. Učenje je potekalo tako, da je v vsakem iteracijskem koraku v učni proces vstopilo 200 naključno izbranih vektorjev (vhodnih podatkov) in njim pripadajočih razredov. Na tej osnovi je bila izračunana napaka, utežni vektorji pa so se za majhen delež premaknili v smeri največjega zmanjšanja napake. Za uspešno organiziranje SOM nivoja je bilo potrebnih 80000 iteracij, učenje izhodnega nivoja pa je v odvisnosti od števila izhodnih razredov nihalo od 250000 za 16 razredov do 150000 za 5 razredov. Pri večjem številu iteracijskih korakov so se že pokazali prvi znaki »pretreniranosti«.

Klasifikacija - 16 razredov

Začetna klasifikacija je bila izvršena nad vsemi 16 izhodišnimi razredi:

1. Q melišča in pobočni grušč
2. Q aluvij
3. Q morski sedimenti
4. 2E_2 fliš
5. $^{12}E_2$ lapor
6. Pc,E alveolinski in numulitni apnenec
7. Pc₂ miliolidni apnenec
8. ₂Pc₁ kozinski skladi
9. K,Pc apnenec z giropleurami
10. K^c črni ploščasti apnenec
11. K₂^r rudistni apnenec
12. K₂^{r,2} apnenci z radioliti
13. K₂^r apnenec
14. K_{1,2}^{r,2} rudistni apnenec z vložki dolomita
15. K_{1,2}^r dolomit, breča in apnenec
16. K_{1,2} pretežno dolomit

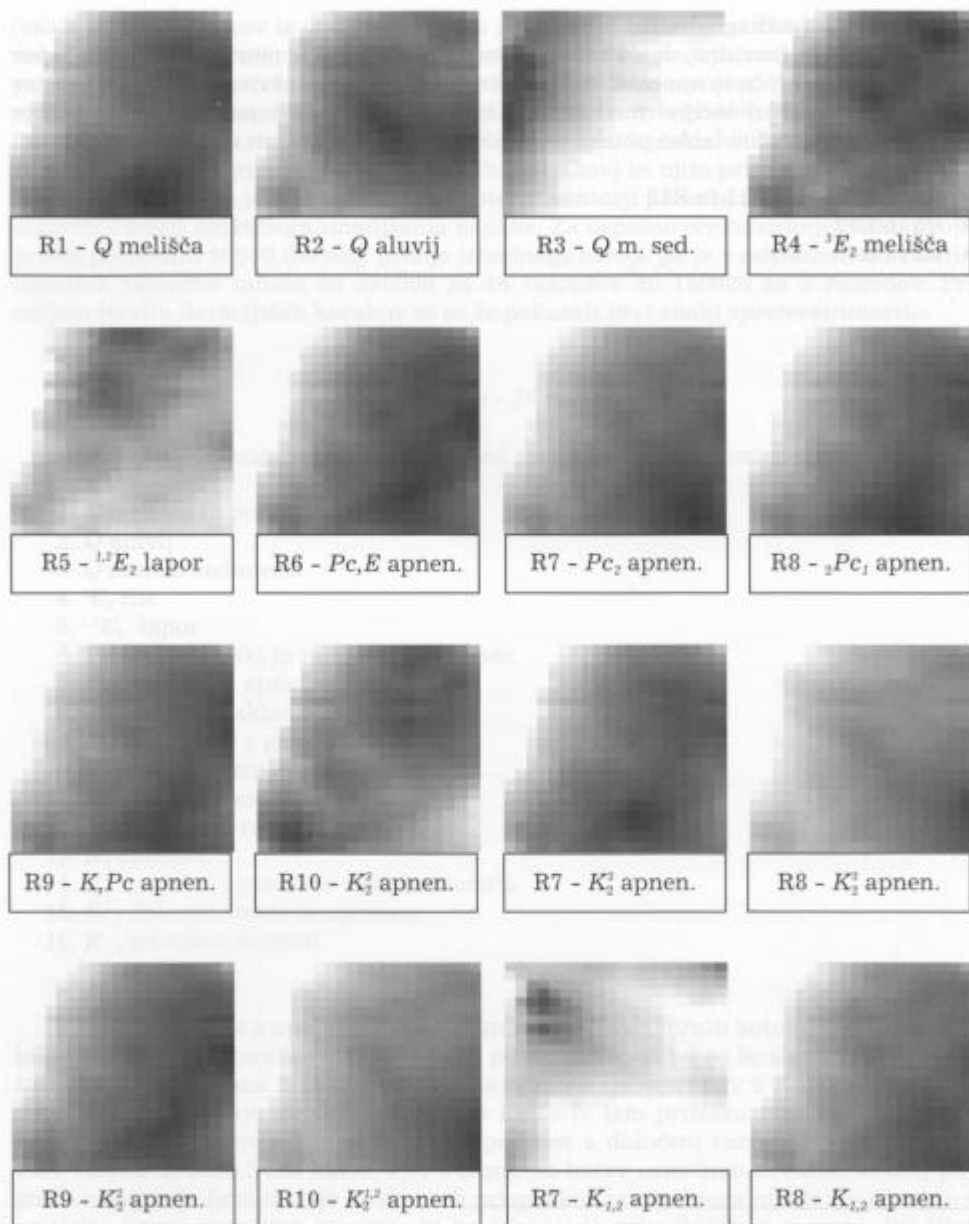
Rezultati dobljeni z uporabo FMC so zanimivi iz dveh zornih kotov. Po eni strani si lahko ogledamo natančnost klasifikacije, po drugi strani pa so še zlasti zanimivi rezultati nenadzorovane faze učenja - samoorganizacije nevronov v Kohonenovem nivoju. Ti predstavljajo dvodimenzionalno karto (v tem primeru razsežnosti 20*20), kjer je vsakemu nevronu predpisana pripadnost v določeni razred. Na ta način za vsak razred dobimo SOM karto, kjer s temnejšo barvo označimo nevrone, ki bolj pogosto zmagujejo (imajo višjo vsoto vseh prispevkov iz vhodnega nivoja) in obratno s svetlejšo barvo označimo nevrone, ki ne izkazujejo pripadnosti k razredu. Pri litološki klasifikaciji v 16 razredov dobimo 16 SOM kart - za vsak razred po eno, kjer lahko glede na podobnost pojavljanja preučujemo podobnost oziroma razliko med razredi. Take karte so zlasti uporabne pri umetno postavljenih kategorizacijah (npr. razdelitev terena glede na stabilnost), kjer je na ta način možno odpraviti slabosti v klasifikaciji, oziroma na novo postaviti razrede, ki so med seboj bolj ločljivi. V primeru litološke klasifikacije temu ni tako, saj so razredi že vnaprej trdno določeni gle-

de na geološko podlago (karto).

Iz slike 14 je razvidno, da so zares dobro diferencirani le morski sedimenti, lapor in K_1 dolomit, breča in apnenec, medtem ko ostali razredi pokrivajo podoben prostor oziroma niso lahko ločljivi med sabo. Kljub vsemu se da ugotoviti, da nadaljnje združevanje razredov lahko poteka po enakem postopku kot pri delu s standardnimi metodami:

- R6, R7, R8, R9, R11 in R13
- R5 in R12
- R2 in R4





SL 14. SOM karte za 16 razredov

Nekoliko vprašljivo je le združevanje razredov R5 in R12, saj bi razred R12 veliko lažje uvrstili v razred, ki združuje razrede R6, R7, R8, R9, R11 in R13. Zaradi primerljivosti s standardnimi metodami je bilo v nadaljevanju izvedeno prvotno zastavljeno združevanje razredov.

