

## **Faciesi, razvoj in interpretacija sedimentacijskega okolja uranonosnega Brebovniškega člena Grödenske formacije na območju Žirovskega vrha**

### **Facies, development and interpretation of sedimentary environment of the uranium-bearing Brebovnica Member of the Val Gardena Formation in the Žirovski vrh area, W Slovenia**

Dragomir SKABERNE

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000Ljubljana, Slovenija

*Ključne besede:* Grödenska formacija, Brebovniški člen, perm, faciesi, okolje sedimentacije, uran, Žirovski vrh, W Slovenija

*Key words:* Val Gardena Formation, Brebovnica Member, Permian, facies, sedimentary environment, uranium, Žirovski vrh, W Slovenia

#### **Kratka vsebina**

Zaradi znatnih koncentracij uranove rude je Brebovniški člen najpomembnejši člen Grödenske formacije. Kamnine smo glede na zrnatost, sedimentne teksture in sestavo ločili v konglomeratne, peščenjakove, muljevčeve in karbonatne faciese ter interpretirali pogoje njihovega nastanka. Iz podrobnih delnih profilov smo sestavili poenostavljeni profil celotnega Brebovniškega člena v skupni debelini skoraj 400 m. V njem smo ločili dva makrocikla. Prvi obsega spodnjo polovico Brebovniškega člena, drugi pa njegovo zgornjo polovico in približno spodnjo polovico Hobovškega člena. Makrocikla sta produkt rečnega sedimentacijskega okolja z vsemi svojimi podokolji in sta alocikličnega značaja. Alocikličnost so najverjetneje kontrolirala tektonska dogajanja v drenažnem zaledju in sedimentacijskem bazenu. Makrocikla predstavljata razvoj rečnega sistema od proksimalnih delov s prevladujočim talnim transportom prepletajočih rečnih korit in aluvialnih vršajev proti distalnemu delom z mešanim talno-suspenzijskim transportom meandrirajočih rečnih korit.

#### **Abstract**

The Brebovnica Member, bearing considerable grades of uranium ore, is the most important member of the Val Gardena Formation. Rocks were subdivided according to grain size, sedimentary structures and composition to conglomerate, sandstone, mudstone and carbonate facies, and the conditions of their formation were interpreted. From detailed partial profiles that illustrate the successions of facies a generalized profile of lithostratigraphic development of the entire Brebovnica Member of a total thickness of almost 400 m was constructed. Two macrocycles were distinguished in it. The first macrocycle comprises the lower half of the Brebovnica Member, and the second macrocycle its upper half and approximately the lower half of the Hobovbše Member. The macrocycles are a product of fluvial depositional environment with its subenvironments, and they are of allocyclic character. The allocyclicity was most probably controlled by tectonic events in drainage and depositional basin. The macrocycles represent the development of fluvial system from its proximal parts with predominant bed-load braided channels and aluvial fans towards more distal parts with mixed-load meandering channels.

## Uvod

Kamnine Grödenske formacije imajo v Sloveniji največji sklenjen obseg na območju med Cerknim in Smrečjem, kjer se v obliki neenakomerno širokega pasu raztezajo v smeri NW – SE. K poznavanju geološke zgradbe tega in širšega prostora so med drugimi veliko prispevali Kossmat (1910), Winkler (1923), Rakovec (1956), Ramovš (1958), Berce (1959), Berce s sodelavci (1959, 1960), Mlakar (1969), Grad in Ferjančič (1974, 1976), Placer (1973, 1981, 1983, 1999), Placer in Čar (1998) ter Premru (1976, 1977, 1980).

Na Cerkljanskem in Sovedenjskem so že v 19. stoletju poznali številne pojave bakrove rude, ki so pritegnili pozornost raziskovalcev. Podatke o bakrovem orudjenju so podali Lipold (1885, 1857), Götting (1924) in Bibolini (1932), o nastanku rudišča Škofje pa so pisali Grafeneuer (1966), Drovenik M. (1970) in Drovenik F. s sodelavci (1972). Z odkritjem radioaktivnih anomalij na območju Žirovskega vrha leta 1960 in kasnejšim odprtjem Rudnika urana Žirovski vrh se je zanimanje za grödenske kamnine zelo povečalo. Območje Žirovskega vrha so obravnavali Marinković (1960, 1961 a, b), Isajlović in Pavlović (1963), Omaljev (1965, 1967 a, b), Grad s sodelavci (1967), Dimkovski s sodelavci (1974, 1976, 1977), Lukacs in Florjančič (1974), Budkovič s sodelavci (1979, 1983), Budkovič (1978, 1980, 1981) in drugi. Nastanek uranovega rudišča Žirovski vrh pa so podrobneje obdelali Omaljev (1982), Dolenec (1983) in Palinkaš (1986).

V okviru večletnih raziskav *Geološki faktorji Hg, Cu in U mineralizacije* (Mlakar 1978 do 1983) smo dobili novo geološko karto obsežnega ozemlja med Cerknim in Smrečjem (sl. 1), ki upošteva tudi podatke vrtin in jamskih del. V letnih poročilih o raziskavah so med drugim tudi osnovni podatki o vseh litostratigrafskih členih Grödenske formacije. Geološko zgradbo Žirovskega vrha in okolice na kratko podajata Mlakar in Placer (2000). Podrobnejše informacije o sedimentacijskem in postsedimentacijskem razvoju Grödenske formacije na tem območju in nekaterih dilemah litostratigrafskega poimenovanja je podal Skaberne (1995).

## Osnovne geološke značilnosti Žirovskega ozemlja

Med Cerknim, Žirovskim vrhom (sl. 1) in Smrečjem se v smeri NW – SE razteza približno 20 km dolg in do 5 km širok pas kamnin Grödenske formacije. To območje leži na stičišču zunanjih Dinaridov in Južnih Alp, ki jih grade obsežne narivne enote. V širšem smislu pripada območje Žirovskega vrha zunanjim Dinaridom, v ožjem pa idrijsko-žirovskemu ozemlju, ki je del Trnovskega pokrova (Mlakar, 1969; Placer, 1981, 1999; Mlakar in Placer, 2000).

V Trnovskem pokrovu so najstarejše kamnine karbonski skrilavi glinavci, na katerih leže kamnine Grödenske formacije. Ponekod je ta stik neporušena ali le malo tektonizirana kotno-erozijska diskordanca, drugod pa je narivnega značaja.

Kamnine Grödenske formacije so v osrednjem delu Žirovskega vrha nagubane in v spodnjem delu grade tako imenovano dvojno S strukturo (Lukacs in Florjančič, 1974), proti severozahodu in jugovzhodu pa so plikativne deformacije manjše in plasti vpadajo generalno proti jugozahodu in jugu.

Narivno zgradbo seka več sistemov prelomov, ki potekajo v dinarski (NW – SE), alpski (E – W), prečno dinarski (NE – SW) in prečno alpski (N – S) smeri. Med prelomi je najpomembnejši dinarsko usmerjeni Sovedenjski prelom, ob katerem je jugovzhodno krilo pogreznjeno za 200 do 400 m (Mlakar in Placer, 2000).

V talnini Grödenske formacije so skrilavi glinavci superpozicijske enote Cc. Njena starost paleontološko še ni dokazana zato jo po starih ugotovitvah uvrščamo v zgornji karbon, dopuščamo pa možnost, da pripada tudi spodnjemu permu (Mlakar, 1987; Mlakar et al., 1993; Mlakar in Placer, 2000; Mlakar, 2001). Kontakt med superpozicijsko enoto Cc in Grödensko formacijo je kotno erozijsko-diskordanten. Grödensko formacijo grade pretežno rdeče, podrejeno sive, sivozelene in zelene, prevladujoče srednjezrnate, v manjši meri drobno in debelozrnate klastične kamnine. Glede na litološke značilnosti je Mlakar (1978-1983) razdelil Grödensko formacijo na šest superpozicijskih enot A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3/1</sub>, A<sub>3/2</sub>, B in C oziroma litostratigrafskih členov in jih poimenoval:

Brebovniški (Br), Hobovski (Ho), Zalški (Za), Koprivniški (Ko), Škofješki (Šk) in Dobračevski člen (Do) (Mlakar in Placer, 2000).