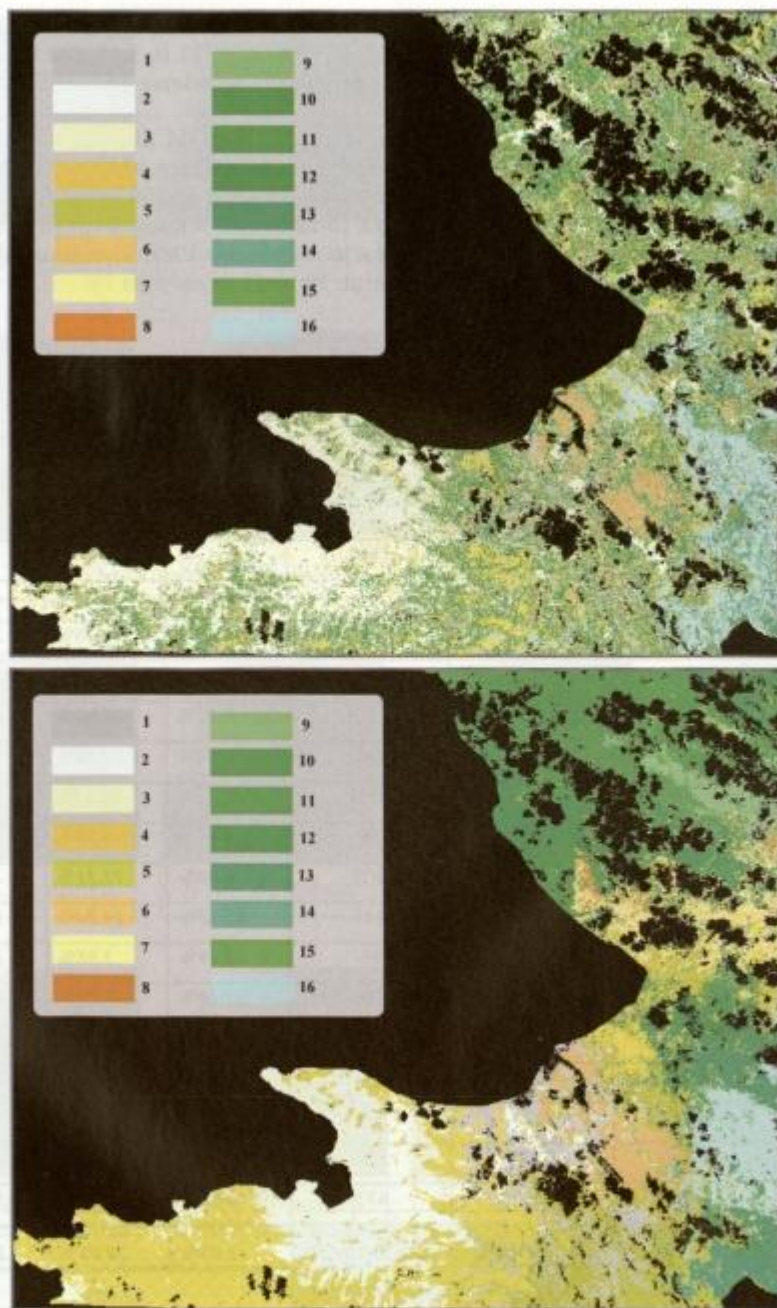
Po zaključku nenadzorovane faze učenja, torej ko je SOM nivo že naučen in so uteži do vhodnega nivoja določene, je bila izvedena še nadzorovana faza učenja po metodi BPG. Za uspešno izvedeno učenje je bilo potrebnih še 250.000 učnih iteracij. Na ta način je bil izdelan FMC klasifikator za 16 razredov. V nadaljevanju je bila nad satelitskim posnetkom obravnavanega področja z uporabo FMC klasifikatorja izdelana klasifikacija. Rezultati so podani v tabelah 10 in 11 in na sliki 15.

Tabela 10. Pravilnost klasifikacije z FMC metodo za 16 razredov

Razred	Število celic v razredu	Število celic klasificiranih v razred	Število pravilno klasificiranih celic	NP _n	UN _n	P _n
neklas.	7030	8432	6507	---	---	---
1	138	3860	87	63.04%	2.25%	11.91%
2	1408	5583	801	56.89%	14.35%	28.57%
3	411	2160	321	78.10%	14.86%	34.07%
4	14999	1970	1375	9.17%	69.80%	25.30%
5	242	908	26	10.74%	2.86%	5.54%
6	6616	2288	1331	20.12%	58.17%	34.21%
7	960	780	59	6.15%	7.56%	6.82%
8	1656	816	107	6.46%	13.11%	9.20%
9	1585	1707	243	15.33%	14.24%	14.77%
10	304	2175	86	28.29%	3.95%	10.57%
11	1664	1620	186	11.18%	11.48%	11.33%
12	1204	948	206	17.11%	21.73%	19.28%
13	2608	4399	998	38.27%	22.69%	29.47%
14	1403	2123	661	47.11%	31.14%	38.30%
15	1380	2125	304	22.03%	14.31%	17.76%
16	652	2366	433	66.41%	18.30%	34.86%
Povprečna vrednost:				31.03%	20.05%	20.75%
Skupna natančnost SN:				31.02%		

Tabela 11 in 12 ter sliki 16.

in X odzornega s splošnim obsevom ni (pregled vidljivost 31. za splošni obsevi) 31. 38 (tabele) izračunati V



Sl. 15. Rezultat FMC klasifikacije za 16 razredov (zgoraj) in enaka klasifikacija z uporabo X in Y koordinat (spodaj)

Tabela 11. Klasifikacijska tabela za FMC klasifikacijo v 16 razredov

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
0	0	4	14	384	8	463	96	103	141	16	186	61	243	18	182	6
R1	87	27	1	1895	51	631	76	126	195	33	218	42	213	35	161	4
R2	2	801	51	4065	1	183	19	63	97	41	45	15	88	14	89	0
R3	0	376	321	1049	9	194	9	20	12	2	2	9	105	1	38	0
R4	6	30	0	1375	16	181	26	45	36	13	67	7	112	4	49	0
R5	2	2	0	303	26	278	39	24	36	3	71	31	35	10	11	8
R6	3	25	0	284	15	1331	63	91	96	4	75	98	66	93	11	9
R7	0	10	0	213	3	211	59	50	28	3	36	64	54	15	10	9
R8	0	7	23	140	2	217	38	107	98	9	41	34	27	37	13	5
R9	2	18	0	407	12	363	73	162	243	28	107	24	133	25	99	2
R10	9	73	0	1161	2	111	52	137	150	86	146	5	71	1	167	0
R11	4	12	0	659	13	289	44	52	52	24	186	26	175	13	43	1
R12	2	1	0	95	14	257	65	65	34	0	21	206	19	97	1	43
R13	8	4	0	1524	23	703	128	88	166	23	339	43	998	25	195	4
R14	4	1	0	132	11	482	66	248	64	0	12	271	31	661	7	128
R15	5	17	1	928	19	216	39	68	126	19	83	5	181	1	304	0
R16	4	0	0	385	17	506	68	207	11	0	29	263	57	353	0	433

Klasifikacija - 9 razredov

Klasifikacija za 9 razredov je zaradi lažje primerljivosti z statističnimi metodami potekala nad istimi devetimi razredi kot v poglavju o klasifikaciji s standardnimi metodami. Ciljni razredi so torej:

1. Q melišča in pobočni grušč
2. Q aluvij + 2E_2 fliš
3. Q morski sedimenti
4. $^{1,2}E_2$ lapor + $K_2^{1,2}$ apnenec z radioliti
5. Pc, E alveolinski in numulitni apnenec + Pc_2 miliolidni apnenec + 2Pc_1 kozinski skladi + K, Pc apnenec z giropleurami + $K_2^{1,2}$ rudistni apnenec + $K_2^{1,2}$ apnenec
6. $K_2^{1,2}$ črni ploščasti apneneci
7. $K_2^{1,2}$ rudistni apnenec z vložki dolomita
8. $K_{1,2}$ dolomit, breča in apnenec
9. $K_{1,2}$ pretežno dolomit