*Brebovniški člen (Br)* grade večinoma sivi in sivozeleni, ponekod rdeči in zeleni, različno zrnati, pretežno glinenčevo krmenovo litični peščenjaki, konglomerati ter v manjši meri muljevci. V zgornji polovici Brebovniškega člena se nahaja na območju Žirovskega vrha uranovo orudjenje. Debeline tega člena se spreminja od 0 do 400 m in se proti severozahodu izklinja.

*Hobovski člen (Ho)* sestavlja rdeči muljavec z do nekaj metri debelimi lečami rdečega in sivega drobnozrnatega peščenjaka. V slednjem se ponekod pojavljajo orudjenja z bakrom. Člen je debel 20 do 280 m.

*Zalški člen (Za)* je zastopan z rdečimi, različno zrnati peščenjaki in podrejeno tanjšimi plastmi rdečega muljevca. Njegova debelina se giblje od 180 do 380 m.

*Koprivniški člen (Ko)* predstavljajo rdeči konglomerati in različno zrnati peščenjaki ter manjša količina muljevcev. Na širšem območju Žirovskega vrha doseže člen debelino 550 m. Severozahodno od Sovodnja pa se Zalški in Koprivniški člen tanjšata in izklinjata. Na jugovzhodnem delu obravnavanega ozemlja (Lavrovec) so kamnine, ki jih lahko vzporejamo z Zalškim in Koprivniškim členom, drugače razvite.

*Škofješki člen (Šk)* je na območju Škofja in Sovodenj razvit kot siv litični krmenov peščenjak, v katerem se ponekod (Škofje, Sovodenj) pojavlja bakrovo orudjenje. Na območju Javorjevega dola nastopajo v istem litostratigrafskem nivoju leče svetlo sivega in sivo rjavkastega ponekod rožnatega konglomerata, ki postajajo proti jugovzhodu sklenjene in debelejšje ter dosežejo debelino 100 m. Na Lavrovcu pa sta bili izdvojeni dve progradirajoči zaporedji s povečevanjem zrnatosti navzgor, ki ju sestavljajo sivi do sivo rumenkasti peščenjaki in konglomerati; slednji so ponekod tudi rdeči. Zaporedji dosežeta debelino do 740 m in predstavljata ekvivalent Zalškemu in Koprivniškemu členu.

*Dobračevski člen (Do)* je na območju Sovodenj prevladujoče razvit kot rdeč drobnozrnat peščenjak in doseže debelino 120 m. Proti jugovzhodu prehaja v rdeč muljavec, ki se tanjša in na Lavrovcu izklini.

Debelina celotne Grödenske formacije se spreminja od 200 m na območju Škofja do

1750 na območju Žirovskega vrha, kjer doseže največjo debelino v Sloveniji.

Spodnji del kamnin Grödenske formacije na Žirovskem vrhu naj bi bil starejši od 255 milj. let, kar bi ustrezalo kazaniju, spodnji polovici zgornjega perma v dvodelni razdelitvi (Ođin & Ođin, 1990) ali srednjemu permu po tridelni razčlenitvi perma. To potrjujejo tudi edini določljivi fosilni ostanki (pelod) najdeni v podkopu P-10 in vrtini B-63 (Jelen et al., 1981).

Grödensko terigeno formacijo transgresivno prekrivajo karbonatne kamnine in sicer siv do temno siv ploščast dolomit dolomit z nekaj centimetrov debelimi plastmi muljevca, ki prehaja v dolomitno-apnenčev razvoj. Te grade Žažarsko formacijo, ki je ekvivalent Belerofonski formaciji v Karinskih Alpah.

V nadaljevanju se bomo omejili le na Brebovniški člen Grödenske formacije, ki je zaradi znatne koncentracije uranove rude tudi ekonomsko najzanimivejši. Osnovna razčlenitev tega člena se je izoblikovala v zvezi z raziskavami uranove rude (Omaljev, 1967 a, b; Budkovič, 1980). Zato bomo podali nekatere značilnosti kamin oziroma litofaciesov in bolj genetsko razčlenitev ter interpretacijo sedimentacijskega okolja nastanka kamnin Brebovniškega člena.

### Metodologija dela in interpretacije

Na območju Rudnika urana Žirovski vrh (sl. 1) smo posneli deset podrobnih profilov, ki se deloma prekrivajo in zajemajo celotno in največjo ohranjeno debelino Brebovniškega člena na vsem območju med Cerknim in Smrečjem.

Posneti profili predstavljajo enodimenzionalno, vertikalno zaporedje faciesov. Izraz facies ali natančneje sedimentni facies uporabljamo kot opisni izraz za bolj ali manj homogeno telo kamnin, ki ga lahko določimo in ločimo od ostalih kamninskih teles po fizikalnih, kemičnih in bioloških značilnostih. Te se odražajo v geometriji, sestavi, strukturi, sedimentnih teksturah, smereh paleotokov in združbah fosilov (Selley, 1970). Tako naj bi bil posamezni facies produkt bolj ali manj konstantnih fizikalnih, fizikalno-kemičnih in bioloških pogojev v določenem delu sedimentacijskega prostora.



Sl. 1. Situacijska karta širšega raziskovalnega območja, ki ga je podrobno geološko kartiral Mlakar (1979 – 1982) in položajem Rudnika urana Žirovski vrh.

Fig. 1. Sketch map of studied territory mapped in detail by Mlakar (1979-1982) with position of Žirovski vrh uranium mine.

Grödensko formacijo sestavljajo pretežno klastične kamnine. Ker predstavlja struktura, predvsem velikost zrn, eno od osnovnih in pri klastičnih kamninah eno najpomembnejših lastnosti, smo jo uporabili za osnovo razdelitve faciesov. Ločili smo tri osnovne granulometrične skupine in sicer konglomeratne, peščenjakove in muljevčeve faciese, ki smo jih z dodatnimi opredeljujočimi kriteriji, kot so sedimentne teksture in sestava, podrobneje razdelili. Pri tem je potrebno omeniti, da so sedimentne teksture redke ali slabo vidne. Ker so sedimentne teksture nastale v času sedimentacije in odražajo vzajemen vpliv vodnega toka, podlage in prenašane materiala, lahko na njihovi osnovi sklepamo na nekatere značilnosti toka, ki jih opredelimo kot značaj *tokovnega režima*. Tokovni režim določa pogoje nastanka določene plastne oblike in njene konfiguracije, sinsedimentne teksture oziroma faciesa. Zastopnost izdvojenih faciesov tako kaže na pogostnost določenega tokovnega režima, njihovo zaporedje pa razkriva način spreminjanja njegovih lastnosti. Omenjene spremembe so lahko značilne za določeno sedimentacijsko okolje. Tako vertikalno zaporedje sedimentnih tekstur, oziroma faciesov omogoča rekonstrukcijo le-teh.

Vertikalna zaporedja faciesov smo združevali v sedimentne sekvence, ki so omejene večinoma s ploskvami plastnatosti tretjega ali višjih redov (Miall, 1988). Idealna sekvenca najbolj znanega meandrirajočega modela rečnega toka sestoji iz debelozrnatega dela, sedimentov meanderskih sipin in drobnozrnatega dela, sedimentov obrežnih ravnin. Spodnji, debelozrnati del grade različno teksturirani konglomeratni in peščenjakovi faciesi, medtem ko drobnozrnati del predstavlja večinoma muljevci. Za lažjo predstavo podajamo na sliki 2 izsek profila Pr-6/3-2 z izdvojenimi sedimentacijskimi sekvencami, v katerih so zastopani različni faciesi.