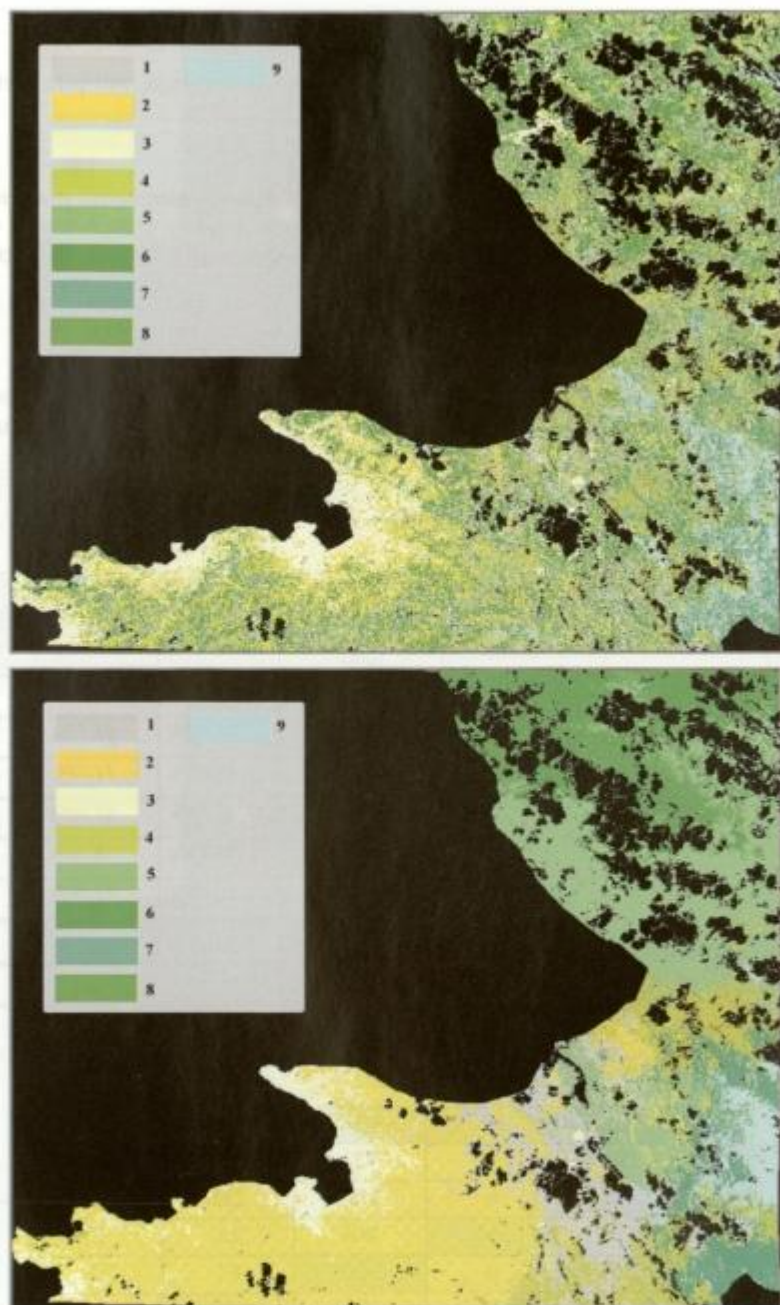
FMC klasifikacija za 9 razredov je potekala na enak način kot pri razvrščanju v 16 razredov, le da je izhodni nevronski nivo vseboval le 9 nevronov. Rezultati so podani v tabelah 12 in 13 ter na sliki 16.

Tabela 12. Natančnost za FMC klasifikacijo z 9 razredi

Razred	Število celic v razredu	Število celic klasificiranih v razred	Število pravilno klasificiranih celic	NP _n	UN _n	P _n
neklas.	7030	8287	6461	---	---	---
1	138	5507	91	65.94%	1.65%	32.99%
2	16407	6580	5330	32.49%	81.00%	51.30%
3	411	3253	360	87.59%	11.07%	31.14%
4	1446	4799	465	32.16%	9.69%	17.65%
5	15088	1084	737	4.88%	67.99%	18.22%
6	304	6321	185	60.86%	2.93%	13.35%
7	1403	3067	760	54.17%	24.78%	36.64%
8	1380	2871	302	21.88%	10.52%	15.17%
9	652	2490	407	62.42%	16.35%	31.95%
Povprečna vrednost:				46.93%	25.11%	27.60%
Skupna natančnost SN:				34.11%		

Tabela 13. Klasifikacijska matrika za FMC z 9 razredi

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
0	1	357	14	64	1166	17	15	182	10
R1	91	2223	0	117	2675	42	27	249	2
R2	3	5330	10	53	984	28	15	139	1
R3	3	2155	360	23	578	2	3	75	0
R4	2	1036	0	465	2873	6	143	15	62
R5	0	293	0	15	737	1	10	25	1
R6	22	3240	0	70	2353	185	43	387	5
R7	10	233	0	340	1546	2	760	6	164
R8	4	1121	4	27	1233	20	9	302	0
R9	2	419	23	272	943	1	378	0	407



Sl. 16. Rezultat FMC klasifikacije za 9 razredov (zg.) in enaka klasifikacija z uporabo X in Y koordinat (sp.)

Klasifikacija - 5 razredov

V zadnjem primeru klasifikacije z FMC je v proces učenja vstopilo pet razre-

1. Q melišča in pobočni grušč + Q aluvij + 3E_2 fliš
2. Q morski sedimenti
3. ${}^{12}E_2$ lapor + K_2^3 apnec z radioliti + Pc,E alveolinski in numulitni apnec + Pc₂ miliolidni apnec + 3Pc_1 kozinski skladi + K,Pc apnec z giropleurami + K_2^3 rudistni apnec + K_2^3 apnec + K_2^3 črni ploščasti apnec + K_2^3 rudistni apnec z vlozki dolomita
4. $K_{1,2}$ dolomit, breča in apnec
5. $K_{1,2}$ pretežno dolomit

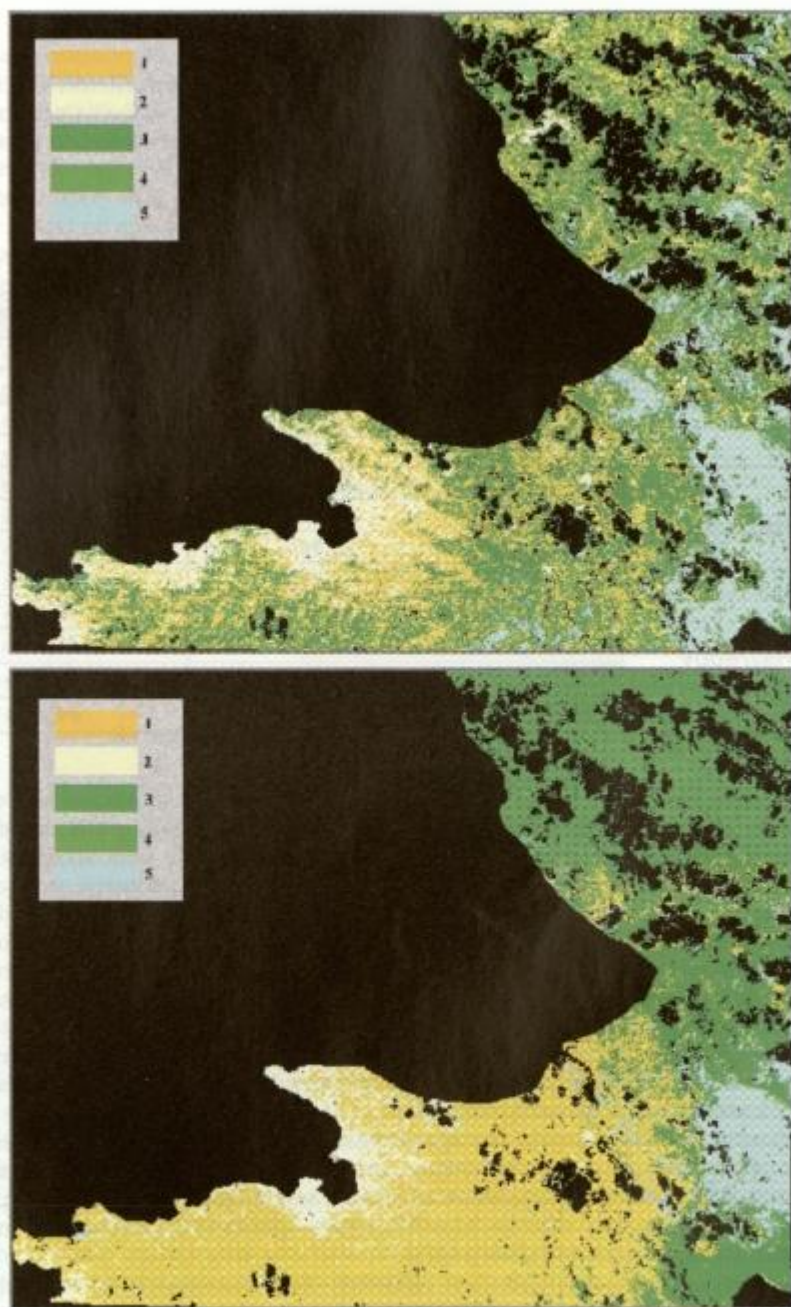
dov: FMC klasifikacija za 9 razredov je potekala na enak način kot pri razvrščanju v 9 in 16 razredov, le da je izhodni nevronske nivo vseboval le 5 nevronov. Rezultati so podani v tabelah 14 in 15 ter na sliki 17.