Zaradi zelo omejene možnosti lateralnega sledenja faciesov in njihovega sosledja nismo mogli neposredno uporabiti metode arhitekturnih elementov (Miall, 1985), ampak smo sedimentne sekvence povezovali v različne enote višjih redov (prvega E1 in drugega E2 reda; sl. 2). Enote so interpretativnega značaja in naj bi predstavljale enotne sipine, koritne oblike in prepletajoče sipinske ter obrežne ravninske komplekse rek ali vršajev. Posamezne enote smo opredelili na podlagi grafičnih prikazov profilov in diagramov debelin sekvenc. Celotni prikazi profilov, iz-





dvojenih enot, njihova kvantitativna opredelitev z relativno zastopanostjo posameznih faciesov ter podrobnejša interpretacija je podana v delu Skaberneta (1995).

Vse v nadaljevanju navedene relativne zastopanosti posameznih faciesov so podane glede na obseg njihovih debelin v upoštevanih odsekih podrobno posnetih profilov P-10, Pr-6/2-3 in Pr-6/0-4 v centralnem delu Rudnika urana Žirovski vrh.

### Opis faciesov in njihova interpretacija

V Brebovniškem členu so najbolj zastopani peščenjakovi in konglomeratni faciesi, medtem ko so muljevčevi in karbonatni faciesi manj razviti.

#### Konglomeratni faciesi

H konglomeratnim faciesom, ki sestavljajo 18.6 % Brebovniškega člena, uvrščamo konglomerate, peščene konglomerate in prodnate peščenjake, med katerimi prevladujeta slednja dva. So različnih sivih, zelenih in podrejeno rdečih barvnih odtenkov. Nastopajo v neenakomerno debelih plasteh in lečah, debelih od 5 cm do 9 m. V njihovi talnini so peščenjaki ali muljevci. Spodnji kontakt med njimi je običajno oster ali erozijski, zgornji med konglomeratom in peščenjakom pa je navadno postopen, ponekod tudi oster.

Struktura konglomeratnih faciesov je precej različna in odvisna predvsem od razmerja med prodnato in peščeno frakcijo. Porazdelitev velikosti zrn je v večini primerov izrazito bimodalna. Velikost prodnikov je zelo spremenljiva in doseže do 20 cm. Poleg ekstrabazenskih prodnikov nastopajo v konglomeratih tudi intraklasti muljevca (erodirani klasti podlage), ki dosežejo velikost blokov do 2 m. Peščeni konglomerati in prodnati peščenjaki so običajno slabo sortirani. Sama prodnata frakcija je v nekaterih primerih, predvsem v frakciji 4 do 10 mm, dobro sortirana. Peščeno vezivo pripada granulometrično zelo debelo, debelo, srednje in drobnozrnatemu peščenjaku. Slučajni preseki prodnikov so od podolgovatih do izometričnih oblik, prevladujejo pa vmesne oblike. Njihova stopnja zaobljenosti je precej spremenljiva in se giblje od pogloblatih do zaobljenih.

V nekaterih konglomeratnih različnih lahko opazujemo primarno orientacijo prodnikov. Večinoma so orientirani z dolgimi osmi presekov vzporedno s klivažnimi domenami. Te in z njimi vzporedne dolge osi presekov prodnikov so lahko vzporedne s plastnatostjo, oklepajo z njo določen, bolj ali manj oster kot ali potekajo celo pravokotno na plasti.

Konglomerate sestavljajo prodniki in peščena zrna. Vežejo jih kremenova illit-sericitna epiosnova in različne vrste cementov.

V konglomeratih makroskopsko ločljivo naslednje skupine prodnikov: sivi-beli in rožnati kremen, sive, zelene in rožnate predornine, redke zrnate granitoidne kamnine, rožence – lidit in jaspis, apnence, peščenjake, tufe, sericitne skrilačve, filite, kvarcite ter intraklaste muljevcev in karbonatnih krecij.

V Brebovniškem členu smo v konglomeratih zasledili spremembe v barvi in sestavi prodnikov ter na njihovi osnovi ločili dva glavna konglomeratna faciesa.

*Sivi polimiktni konglomerat* je različnih sivih in podrejeno zelenkastih odtenkov. V njem so prisotni predvsem prodniki sivega-belega kremenca, sivih in zelenih predornin, podrejeno pa lidita, tufov ter intraklasti (tab. 1, sl. 1). Običajno tvori bolj ali manj kontinuirane plasti in leče, ki so v sekvencah debele od 10 cm do 4.5 m. Sivi polimiktni konglomerat pripada strukturno peščenemu konglomeratu in prodnatemu peščenjaku, s povprečno velikostjo prodnikov od 0.5 do 3 cm, medtem ko dosežejo največji tudi 15 cm.

V Brebovniškem členu je sivi polimiktni konglomerat zastopan z 8.5 %. Vanj se ponekod vključujejo sedimentacijska telesa pisane polimiktne konglomerata.

*Pisani polimiktni konglomerat* ima zelo pestro sestavo prodnikov, ki se deloma odraža v pisani barvi, po kateri je dobil tudi ime. Sestavljajo ga predvsem prodniki sivega-belega in rožnatega kremenca, manj pa je sivih, zelenih in rožnatih predornin, lidita, jaspisa, tufov in intraklastov (tab. 1, sl. 2). Poleg navedenih prodnikov nastopajo ponekod tudi prodniki apnencev. Zasledili smo jih v dveh horizontih, nekoliko številnejši pa so le v enem. Pisani polimiktni konglomerat je pretežno zelenkast, redko rdečkast in še redkeje siv ter nastopa v bolj ali manj kontinuiranih plasteh ali lečah, ki so v sekvencah debele od 10 cm do 8.1 m. Strukturno pripada pisani polimiktni konglomerat vsem

strukturnim skupinam: konglomeratu, peščenemu konglomeratu in prodnatemu peščenjaku. Prodniki so nekoliko večji kot v sivem polimiktnem konglomeratu. Njihova povprečna velikost je 1 do 4 cm, medtem ko doseže maksimalna velikost do 20 cm.

Pisani polimiktni konglomerat je na območju Žirovskega vrha neenakomerno razvrščen. V največji debelini se pojavlja v osrednjem delu, kjer predstavlja 10.1 % debeline Brebovniškega člena, medtem ko se proti NW in SE tanjša. Nastopa v več horizontih, ki se lahko lateralno v smeri SW hitro izklinjajo. Med posameznimi horizonti je sivi polimiktni konglomerat, v katerega lahko pisani polimiktni konglomerat tudi lateralno prehaja.

Za podrobnejšo opredelitev faciesov smo uporabili predsedimentacijske in sinsedimentacijske teksture.

Med predsedimentacijskimi teksturami so pomembne *erozijske površine* – *Se*. Večina jih zasledimo v spodnjem delu debelozrnatega člena sekvenc in predstavljajo spodnji, ponekod tudi bočni kontakt z obdajajočimi faciesi. V prečnem preseku so vijugave in običajno konkavne ploskve (tab. 1, sl. 1, 2), ki so zarežane od nekaj centimetrov do več kot štiri metre globoko v podlago. Nad erozijskimi površinami zasledimo v spodnjem delu sekvence intraklaste erodiranega muljevca in/ali karbonatnih konkrecij. Njihova velikost in količina se običajno z oddaljenostjo od erozijske površine zmanjšuje. Opisane erozijske površine uvrščamo v ploskve tretjega ali višjega reda (Miall, 1988, 1990). Vzporejamo jih s faciesom *Se* (erosional scours with intraclasts; Rust, 1978; Miall, 1978) oziroma s faciesom *SS* (Cant & Walker, 1978).

V konglomeratnih faciesih nastopajoče sinsedimentacijske teksture določajo značaj plastnatosti in podrobneje opredeljujejo facies. Zasledili smo masivno, horizontalno, ravno in koritasto navzkrižno plastnatost.

*Masivni konglomerat* – *Gm* (massive gravel) je najbolj zastopan in predstavlja 17.0 % debeline Brebovniškega člena. Nastopa v lečah in plasteh, debelih od 10 cm do 9 m. Navzgor prehajajo v konglomerate s horizontalno in koritasto navzkrižno plastnatostjo ali v druge peščenjakove faciese. Prehodi so večinoma jasni in ostri, le v masivni peščeni facies prevladujejo postopni prehodi.