Tabela 14. Natančnost za FMC klasifikacijo s 5 razredi

Razred	Število celic v razredu	Število celic klasificiranih v razred	Število pravilno klasificiranih celic	NP _n	UN _n	P _n
neklas.	7030	7578	6224	---	---	---
1	16545	9896	6111	36,94%	61,75%	47,76%
2	411	3095	365	88,81%	11,79%	32,36%
3	18241	7887	5489	30,09%	69,60%	45,76%
4	1380	10992	908	65,80%	8,26%	23,31%
5	652	4811	590	90,49%	12,26%	33,31%
Povprečna vrednost:				62,43%	32,73%	36,50%
Skupna natančnost SN:				44,48%		

Tabela 15. Klasifikacijska tabela za FMC klasifikacijo s 5 razredi

	R1	R2	R3	R4	R5
0	283	14	921	133	3
R1	6111	6	3455	231	2
R2	2288	365	404	26	0
R3	2167	0	5489	81	55
R4	4910	26	4662	908	2
R5	786	0	3310	1	590



Sl.17. Rezultat FMC klasifikacije za 9 razredov (zg.) in enaka klasifikacija z uporabo X in Y koordinat (sp.)

Analiza uspešnosti klasifikacijskih metod

Namen zgoraj opisanih del je bil ugotoviti uporabnost dveh različnih klasifikacijskih metod, standardne statistične metode z uporabo kriterija največje podobnosti in samoorganizirajočih matrik z nadgradnjo v FMC. Primerjava obeh metod je podana v tabeli 16.

Tabela 16. Primerjava klasifikacijskih metod

	Povprečje	Standardni pristop	FMC pristop
16 Razredov	NP _n	25.69%	31.03%
	UN _n	21.14%	20.05%
	P _n	14.82%	20.75%
	SN	23.39%	31.02%
9 Razredov	NP _n	42.45%	46.93%
	UN _n	26.27%	25.11%
	P _n	22.16%	27,60%
	SN	29.42%	34.11%
5 Razredov	NP _n	59.85%	62,43%
	UN _n	40.47%	32,73%
	P _n	38.87%	36,50%
	SN	48.80%	44,48%

Iz dobljenih rezultatov lahko ugotovimo, da klasifikacija z umetnimi nevronskimi mrežami - v tem primeru z metodo FMC ni vedno boljša od standardnih metod. V primeru klasifikacije 16 razredov se metoda po kriteriju največje podobnosti izkaže za slabšo v vseh kriterijih, razlika je že manjša v primeru klasifikacije v 9 razredov, medtem ko se v primeru klasifikacije v 5 razredov standardni pristop izkaže za boljšega v vseh kriterijih razen v povprečni natančnosti postopka. Natančnost obeh metod se z zmanjševanjem števila razredov približuje, pri majhnem številu razredov pa se standardni pristop izkaže za boljšega od FMC. To je posledica naslednjih dejstev:

- Večje število razredov zahteva močnejše razmejitvene sposobnosti multivariatnega prostora. To je ena od pglavitnih prednosti nevronskih mrež zato se te praviloma bolje izkažejo v primeru večih razredov.
- Standardne metode delujejo na statističnih načelih. To pomeni, da morajo biti vhodni podatki normalno porazdeljeni, prav tako pa mora biti porazdelitev normalna znotraj posameznih razredov. Z združevanjem razredov v splošnem pridobivamo na normalnosti, zato se klasifikacijske sposobnosti statističnih metod z manjšim številom razredov izboljšujejo.
- Združevanje med seboj podobnih si razredov - to je razredov, ki se med seboj prekrivajo/prepletajo prispeva k njihovi večji homogenosti in lažji ločljivosti od drugih razredov. Moč umetnih nevronskih mrež je med drugim tudi v boljšem omejevanju multivariatnega prostora zato homogenizacija razredov v manjši meri pripelje k boljši natančnosti kot je to primer pri standardnih metodah.

V nadaljevanju je potrebno opozoriti še na en način klasifikacij satelitskih posnetkov, ki v primeru statističnih metod ni smislen. Če k vhodnim podatkom dodamo X in Y koordinati (7 TM kanalov + X + Y) se klasifikacijske sposobnosti nevronske mreže izredno povečajo (glej tabelo 17 in slike 15, 16 in 17). V model smo s tem vpeljali še prostorsko lego točk. Tako naučen model glede na geografsko lego vhodnih podatkov že vnaprej določenim razredom predpisuje večjo verjetnost pojavljanja. Pri tem se je potrebno zavedati naslednjih omejitev:

- Učni podatki, ki vstopajo v model v učni fazi morajo biti enakomerno porazdeljeni po prostoru.
- Tako izdelan model je uporaben samo na tem področju. To ne more biti univerzalni klasifikator ampak je strogo vezan na specifični primer. Pri ugotavljanju litoloških mej se uporabnost tovrstnih klasifikatorjev izkaže zlasti pri prehodu iz manjših v večja merila.

Tabela 17. Natančnost FMC klasifikacij z upoštevanom prostorsko lego

	Povprečje	UNN + XY
16 razredov	NP _n	53.21%
	UN _n	40.17%
	SN	49.99%
9 razredov	NP _n	77.63%
	UN _n	42.08%
	SN	66.19%
5 razredov	NP _n	77.97%
	UN _n	50.52%
	SN	64.44%

Zaključek

Obdelava digitalnih podob, v našem primeru satelitskih posnetkov, v slovenskem prostoru še ni doživela uveljavitve ampak predstavlja le eno od metod, ki bi lahko v prihodnosti dala pozitivne rezultate. Zaradi poraščenosti slovenskega ozemlja je geološka interpretacija satelitskih posnetkov močno otežena, vendar pa v svetu v naslednjih nekaj letih na tem področju napovedujejo pravo revolucijo. Že letos bo lansiran prvi komercialni satelit z monokromatsko ločljivostjo 1m in pankromatsko 4m. Hkrati s tem se pričakuje prehod na hiperspektralne posnetke (skenerji z 200 in več kanali) in večjo radiometrično ločljivostjo. Vse večja komercializacija in ostri konkurenčni boj že sedaj znižuje cenovna razmerja, tako da lahko v kratkem pričakujemo, da bodo posnetki dostopni za razmeroma nizko ceno. Če k temu dodamo še razvoj novih interpretativnih metod, lahko zelo kmalu pričakujemo uporabne rezultate tudi za taka ozemlja kot je slovensko. Odpirajo se številne možnosti:

- Pomoč pri določanju skritih litoloških mej, zlasti pri prehodu iz manjših v večja merila.

- Pomoč terenskim geologom pri določanju obhodnih poti.
- Izdelava bolj natančnih tematskih kart (prehod v večje merilo) s korelacijo tematskih kart manjših meril in satelitskih posnetkov (npr. geokemične karte).
- Metode uporabljene pri digitalni obdelavi podob niso uporabne le za interpretacijo daljinsko pridobljenih podatkov ampak lahko na ta način obdelamo vse vrste prostorskih podatkov (geofizikalni, geokemični ...).
- ...

V članku je predstavljena uporaba samo-organizirajočih matrik ter njihova razširitev v FMC (ang. Feature Map Classifier) z dodajanjem BPG (ang. backpropagation) nevronskega nivoja. V primeru več razredov se je ta metoda pokazala za boljše od standardnega pristopa, ob zmanjševanju števila razredov pa se je zmanjševala tudi razlika med obema metodama. Statistične metode odlikujeta preglednost odločitvenega mehanizma in hitrost izračuna, njihova slabost pa je domneva normalne porazdelitve podatkov. V primeru, ko temu ni tako ali v primerih, ko je en razred zastopan na večih mestih spektralnega prostora statistične metode odpovejo. V nasprotju s tem umetne nevronske mreže niso odvisne od normalnosti porazdelitve in so mnogo bolj sposobne razmejiti spektralni prostor.

Velike razmejivne sposobnosti umetnih nevronske mreže bi v klasifikacijski model načeloma lahko dovoljevale vpeljavo zemljepisnih koordinat. Kljub boljši natančnosti je potrebno pri interpretaciji uporabiti veliko mero previdnosti. Uporaba zemljepisnih koordinat zahteva, da so učni podatki razporejeni enakomerno preko celotnega ozemlja, po drugi strani pa umetne nevronske mreže zahtevajo, da je vsak razred zastopan s podobnim številom primerov. Uspešnost metode je odvisna od uspešnosti v iskanju srednje poti med obema zahtevama. Postavlja se vprašanje ali uporaba zemljepisnih koordinat res prinaša željeni napredek. Če je za uspešen rezultat potrebna enakomerna zastopanost učnih podatkov preko celotnega ozemlja, to pomeni, da moramo ozemlje že vnaprej dobro poznati. V takih primerih je vprašljiva smiselnost raziskav. Pravzaprav vidim možnosti le pri prehodu iz manjših v večja merila, kjer lahko karte manjših meril služijo kot učni podatek za natančnejšo določitev mej med razredi. Ob tem bi bilo potrebno zmanjšati vpliv zemljepisnih koordinat kar bi bilo možno z njihovim »mehčanjem«² n predelavo v mehko obliko, kot jo pozna mehka logika (ang. fuzzy logic).

Literatura

- Bratko, I., Džeroski, S., Kompare, B., Walley, W.J. 1998: Analysis of Environmental Data with Machine Learning Methods, IJS, Ljubljana.
- Buser, S., 1965: Osnovna geološka karta SFRJ Gorica 100.000 (Geological map of SFRJ Gorica 1:100.000). - Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Buser, S., 1964: Tolmač lista Gorica. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 (Explanatory text for sheet Gorica. Geological map of SFRJ 1:100.000). - Zvezni geološki zavod, 50 p., Beograd.
- Gallant, S., 1993: Neural Network Learning, The MIT Press, London
- Gonzales, R.C. & Woods, R.E. 1993: Digital image processing. - Addison - Wesley Publishing Company, 716 p., Detroit.
- Gupta, R.P. 1991: Remote sensing geology. - Springer-Verlag, 356 p., Berlin.
- Hebb, D.O. 1949: The Organization of Behavior, Wiley, New York.
- Kohonen, T., 1984: Self-Organization and Associative Memory, Springer-Verlag, Berlin.
- Kohonen, T., Hynninen, J., Kangas, J., Laaksonen, J., 1995: SOM PAK The Self-Organizing Map Program Package, Helsinki University of Technology, Laboratory of Computer and Information Science, Helsinki.

Nove knjige - Book reviews

South China Karst, I. - Zbirka ZRC 19, Založba Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Ljubljana, 1998, 247 str., 212 slik, 32 tabel (16 avtorjev, med njimi 9 Slovencev in 7 Kitajcev), trdo vezano, format 22 × 30 cm, cena 6.450 SIT.

Med odlične monografije, ki jih v zadnjih letih izdaja Znanstvenoraziskovalni center SAZU, moramo šteti tudi knjigo o južnokitajskem krasu. To je druga monografija s področja krasa. Prva je bila o naši pokrajini Kras, doslej samo v angleščini, tako kot je v angleščini tudi o kitajskem krasu. Delo je nastalo kot plod mednarodnih projektov, pri katerih so v letih 1995 do 1997 sodelovali člani Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU v Postojni, Geografskega inštituta iz Kunminga in Geološkega inštituta Kitajske akademije znanosti iz Pekinga. Projekt je bil posvečen kraškim jamam in drugim kraškim pojavom, njihovemu preučevanju tudi glede na varovanje okolja in izkoriščanja. Preučevano območje je v provinci Yunnan čisto na jugu Kitajske.

Prvi del knjige je posvečen krasu v goratem Yunnanu. Na tem območju dosežejo najvišje gore okrog 6700 m. Podnebje je precej različno, od tipičnega monsunskega območju do tropskega in subtropskega visokogorskega monsunskega dela. Povprečna množina padavin je okrog 1000 mm na leto. Na severovzhodu je precej razrezan kraški plato v paleozojskih in mezozojskih karbonatnih kamninah. V osrednjem delu Yunnana so mezozojske rdeče plasti, to su gore in kotline. Na preiskovanem ozemlju so kamnine od karbona do neogena, prevladujejo karbonati debeline od 1000 do 5000 m. Ozemlje je tektonsko aktivno in letno imajo en do dva potresa šeste stopnje. Kras je razvit v apnencih, dolomitih, v sadri in anhidritu. Na splošno je Kitajska eden najbolj zakrasedih delov sveta, saj ima karbonatne kamnine kar na 1.250.000 km², od tega odpade na Yunnan in soseščino okrog 30%. Zaradi razlik v podnebjju, geoloških strukturah in drugih elementih je na Kitajskem kras od tropskega do hladnega (alpskega) in to celo na velikih višinah več tisoč metrov. Razvit je v obliki jam, kraških polj, vrtač, udornih dolin, žlebičev, imajo tudi ponvice in druge kapniške oblike.

Znaten del monografije je posvečen Shilinu - kamnitemu gozdu v pokrajini Lunan. To so vertikalno močno razjedeni apnenci, nekakšni kamniti stebri ali zobje, visoki do več metrov. Kamnine so avtorji litološko podrobno preiskali. Zanimiva so različna razmišljanja o nastanku teh pojavov. Nekateri trdijo, da kraške oblike niso odvisne od značaja karbnatne komponente in strukture kamnin, ker so podobne oblike v apnencu in dolomitu. Drugi trdijo, da je pomembna litološka osnova. Najbrž gre pri tem za kombinacijo erozije in korozije.

Na omenjenem območju so devonski in permski apnenci pokriti s terciarnimi plastmi. Preučevali so tudi fizikalne in kemične lastnosti površinske in podzemne vode, analizirali so kamnine in drugo.

Jama Jiuxiang je turistično urejena. Obiskovalce vodijo skozi več dvoran s kapniki, ki so osvetljeni v raznih barvah. To je vodna jama z izjemno velikimi ponvicami in kitajske raziskovalce malo spominja na Škocjanske jame. V preiskanih vzorcih kamnin so dobili stromatolitne, biopelmikritne in biopelsparitne dolomite. Analizirali so tudi vodo. Preučevanja so posvetili problemom denudacije in erozije krasa.

Drugi del raziskav je bil usmerjen v zahodni Guizhou. Tam so bila močna dviganja platoja od mlajšega kenozoika naprej, kar je privedlo do morfoloških razlik. Nastali so platoji in kotline z vmesnimi hribi. Pri raziskavah so upoštevali tamkajšnje podnebje, geotektonske pojave in značaj kamnin. V tem delu so več tisoč metrov debele

karbonatne kamnine od perma do triasa. Razmišljali so o okolju in vodnih sistemih, o tektoniki, o ponekod močni eroziji, nastajanju puščav in izginjanju gozda. Zanimiv je 136 m visok in 15 m širok naravni most, ostanek nekoč obsežnega jamskega sistema. Na tem območju so kartirali, preiskali apnenice in dolomite, preučevali hidrogeološke pojave in jame. Nekaj raziskovanj so posvetili jami pri vasi Xingehang. V mladopaleozojskih kamninah so številne fuzulinide in drugi fosili. Plato Yezhong je v apnencih in dolomitih od srednjega karbona do spodnjega perma. Preučili so podroben profil skozi te kamnine.