*Horizontalno plastnati konglomerat* – *Gh* (horizontally bedded gravel) je bolj ali manj izrazit. Horizontalna plastnatost je večinoma posledica spremembe sestave oziroma barve in porazdelitve velikosti zrn (tab. 2, sl. 1). Pogosto jo komaj opazimo in prehaja v masivno plastnatost. Intervali s horizontalno plastnatostjo so debeli od 10 cm do 3.1 m, plasti v njih pa od 1 do 10 cm. Meje med plastmi so postopne do jasne. Miall (1977, 1978) je konglomerate z masivno in horizontalno plastnatostjo združil v litofacies *Gm* (massive and crudely bedded gravel). Faciesa *Gm* in *Gh* bi lahko predstavlja longitudinalne sipine, zaostale debelozrnatne sedimente (lag deposits) ali aluvialno vršajne "presejane" sedimente (sieve deposits).

*Koritasto navzkrižno plastnati konglomerat* – *Gt* (trough cross-bedded gravel; Miall, 1977, 1978) je bolj ali manj jasno izražen in je zastopan le z 0.4 %. Sestavljajo ga erozijske kotanje, zapolnjene s simetrično ali asimetrično upognjenimi plastmi, ki se med seboj razlikujejo predvsem po zrnatosti, količini prodnikov in deloma barvi. Prevladujejo 10 do 50 cm globoka korita, medtem ko znaša njihova širina 50 cm do 1.5 m. Pri večjih koritih smo širino ocenili do 3 m. V večini primerov dolžine posameznih korit nismo mogli določiti, ker smo lahko opazovali le nakaj vzdolžnih presekov. Koseti koritaste navzkrižne plastnatosti so v konglomeratnih različnih debeli od 10 cm do 2.6 m. Koritasto navzkrižno plastnati konglomerat interpretiramo kot zapolnitev kanalov.

#### Peščenjakovi faciesi

Peščenjakovi faciesi so najbolj zastopani in sestavljajo 70.0 % debeline Brebovniškega člena. Glede na zrnatost smo jih podrobneje ločili v tri skupine: debelo (10.6 %), srednje (38.0 %) in drobnozrnat (21.4 %) peščenjak. So sivih, rdečih in podrejeno zelenih odtenkov ter nastopajo v bolj ali manj enakomerno debelih plasteh ter lečah. Njihova debelina v izdvojenih sekvencah se giblje od 5 cm do 18.2 m.

V talnini peščenjakovih faciesov so konglomerati ali muljevci. V primerih, ko ležijo v talnini muljevci, je spodnji kontakt z njimi oster ali erozijski (tab. 2, sl. 3), medtem ko je spodnji kontakt s konglomerati jasen ali postopen in redkeje oster. Bočni kontakti s

konglomerati so navadno postopni. Ostri lateralni kontakti z muljevci ali konglomerati so običajno erozijski. Peščenjaki prehajajo navzgor v muljevce. Prehod je pretežno jasen ali oster (tab. 2, sl. 3), le ponekod postopen. V peščenih faciesih različnih zrnatosti so prehodi postopni, jasni, ostri ali erozijski.

Podrobneje strukture peščenjakovih faciesov ne bomo obravnavali. Podatke o porazdelitvah velikosti zrn peščenjakov Grödenske formacije in intepretaciji sedimentacijskega okolja na njihovi osnovi, ki smo ga opredelili kot fluvialnega (rečnega) podaja Skaberne (1995, 1997).

Peščenjake sestavljajo terigena zrna kremen, glincev, litičnih zrn, filosilikatov in akcesornih težkih mineralov. Kremenova zrna so poli in monokristalna. Med glinenci prevladujejo dvojčični in nedvojčični plagioklazi, podrejena so zrna mikropertita in redka zrna mikroklina. Litična zrna pripadajo kislim in bazičnim predorninam, granitoidnim kamninam, karbonatnim in klastičnim sedimentnim kamninam, rožencem, tufom, sericitnim in kloritno-sericitnim skrilavcem, kvarcitom, blestnikom, gnajsom in nedoločljivim litičnim zrnom. Med filosilikati so prisotni muskovit, klorit in v sledovih biotit. Klorit ima sestavo ripidolita in thuringita. Akcesorne težke minerale sestavljajo večidel neprozorni minerali: ilmenit, magne-

tit, levkoksen, hematit in hematitizirani drobci. Podrejeno so zastopani prozorni težki minerali: cirkon, rutil, turmalin, granati, amfiboli, apatit, zoisit (klinozoisit), epidot, pirokseni, titanit, stavrolit, disten in andaluzit.

Organska snov je deloma koloidna, deloma pa jo predstavljajo rastlinski ostanki, ki so lahko mineralizirani ali karbonizirani. Slednji pripadajo metaantracitu.

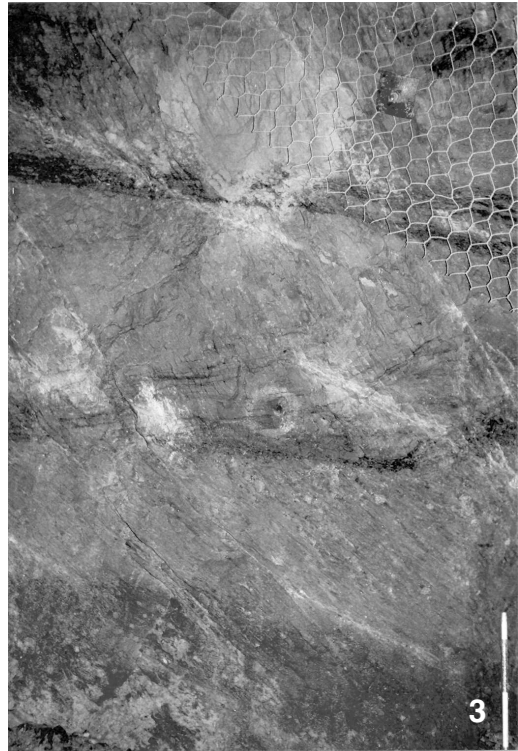
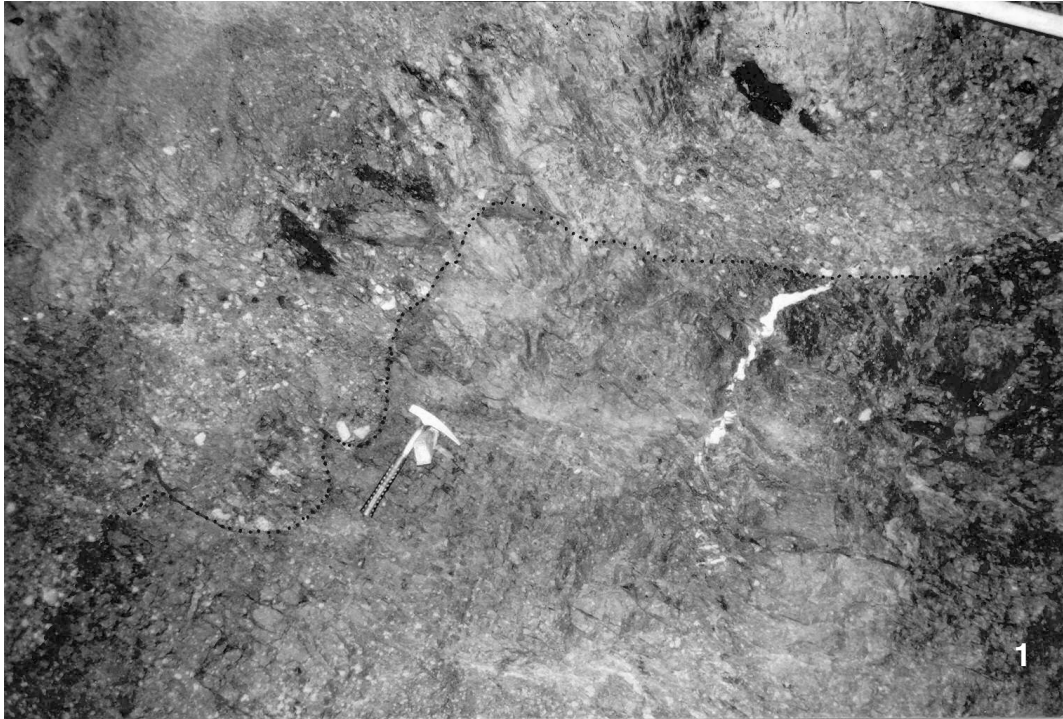
Terigena zrna vežeta cement in osnova. Cement predstavljajo kremen, glinenci-albit, kalcit, dolomit, illit-sericit, klorit, barit, pirit in hematit. V orudnih peščenjakih so prisotni še neprozorni kovinski uranovi, bakrovi, cinkovi in svinčevi minerali. Našteti minerali tvorijo različne oblike in se pojavljajo v več generacijah. Večina osnove pripada genetsko epiosnovi, ki jo gradita pretežno kremen in illit-sericit, v manjši meri pa sta prisotna klorit in albit. V frakciji glin, ki naj bi predstavljala komponento osnove, sta prisotna illit in klorit.

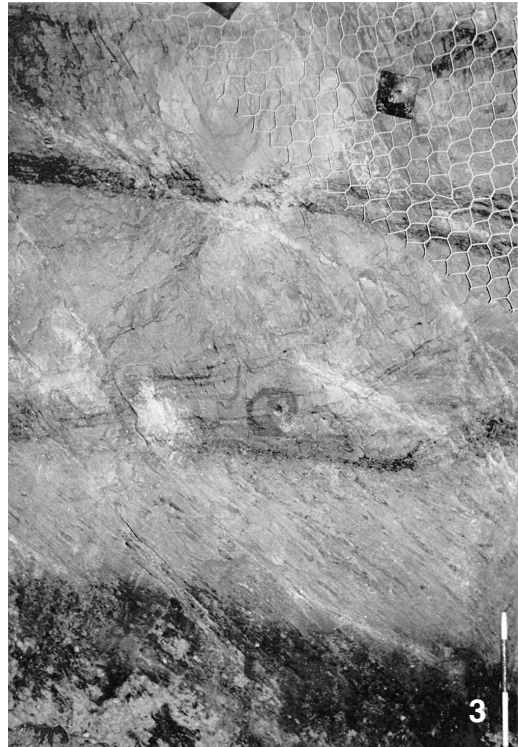
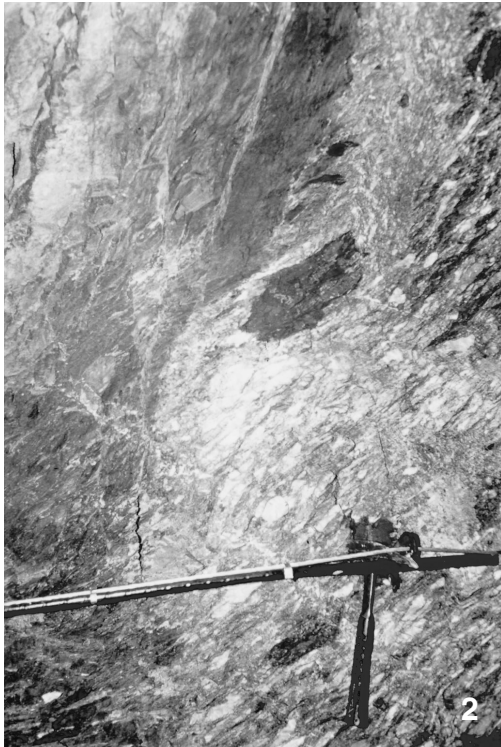
Glede na prisotnost oziroma odsotnot pred-sedimentacijskih in predvsem sinsedimentacijskih tekstur smo v posameznih granulometričnih skupinah peščenjakov ločili več podrobneje opredeljenih faciesov.

Predsedimentacijske, erozijske tekture so razvite v spodnjem in deloma v zgornjem delu debelozrnatega, peščenega člena sekvenc.

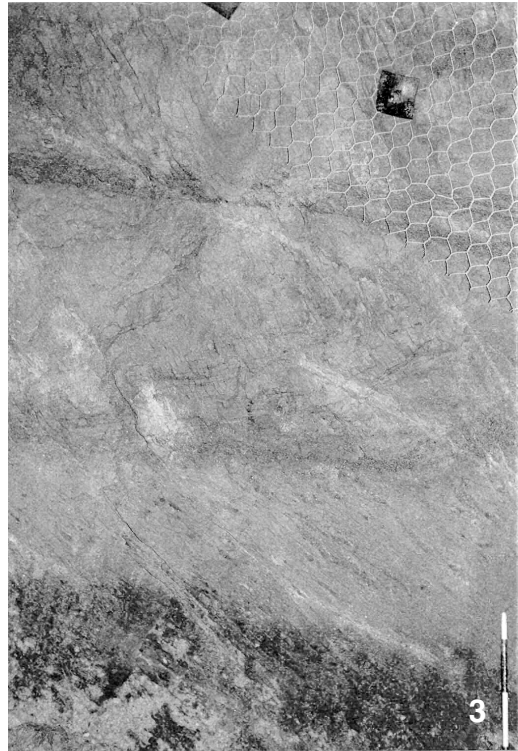
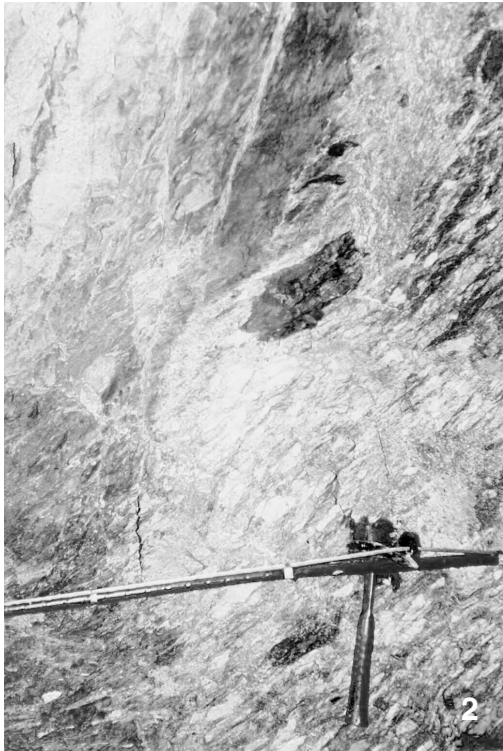
**Tabla 1 – Plate 1**

- Sl. 1* Sivi polimiktni konglomerat zapolnjuje 4 m globok erozijski kanal. Vidna je erozijska površina in del boka erozijskega kanala. Rudnik urana Žirovski vrh, Pr 6/3-2, 27 m.
- Fig. 1* Grey polymictic conglomerate filling a 4 m deep erosion channel. Erosion surface and part of erosion channel flank is visible. Žirovski vrh uranium mine, Pr-6/3-2, 27 m.
- Sl. 2* Erozijska površina med rdečim muljcem v talnini in pisanim polimiktnim konglomeratom v krovni (plasti so rahlo inverzne). Med prodniki sivega in rožnatega kremenca, apnencev ter predornin so iz talninskega rdečega muljevca erodirani intraklasti. Prodniki so orientirani vzporedno s klivažnimi razpokami, domenami. Rudnik urana Žirovski vrh, P-10, 1030 m.
- Fig. 2* Erosion surface between red shale in footwall and variegated polymictic conglomerate in hanging wall (beds slightly inverse). Among pebbles of grey and rose quartz, limestones and volcanic rocks occur intraclasts eroded from red shale in footwall. Pebbles are oriented parallel to cleavage fissures and domains. Žirovski vrh uranium mine, P-10, 1030 m.
- Sl. 3* Planarno (ravno) navzkrižno plastnat peščenjak nad zelenim, razbarvanim rdečim muljcem s kalcitnimi konkrecijami. Zgoraj horizontalno plastnat peščenjak. Rudnik urana Žirovski vrh, Pr-6/3-2, 249 m.
- Fig. 3* Planar cross-bedded sandstone overlying green shale with calcite concretions. Above is horizontally bedded sandstone. Žirovski vrh uranium mine, Pr-6/3-2, 249 m.