Na kraškem območju zahodnega Guizhoua so se posvetili geomorfologiji. Tam je kraški plato s podzemnimi odtoki in izrazitim pogrezanjem posameznih blokov. Tako je nastala pokrajina s koničastimi griči, visokimi do 200 m in s pobočji, nagnjenimi od 30 do 50°. Omenjajo, da so v dinarskem krasu griči nižji in manj strmi. Ugotavljali so vpliv geološke zgradbe na nastanek teh gričev. Celotno področje je star relief, v katerega je reka zarezala celo 1500 m globok kanjon. Tu so tudi kraška polja in druge kraške oblike. Raziskovalci niso pozabili na vprašanja izrabe kraške pokrajine, kjer gojijo riž, tobak in druge kulture, odvisno predvsem od množine vode in možnosti namakanja.

V zaključnem delu knjige je zanimiva primerjava med krasom pri nas in na Kitajskem. Razlike so že v starosti kamnin in njihovi strukturi. Zakrasevanje je na Kitajskem potekalo skozi daljše obdobje, od zgornje krede naprej. Pri nas so sedanji kraški pojavi nastajali od mlajšega terciarja. Razlike so tudi v podnebju. V Sloveniji je mediteransko in kontinentalno, na Kitajskem so razlike v podnebju na raznih delih, prav tako v množini in razporeditvi padavin. Zakrasevanje je potekalo na Kitajskem v več ciklih. Razlike so pokazale tudi arheospeleološke raziskave. Paleolitske postaje na Slovenskem so iz srednjega in zgornjega pleistocena, na Kitajskem datirajo najdbe v jamah od pliocena preko starejšega pleistocena do konca te dobe.

Monografija o kitajskem krasu je zelo kvalitetno, vsestransko delo, ki prinaša pomembne podatke o tem, doslej malo poznanem krasu. Prepričan sem, da bo knjiga vzbudila zanimanje tudi v tujini in bo lep primer kompleksnih raziskav kraških pojavov.

Rajko Pavlovec

E s a d P r o h i ć, **Geokemija**; Založba Targa, 1998, Zagreb. Obseg: 554 str., 126 slik, dodatki A do D, format 17,5 × 24 cm, vezano v platno.

Naročilo: Targa, Ivanićgradska 22, CRO-10000 Zagreb, cena 70 DEM.

Čprav je beseda geokemija stara, skoval jo je Schönleben leta 1838, si je geokemija dokončno pridobila status samostojne znanstvene discipline šele proti sredini stoletja, ki se zdaj izteka. Do prostora pod soncem ji je pripomoglo spoznanje o njeni avtonomnosti: geokemičnih izsledkov ni mogoče pridobiti ne ponoviti z nobeno drugo metodo. Navzlic pomembnosti pa tudi v svetu knjig o geokemiji ni na pretek. Zato smo tembolj veseli novega učbenika geokemije, ki je nastal v Zagrebu, napisan v jeziku, ki je zelo blizu slovenskemu.

To je Geokemija, ki je izšla kot prva knjiga zagrebške univerzitetne zbirke "Učbenici iz geoznanosti" izpod peresa uglednega hrvaškega geokemika Esada Prohića, profesorja Prirodoslovno-matematične fakultete Univerze v Zagrebu. Knjiga zasluži vso pohvalo zaradi sodobne zasnove, ki temelji na termodinamični in kinetični po-

dlagi, smiselne izbire geokemične problematike, sugestivne predstavitve obravnavane snovi in ne nazadnje, velikega obsega. Tako zastavljenemu delu je bilo nedvomno v prid Prohićevo 25-letno geokemično raziskovalno delovanje, sprva v zagrebškem geološkem zavodu, občasno na ameriških in drugih tujih institucijah ter od leta 1991 dalje na zagrebški univerzi.

Knjiga je tiskana v preglednem stavku na odličnem papirju, lepo je opremljena in trdno vezana, kakor se spodobi za delo, ki ga bralec veliko jemlje v roke. Je namreč učbenik in priročnik hkrati. Potreben bo ne le študentom geologije, agronomije, gozdarstva, okolja, pa rudarstva, gradbeništva in drugih ved, ki se hočejo bolj poglobljeno ukvarjati z Zemljo, ampak tudi vsem strokovnjakom, ki delujejo bodisi rutinsko ali pa raziskovalno v teh disciplinah.

Avtor knjige ni razdelil gradiva kot običajno glede na zgodovinsko zaporedje, začeniši z nastankom snovi in vesolja prek osončja in Zemlje, nato magmatizma, sedimentacije, vodovja, ozračja in življenja vse do metamorfizma. Prohić je želel očitno bolj kakor opisno poudariti procesno plat geokemije, in sicer zlasti tisto, ki zadeva Zemljino površje. Zato je prikaz tematike obrnil in je na primer namenil obravnavi magmatizma šele prostor proti koncu knjige.

V uvodnem poglavju pisec na običajne načine opredeli geokemijo kot disciplino v okviru ved o Zemlji in naravoslovja. Dalje kar nadrobno opiše razvoj geokemije do srede našega stoletja, zelo skopo pa njeno nadaljno pot do zdaj. Izčrpen je pregled razvoja geokemije na Hrvaškem, od prve objave geokemične tematike leta 1856 prek prve publicirane omembe izraza geokemija leta 1933 (Tučan je pisal o geokemiji dinarskega krasa) do sedanjega velikega razmaha, ki vanj sodi tudi objava Prohićeve Geokemije.

Vsebina knjige razodeva avtorjevo težnjo, napisati sodoben univerzitetni učbenik, ki bo temeljil bolj na načelih procesov in manj na opisovanju Zemljinih lastnosti. Izbira snovi je tudi značilna za koncept pouka geokemije, kakor so ga uveljavili na zagrebški univerzi. Ker tam študentje v okviru drugih predmetov ne dobijo zadostnih osnov termodinamike, atomske zgradbe, kemije vodnih raztopin, pa tudi kozmologije, so tem snovem posvečena ustrezna dobro napisana poglavja. Geokemično sestavo in zgradbo Zemlje opiše Prohić konvencionalno in dovolj izčrpano. Pri tem bi bil nemara zaželen večji poudarek na revoluciji, ki jo je vnesla tudi v geokemijo tektonika plošč.

Zelo sistematično je prikazana geokemija ozračja, kar je pomembno zaradi njenega izjemnega pomena za človekovo življenjsko okolje. Znatno del vplivov človekove tehnološke dejavnosti se prenaša po zračnih poteh. V obsežnem sodobno napisanem poglavju o geokemiji voda se zrcali potreba po znanstvenem razumevanju obmorskega in morskega okolja, kar je razumljivo za Hrvaško kot obmorsko deželo. Poglavje prinaša nekaj zanimivih pristopov k poznavanju hidrosfere, zlasti njenega oceanskega dela. V poglavju o biosferi Prohić dobro opiše z geokemičnega stališča tisti fenomen - življenje, po katerem se Zemlja tako korenito razlikuje od vsega nam znanega vesolja (biologijo je Szent-Györgyi imenoval "vedo o nemogočem"). Nadaljnje poglavje obravnava geokemijo sedimentnih kamnin. To je hkrati najdaljše poglavje v knjigi, kar je razumljivo zaradi deleža, ki ga imajo sedimentne kamnine v sestavi avtorjeve domovine. Posebna odlika se zdi ocenjevalcu te knjige pozornost, posvečena kinetiki. Manj je razumljivo nesorazmerno obsežno obravnavanje diageneze - morda zaradi njenega pomena za genezo ogljikovodikov? Ocenjevalec bi priporočil več poudarka procesom, ki diktirajo kislost in redoks na Zemljinem površju, in recimo omembo zelo pomembnega preperevanje pirita. Na mestu bi bil tudi prikaz geokemije tal zaradi njihovega izjemnega pomena za živi svet.