*Erozijske površine* – Se spodnjih delov sekvenc smo že obravnavali pri konglomeratnih faciesih. Nad njimi leže peščenjaki z intraklasti muljevca in/ali karbonatnih kongrezij in so običajno plitveje zarezane v podlago (tab. 2, sl. 3). Erozijske površine vzporejamo s faciesom Se (Rust, 1978; Miall, 1978) oziroma s faciesom SS (Cant & Walker, 1978).

V zgornjem delu peščenjakovega člena nekaterih sekvenc smo zasledili *zapolnitve erozijskih kotanj oziroma manjših korit* – Ss (scour-fill sand) in deloma St (solitary trough cross-bedded sand; Miall, 1977). Običajno smo opazovali le manjši del zapolnitev (sl. 3). Globina kotanj in korit dosega 50 cm. Ostale dimenzije lahko le ocenimo. Njihova širina naj bi znašala do 3 m, dolžina pa do 10 m in več. Kotanje in korita zapolnjuje drobno do debelozrnati peščenjak, ki je ponekod laminiran in lahko vsebuje posamezne prodnike.

Sinsedimentacijske teksture podrobneje določajo naslednje peščenjakove faciese.

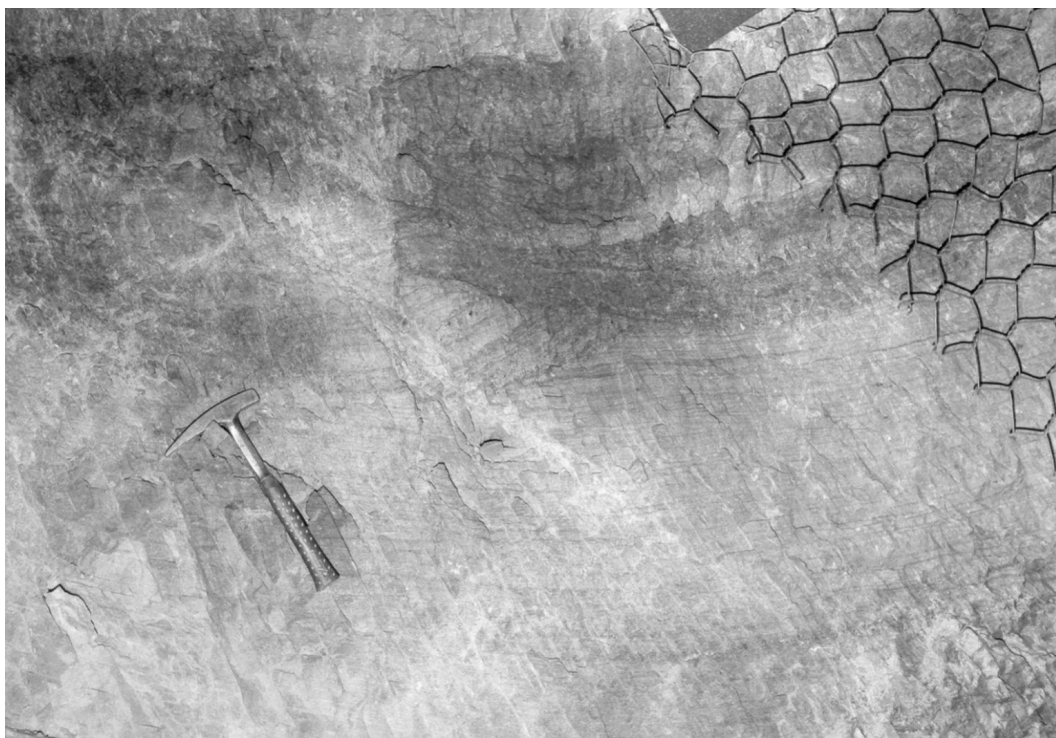
*Masivni peščenjak* – Sm (massive sand) je med vsemi peščenjakovimi faciesi najbolj razširjen in predstavlja 47.8 % debeline Brebovniškega člena. V njem nismo zasledili notranje organizacije. V nekaterih plasteh je izražena normalna in redko inverzna gradacija. Glede na poznane literaturne podatke je delež masivnega faciesa v obravnavanih profilih presenetljivo visok. Po našem mnenju je glavni vzrok temu močna tektonska prizadetost kamnin, predvsem klivaž, ki je povzročil spremembo strukture prvotne kamnine. Med najpogostejšimi spremembami je izrazita preorientacija sedimentnih zrn. Sedimentne teksture so vidne predvsem v primerih, ko je prišlo do delne spremembe velikosti zrn ali sestave ter z njo povezane barvne spremembe.

*Horizontalno laminirani in plastnati peščenjak* – Sh (horizontally-bedded sand;



Sl. 3. Prečni presek zapolnitve erozijske kotanje z upognjeno laminiranim in plastnatim srednjezrnatim peščenjakom. Rudnik urana Žirovski vrh, H-54, 58 m.

Fig. 3. Cross-section of erosion scour filled by curved laminated and bedded medium grained sandstone. Žirovski vrh uranium mine, H-54, 58m.



Sl. 4. Horizontalno plastnati peščenjak nad njim pa koritasto navzkrižno plastnati peščenjak.  
Rudnik urana Žirovski vrh, Pr-6/3-2, 30 m.

Fig. 4. Horizontal bedded sandstone and trough cross-bedded sandstone above it.  
Žirovski vrh uranium mine, Pr-6/3-2, 30 m.

Mi all, 1977) sestavljajo seti vzporednih ali skoraj vzporednih lamin (sl. 4, tab. 2, sl. 2) in/ali plasti peščenjaka ter je v Brebovniškem členu zastopan z 9.1 %. Lamine in plasti so debele 0.5 do 20 mm, njihovi seti pa od 5 cm do 3 m. Vzdolž nekaterih horizontalnih lamin so večje koncentracije intraklastov muljevca. Veliki so do 30 cm in pogosto orientirani vzporedno z laminacijo. Horizontalno laminirani in plastnati peščenjak je produkt ravne plasti, nastale večinoma v pogojih zgornjega tokovnega režima.

*Položno planarno (ravno) navzkrižno laminirani in plastnati peščenjak* – *Sl* (low angle stratified sand; Rust, 1978), bežno omenja tudi Mi all (1977) in ga vzporejamo s faciesom G (Cant & Walker, 1978). Grade ga lamine in plasti, debele 2 do 20 mm, ki vpadajo glede na glavno ploskev plastnatosti pod položnim (<10°) kotom (tab. 2, sl. 2). Posamezni seti položne planarne navzkrižne laminacije in plastnatosti so de-

beli 10 cm do 3 m. Vzdolž lamin se ponekod pojavljajo intraklasti muljevca. Položna planarna navzkrižna laminacija in plastnatost pogosto lateralno prehaja v horizontalno. Opisani facies je v obravnavanih profilih redek, zastopan le z 1.1 % in označuje zgornji tokovni režim ter se običajno odlaga na nekoliko nagnjeni podlagi ali zapolnjuje plitve erozijske kotanje.

*Planarno (ravno) navzkrižno plastnati peščenjak* – *Sp* (planar cross-bedded sand; Mi all, 1977) gradi 1.6 % debeline Brebovniškega člena. Sestavljajo ga nagnjene ravne ali rahlo ukrivljene (tab. 1, sl. 3), vzporedne ali delno vzporedne lamine in plasti peščenjaka, debele 1 do 20 mm. Nalegajo poševno, tangencialno ali asimptotično na ponekod nekoliko nagnjene ali rahlo ukrivljene, večinoma neerozijske ali le delome erozijske ploskve. Naklon lamin in plasti lahko doseže kot 30° glede na glavno ploskev plastnatosti. V posameznih setih planarne navzkrižne

plastnatosti so vzdolž nekaterih lamin ali plasti orientirani podolgovati intraklasti muljevca, redko seti navzkrižne laminacije ali celo tanke plasti muljevca. Planarno navzkrižno plastnati peščenjak je debel 20 cm do 1.6 m. Smeri vpada planarne navzkrižne plastnatosti imajo trimodalno porazdelitev. Na območju Žirovskega vrha je prva moda v smeri približno 60°, druga v smeri 240° in tretja, najmanj zastopana, v smeri 150°. Planarno navzkrižno plastnati peščenjak je nastal z migracijo dvodimenzionalnih sipin (prečnih in jezičastih) in karakterizira spodnji tokovni režim.

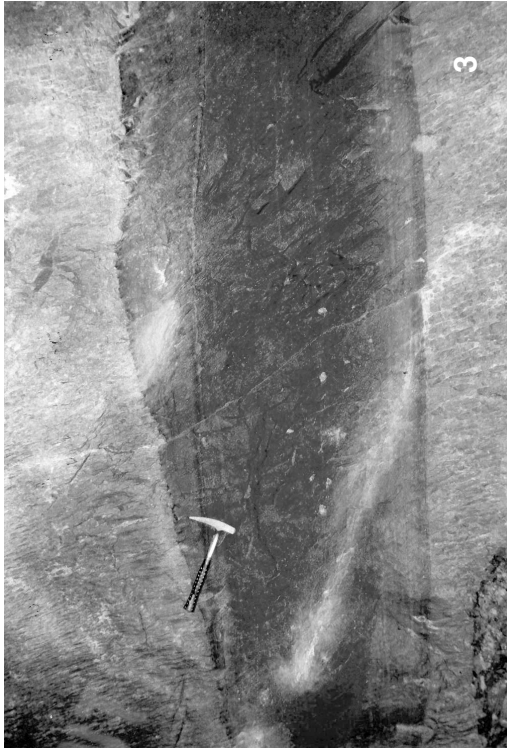
*Koritasto navzkrižno plastnati peščenjak* – *St* (trough cross-bedded sand; Miall, 1977) je zastopan s 9.0 %. Predstavlja vrsto zapolnitev podolgovatih erozijskih kotanj s simetrično ali asimetrično upognjeno laminiranim materialom (sl. 4). Velikost posameznih erozijskih korit je precej različna. Večina korit je globokih 10 do 30 cm in širokih 50 cm do 1 m. Dolžine v glavnem nismo mogli določiti, ker je bilo v rudniku zelo malo vid-

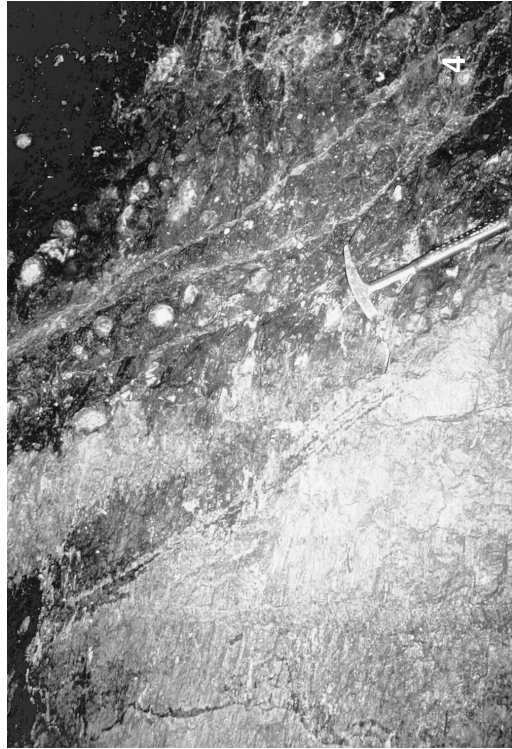
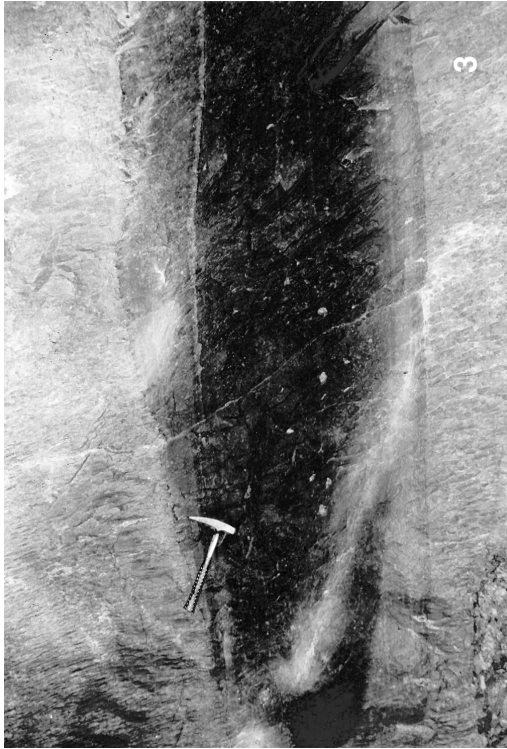
nih vzdolžnih presekov. Erozijske kotanje so najpogosteje zapolnjene s peščenim, redkeje prodnato peščenim materialom, v katerem so vidne ukrivljene lamine in plasti, debele 2 do 30 mm z žličasto obliko. Značilno je, da so lamine deloma odrezane s sosednjimi ali zgoraj ležečimi erozijskimi kotanjami. Vzdolž nekaterih lamin zasledimo tudi intraklaste muljevca. V profilih je koritasto navzkrižno plastnatosti peščenjak debel 10 cm do 2.8 m. Opisani facies predstavlja zapolnitve kanalov in je produkt migracije tridimenzionalnih sipin ter označuje spodnji tokovni režim.

*Navzkrižno laminirani peščenjak* – *Sr* (tab. 2, sl. 2) (ripple cross-laminated sand; Miall, 1978; Rust, 1978) zavzema 1.3 % debeline Brebovniškega člena. Po svojih oblikah in notranji zgradbi je zelo podoben različnim tipom navzkrižne plastnatosti, le da so dimenzije manjše. V večini presekov smo opazovali koritasto navzkrižno laminacijo. Seti navzkrižne laminacije so debeli 1 do 5 cm, medtem ko so koseti z navzkrižno

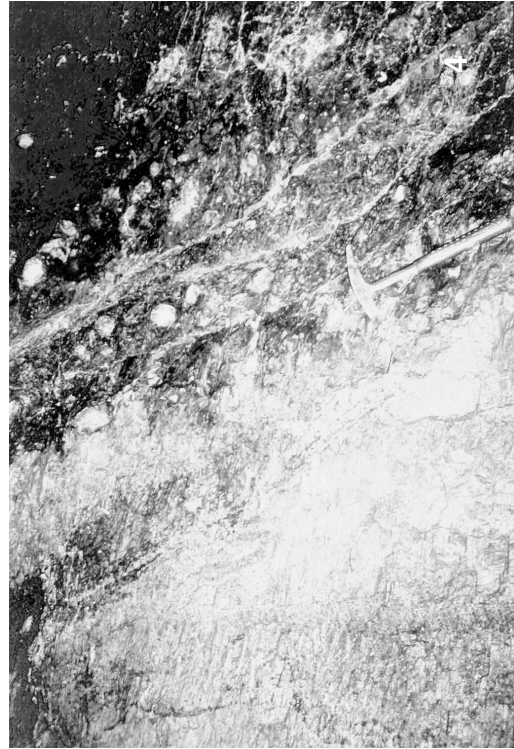
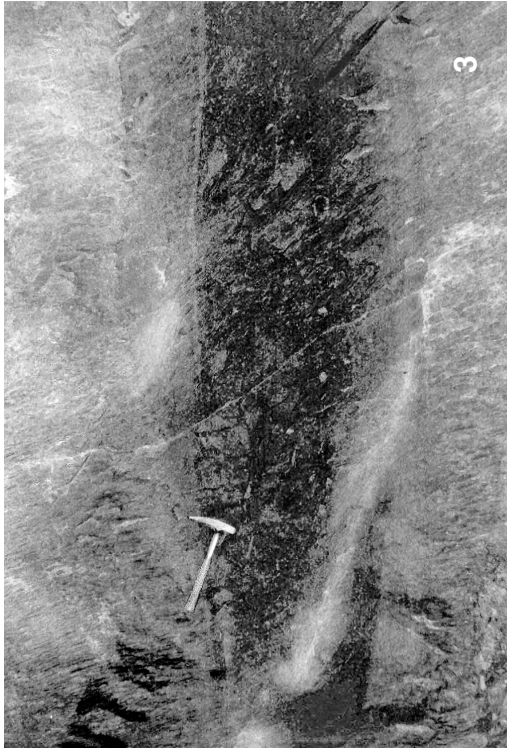
**Tabla 2 – Plate 2**