Solidno sta napisani zadnji poglavji, o magmatskih in metamorfnih procesih. Zlasti prvo, ki v njem pisec predstavlja najpomembnejša geokemična orodja, ki so jih razvili za kvantitativno obravnavanje magmatizma, tako sledne prvine in izotope. Ob prebiranju se človek zave izjemnega prispevka, ki ga daje geokemija petrologiji in geologiji. Marsikateri geološki dosežek je rezultat geokemičnega raziskovanja magmatskih, metamorfnih in drugih sistemov.

Prednosti dela daleč odtehtajo nekatere manjše pomanjkljivosti. Ocenjevalcu se zdi, da je premalo poudarjena vloga geokemije v človekovem življenjskem okolju in uporabna geokemija nasploh. Uporaba enot, kot jih zahteva SI, ni dosledna, kar je najbrž posledica različnih literaturnih virov. Ta se kaže ponekod tudi v različni ravni obravnavanja snovi, ki je zdaj rigorozna, drugod poljudna. Mestoma se opazi pomanjkljivo prevedena anglosaška leksika. V prihodnji novi izdaji, o kateri smo prepričani, da jo bo knjiga spričo svoje vsestranske uporabnosti doživela, bi kazalo tudi navesti vire glavnega podatkovnega in grafičnega gradiva. Dalje bo treba odpraviti tudi tiskarske napake, posebno kar zadeva primke tujih avtorjev, in sestaviti indeks ("ein Buch ohne Index ist kein Buch", je zapisal neki nemški pikolovec). Te zadnje naloge bi najbolje opravil profesionalni lektor, ki mora biti neizogibni sodelavec avtorju takega znanstvenega učbenika.

Nastete pomanjkljivosti niso bistvene, so lahko popravljive in ne jemljejo osnovne vrednosti tej prepotrebni knjigi. Prepotrebni tudi slovenskemu študentu geologije in geologu, geofiziku in pedologu, kemiku in strokovnjaku, ki se ukvarja s človekovim življenjskim okoljem. Za bralce je uporabljen široki pristop odlika, ker mu olajša pot do spoznavanja zapletene tematike. Podpisani ocenjevalec priporoča posameznikom, inštitucijam in strokovnim knjižnicam, da knjigo kupijo in jo začno koristno in kritično uporabljati. Tako se bo najbolje izkazala uporabna vrednost dela, kar bo najboljša zadoščenje avtorju za njegov nemali trud.

Simon Pirc

Esad Prohić: Geokemija, Targa Publ. Co., 1998, Zagreb, 554 p., 17,5 × 24 cm, 126 Figs., Appendices A to D.

Send orders to: Targa, Ivanićgradska 22, CRO-10000 Zagreb, Croatia. Price 70 DEM.

A new textbook on Geochemistry was published recently in Croatian by the Zagreb University professor, geochemist Esad Prohić. The work is distinguished by its modern concept based on thermodynamics and kinetics, good selection of presented topics and efficient presentation of the matter. In the book 25 years of Prohić's experience in geochemical research are reflected, first in the Croatian Geological Survey and then at the Zagreb University, and periodically at various geological institutions abroad. The book is not organized in the traditional descriptive way, but is rather process oriented, and primarily in the processes that take place in the realm of sedimentation. A large part of the exposed topics result from quite recent research. A few shortcomings (omission of some applied geochemistry topics, and of sources, misprints, and lack of index) do not diminish the value of the author's impressive effort. The textbook can be recommended to students and professionals in geology and related disciplines: geophysics, pedology, mining, environmental science. To those, of co-

urse, to whom the language of the book is understandable, and they are quite a number of millions also outside of Croatia.

Simon Pirč

Zanimivosti

Knjižnica Guida Stacheja

Sporočilo o knjižnici geologa in paleontologa Guida Stacheja, ki ga je podpisane-
mu posredoval Peter Ribnikar.

Iz sejnega zapisnika Narodne vlade SHS v Ljubljani, številka 44 z dne 10. januar
1919, ki ga je podpisal Josip Pogačnik, predsednik Narodne vlade Slovenije SHS v
Ljubljani, je za slovensko geologijo zanimiv in pomemben naslednji odstavek:

"Profesor dr. Hinterlechner poroča iz Gradca, da je naprodaj knjižnica geologa dr.
Stacheja, ki se je pečal z geološkimi študijami na ozemlju sedanje Jugoslavije. Knji-
žnica šteje 3812 zvezkov in je naprodaj za 3.000 kron, predstavlja pa približno de-
setkratno vrednost. Nakup se sklene in knjižnica namesti v licealni knjižnici" (seda-
nja Narodna in univerzitetna knjižnica).

Zapisnik hrani Arhiv Republike Slovenije, Ljubljana, Zvezdarska 1.

Anton Ramovš

Navodila avtorjem

GEOLOGIJA objavlja originalne znanstvene razprave in strokovna poročila iz geoloških in sorodnih ved. Njen osnovni namen je seznanjati domačo in tujo strokovno javnost s sprotnimi stanji geološke nacionalne vede v Sloveniji in z dosežki tujih geologov v svetu. Rokopisi prispevkov naj praviloma ne bodo daljši od 30 računalniško izpisanih strani, v kar so vštete tudi slike, tabele in table. Le v izjemnih primerih (natisi habilitacijskih, doktorskih in magistrskih del) je možno ob predhodnem dogovoru z uredništvom tiskati tudi daljše prispevke.

GEOLOGIJA izhaja praviloma enkrat letno v obsegu 40 do 45 avtorskih pol. Vse prispevke recenzirajo domači in tuji vrhunski strokovnjaki in so avtorji dolžni njihovo pisno mnenje upoštevati ter svoje prispevke po potrebi tudi dopolniti.

V želji, da bi z našimi izsledki v slovenski geološki vedi seznanjali čimširši krog strokovnjakov po svetu, je večina prispevkov v GEOLOGIJI objavljena razen v slovenskem tudi v angleškem oziroma nemškem jeziku. Prispevke, ki obravnavajo snov slovenske geologije, morajo avtorji pripraviti vsaj v tretjini celotne vsebine za objavo v slovenskem jeziku kot povzetke. Za prevode poskrbijo avtorji prispevkov sami, uredništvo opravi le jezikovne popravke.

Prispevke oddajte uredništvu v enem izvodu, napisani naj bodo s tiskalnikom in zapisani tudi na računalniški disketi. Pisci prispevkov naj imena citiranih avtorjev med besedilom prispevka in pri naštevanju literature pišejo razprto, imena fosilov (rod in vrsto) pa poševno. Vse drugo bo uredilo uredništvo.

Naslovi prispevkov naj bodo kratki in praviloma ne presegajo 12 besed. Če je prispevek napisan v slovenskem jeziku, mora biti njegov naslov preveden tudi v angleški oziroma nemški jezik. Poleg avtorjevega polnega imena in priimka naj bo podan tudi njegov naslov. Vsebine oziroma kazala pri normalno dolgih prispevkih ne objavljamo.

Kratka vsebina oziroma abstract naj ne presega tisoč tiskovnih znakov. Pri slovensko napisanih prispevkih mora biti kratka vsebina napisana v slovenskem in angleškem oziroma nemškem jeziku.

V literaturi naj avtorji prispevkov praviloma upoštevajo le tiskane vire, rokopise naj navajajo v izjemnih in nujnih primerih z navedbo, kjer so shranjeni. V seznamu literature navajajte samo v prispevku omenjena dela. Med besedilom prispevka citirajte samo avtorjev priimek brez inicialke njegovega imena (inicialko navajajte samo, če je več avtorjev z istim ali enakim priimkom), v oklepaju pa navajajte letnico izida navedenega dela in po potrebi tudi stran. Če navajate delo dveh avtorjev, izpišite med tekstom prispevka oba priimka (npr. P l e n i č a r & B u s e r, 1967, 152), pri treh ali večih avtorjih pa napišite samo prvo ime in dodajte et al. z letnico (npr. M l a k a r et al., 1992). Literaturo navajajte po abecednem redu.

Primer citirane revije:

P l e n i č a r, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest-Komen Plateau). - *Geologija*, 35, 65-68, Ljubljana.

K e n d a l l, A. C. 1978: Subaqueous evaporites. In: R. G. W a l k e r (ed.), *Facies models*. - *Geol. Ass. Canada*, 159-174, Toronto.

Fabricius, F., Friedrichsen, H. & Jacobshagen, V. 1970: Zur Methodik der Paläotemperatur-Ermittlung in Obertrias und Lias der Alpen und benachbarten Mediteran-Gebieten. - Verh. Geol. B.A., 4, 538-593, Wien.

Primer citirane knjige:

Flügel, E. 1978: Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. - Springer Verlag, 454 pp., Berlin.

Črno-bele fotografije morajo biti izdelane na trdem belem gladkem papirju z visokim leskom. Le izjemno je možno objaviti tudi barvne slike, vendar samo po predhodnem dogovoru z uredništvom. Črtno risbe morajo avtorji oddati na prosojnem papirju, na folijah ali podane v računalniški tehniki. Pri pripravi črtnih slik obvezno upoštevajte zrcalo revije $12,6 \times 18$ cm, zato pazite na velikost črk, znakov in debelino črt in imejte v mislih, da morajo biti ob morebitni pomanjšavi slik črke visoke najmanj 1 mm. Večjih formatov od omenjenega zrcala GEOLOGIJE ne tiskamo na zgib, je pa možno, da večje oziroma daljše slike natisnemo na dveh straneh (skupaj na levi in desni strani) z vmesnim "rezom". Slike obeležite s številkami. V besedilu prispevka morate omeniti vsako sliko po številčnem vrstnem redu.

Tabele napišite s tiskalnikom tako, da jih je možno neposredno preslikati oziroma kliširati. Pri tem upoštevajte zrcalo revije in velikost črk ob morebitni pomanjšavi. Pri korekturah tabel ni možno več popravljati ali dopolnjevat.

Table pripravite v formatu zrcala naše revije. Če jih je potrebno pomanjšati, podajte na njihovih slikah merilo ali ob že upoštevanem zmanjšanju navedite velikost predmetov v podnaslovu. Prostor na tablah čimboj zapolnite in ne puščajte nepotrebnih prazin.

Podnaslove k slikam, tabelam in tablam, ki morajo biti pri dvojezičnih člankih tudi dvojezično napisani, avtorji priložijo na posebnih listih enega pod drugim. Zato teh podnaslovov ne pišete med besedilom prispevka. Podanaslovi naj bodo po možnosti čimkrajši.

Korekture odtisov opravijo avtorji prispevkov, ki lahko popravijo samo tiskovne napake. Krajši dodatki ali spremembe pri korekturah so možne samo na avtorjeve stroške. Če avtor v določenem roku korektur ne vrne, le-te opravi uredništvo na avtorjeve stroške.

Avtorji prejmejo 40 separatov brezplačno. Uredništvo sprejema prispevke do vključno 1. septembra v tekočem letu in se obveže, da bodo le-ti tiskani v šestih mesecih. Avtorje prosimo, da prispevke pošiljajo na naslov uredništva:

GEOLOGIJA

Geološki zavod Slovenije

Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

Uredništvo

Instructions to authors

GEOLOGIJA issues authentic scientific papers as well as expert reports on the sphere of geological and related sciences, its main purpose being to appeal to the Slovene and foreign public and make it acquainted with the state of the national geologic science and the acquisitions of experts in the geology domain of the world. The article manuscripts should not exceed the extent of 30 pages, figures, tables and plates included. Exceptions to this rule i.e. publication of longer articles (such as papers presenting university habilitation as well as master's degrees and doctor's theses) could be agreed upon on the basis of a preliminary arrangement made with the editorial board.

GEOLOGIJA appears normally once a year comprising 40 to 50 author's sheets. All the articles are subdued to a professional revision by eminent Slovene and foreign experts, moreover the authors of the articles are bound to take into consideration their written account and even to complete their contributions eventually.

Aiming at a worldwide recognition of the latest discoveries in the field of Slovene geology bringing it thus closer to a larger circle of experts, we have envisaged a predominantly English and German version of the articles published from now on in the GEOLOGIJA review. The articles dealing with the issues on Slovene geology are supposed to have at least one third of the entire content published in Slovene in the form of an abstract.

One copie of articles are to be delivered to the editorial office, written on computer and recorded on computer diskette as well. The names of authors quoted in the text and in the bibliography should be double spaced while the names of fossils (species and genus) in italics respectively. The rest will be seen to by the editorial board.

The title of the article should be rather short. In case of the article being written in Slovene language, there is a demand for the title being provided in English or German, as well. Besides the author's full name, his official address should be stated, too.

The article should be preceded by a brief summary or abstract not surpassing 1000 print signs. Articles written in the Slovene language should dispose of a short outline in Slovene, English and German respectively.

As to the bibliography, the authors should, as a rule, consider only printed sources, manuscripts being quoted exceptionally, when absolutely necessary, with the exact address of the manuscript depository. The bibliographic list should comprise only the works mentioned in the article. In the article text the mere surname of the author is to be quoted, i.e. without the initials of his name (initials being quoted only in case of several authors by the same name), while the year of publication - if needed, even the page - is quoted in parentheses. In case of a two-author quotation, the two surnames are to be written out within the text of the article (for example: P l e n i č a r & B u s e r, 1967, 152), while in case of a three or several authors quotation, write out only the first name and add *et al.*, the year included (ex. g. M l a k a r *et al.*, 1992). The literature is to be quoted following an alphabetic order.

Example of review quotation:

P l e n i č a r, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest-Komen Plateau). - *Geologija*, 35, 65-68, Ljubljana.

K e n d a l l, A. C. 1978: Subaqueous evaporites. In: R. G. W a l k e r (ed.), *Facies models*. - *Geol. Ass. Canada*, 159-174, Toronto.

F a b r i c i u s, F., F r i e d r i c h s e n, H. & J a c o b s h a g e n, V. 1970: Zur Methodik der Paläotemperatur-Ermittlung in Obertrias und Lias der Alpen und benachbarten Mediteran-Gebieten. - *Verh. Geol. B.A.*, 4, 5383-593, Wien.

Example of book quotation:

F l ü g e l, E. 1978: *Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken*. - Springer Verlag, 454 pp., Berlin.

Black and white photographs are to be produced on hard white high glistening smooth paper. Coloured photographs will be published exceptionally only, according to a previous agreement with the editor. Line drawings are to be delivered on transparent paper on folio or as high quality computer drafts. While preparing the sketches, pay attention to the review type face 12,6 x 18 cm, heed the size of letters, signs, and line boldness as well bear in mind the cases of figure diminishing where letters must preserve the size of 1 mm, at least. Greater formats than the above mentioned type face of *GEOLOGIJA* are not printed as folded additions. The boarding staff admits, nevertheless, of the possibility of having a larger and longer figure printed on two pages (left and right side together) with an intermediate "cut" or folding.

Tables should be made on a printer to permit their immediate copying or clichéing, respectively. The review type face should not be neglected, either, as well as the letter size in case of diminishing.

The plates are to conform to the review type face; if a diminishing is needed, add a scale to their pictures or, in case of the diminishing having already been taken into account, the size of objects in the subtitles should be stated. The space on tables should be made a good use of, leaving no unnecessary blanks.

Subtitles to figures, tables and plates of bilingual articles are to be written in both languages as well, authors are asked to deliver them in a subsequent order on special sheets, that's why these subtitles do not figure in the text itself. Subtitles should be as brief as possible.

Proof-checkings are carried out by the authors of the articles themselves who are only to correct the misprints, however. Shorter additional remarks or changes while proofreading will be tolerated only at the expenses of the author himself. If the corrections are not returned in due time, the editor staff will effectuate proof-reading at the expensis of the author.

Authors will be sent 40 issues free. Articles shall have been entered by 1st September of the current year and the editorial board will commit itself to print them in a six months' time. The authors are requested to send the articles to the address of the editorial board. i.e.:

GEOLOGIJA
Geological Survey of Slovenia
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, SLO

Editorial Board