- Sl. 1* Horizontalno plastnati konglomerat. Horizontalno plastnatost v prodnatem peščenjaku nakazujejo temno siwe lamine, desno v peščenem konglomeratu pa večja koncentracija prodnikov. Rudnik urana Žirovski vrh, P-10, 1131 m.
- Fig. 1* Horizontally bedded conglomerate. Horizontal bedding in gravelly sandstone is marked by dark grey laminas, and right in sandy conglomerate by higher pebble concentration. Žirovski vrh uranium mine, P-10, 1131 m.
- Sl. 2* V peščenjaku so na nekaterih ploskvah položne planarne navzkrižne plastnatosti koseti navzkrižne laminacije. Spodaj set horizontalne plastnatosti. Rudnik urana Žirovski vrh, Pr-6/3-2, 252 m.
- Fig. 2* On certain surfaces of low angle planar cross-bedded sandstone occur cosets of cross lamination. Below a set of horizontal bedding. Žirovski vrh uranium mine, Pr-6/3-2, 252 m.
- Sl. 3* Horizontalno laminirani muljevc s posameznimi rožnatimi kalcitnimi kongrecijami, v katerega je zarezana do 30 cm globoko erozijska ploskev. Ob spodnjem in zgornjem kontaktu s peščenim faciesom je muljevec deloma razbarvan in je zelene barve. Nad erozijsko površino opazimo zelenkaste intraklaste muljevca. Rudnik urana Žirovski vrh, PP-450, 22 m.
- Fig. 3* Horizontally laminated shale with individual rose calcite concretions in which to 30 cm deep erosion surface is cut in. Along the lower and upper contacts with sandstone the shale is partly green colored. Above the erosion surface greenish shale intraclasts are seen. Žirovski vrh uranium mine, Pr-10, 1068 m.
- Sl. 4* V zelenem in rdečem muljevcu so številne rožnate kalcitne septarijske kongrecije, katerih količina navzdol (proti desni) pada. Rudnik urana Žirovski vrh, P-10, 1068 m.
- Fig. 4* In green and red shale occur numerous calcite septarian concretions, abundance of which diminishes downward (toward right). Žirovski vrh uranium mine, P-10, 1068 m.











laminacijo debeli od 5 cm do 1 m. Navzkrižno laminirani peščenjak je nastal z migracijo dvo in tridimenzionalnih sipinic v območju spodnjega tokovnega režima.

#### Muljevčevi faciesi

Muljevčevi faciesi litološko obsegajo meljevce in meljaste glinavce, različnih rdečih, vijoličastih, sivih do temno sivih, skoraj črnih in zelenkastih barv. V Brebovniškem členu so zastopani z 11.4 %. Nastopajo v različno, a relativno enakomerno debelih plasteh in deloma v lečah. V talnini in krovni muljevcev so peščenjaki in konglomerati. Njihovi spodnji kontakti so običajno jasni ali ostri. V primerih, ko predstavlja talnino zelo drobnozrnat peščenjak, je kontakt tudi postopen. Zgornji kontakti med muljevci in krovino so erozijski (tab. 2, sl. 3) ali ostri.

Muljaste kamnine imajo heterogeno strukturo. Strukturno heterogenost povzroča menjavanje debeleje in drobneje zrnatih lamin, bioturbacija, konkrecije in klivažne domene. Večina terigenih zrn v muljevcih je manjših od 0.03 mm in tvorijo osnovo, v kateri lebde peščena zrna, ki so slabo sortirana. Količina peščenih zrn je zelo spremenljiva in običajno ne presega 20 %.

Sestava muljevcev je enostavna. Grade jih kremen, glinenci – albit in redko mikroklin, muskovit, klorit, ponekod pa še kalcit, dolomit, pirit in hematit.

Teksturno smo ločili skrilavi in laminirani muljevci.

*Skrilavi muljavec – Fs* je najbolj razširjen. Pojavlja se v debelini od 5 cm do 5.5 m. Domnevamo, da je imela večina sedaj skrilavih muljevcev izraženo drobno horizontalno laminacijo. Sedaj je, verjetno zaradi post-sedimentacijskih sprememb, nastalih predvsem pod vplivom tektonikih napetosti (klivaž) in v manjši meri pod drugimi fizikalnimi, kemičnimi in biološkimi vplivi, zbrisana.

*Laminirani muljavec – Fl* (tab. 2, sl. 3) (laminated, sand, silt and mud; Miall, 1977) in *heterolitični muljasto peščenjakovi faciesi* s horizontalno in navzkrižno laminacijo ter krpasto in lečasto plastnatostjo so v Brebovniškem členu podrejeni.

Muljevčevi faciesi predstavljajo material odložen iz suspenzije ali šibkega vlečnega toka na obrežni ravnini ali v opuščenih kanalih.

#### Karbonatni faciesi

Med *karbonatne faciese* uvrščamo kalcitne in dolomitne konkrecije (tab. 2, sl. 4) in tanjše, večinoma nezvezno potekajoče dolomitne plasti. Karbonatne konkrecije nastopajo v zgornjih, pretežno drobnozrnatih delih sedimentnih sekvenc, kjer se pojavljajo deloma posamezno, naključno in različno gosto razvrščene v debelejšem intervalu ali pa so koncentrirane v posamezne horizonte. Njihova koncentracija je pogosto tolikšna, da tvorijo bolj ali manj sklenjene plasti, debele od 5 cm do 1.5 m.

V zgornjih delih nekaterih peščenih sekvenc zasledimo v zelo drobno do srednjezrnatem peščenjaku ponekod tudi karbonatne konkrecije ali nezvezno potekajoče dolomitne plasti, debele do 20 cm. V enem primeru zaključuje sekvenco 1.5 m debela plast peščenega dolomita. Karbonatni faciesi zavzemajo 2.5 % debeline Brebovniškega členu.

Makroskopsko so karbonatne konkrecije večinoma ostro ločene od prikamnine in so velike do 20 cm, večinoma pa 5 do 10 cm. Njihova barva je različnih rdečih in sivih odtenkov ter je delno odvisna od barve prikamnine oziroma sprememb njene barve. V rdeče obarvani prikamnini so rdeče, v sivi prikamnini sive, v zeleno obarvani prikamnini pa so konkrecije sivih in rdečih, rožnatih odtenkov.

Večino karbonatnih konkrecijah sestavljata kalcit ali dolomit. V manjših količinah so prisotni še kremen, glinenci-albit, muskovit-illit in klorit, med akcesornimi minerali pa še pirit, hematit, cirkon, rutil, turmalin, rogovača, neprozorna zrna in stilpnoman. Dolomitne konkrecije so razvite v spodnji tretjini, kalcitne pa predvsem v zgornjih dveh tretjinah Brebovniškega členu.

Karbonatni faciesi predstavljajo pedogene tvorbe (caliche, calcrete), koncentracije zgodnjediagenetskega cementa v plasteh in konkrecijah ter deloma produkt sedimentacije v jezerih tipa playa (Skaberne, 1983).

#### Razvoj in interpretacija sedimentacijskega okolja Brebovniškega členu Grödenske formacije

Na osnovi podrobnih profilov, posnetih v podkoku P-10 ter prečnikih Pr-6/3-2 in Pr-



6/0-4, smo skonstruirali poenostavljen profil razvoja Brebovniškega člena na območju Žirovskega vrha (sl. 5) in prikazali interpretacijo okolja sedimentacije posameznih segmentov. Pri tem smo uporabili terminologijo, ki jo navaja Skaberne (1996).

V sedanji geografski legi predstavljajo obravnavane grōdenske kamnine izsek zapolnitve jugozahodnega boka nekdanjega sedimentacijskega bazena, ki je bil s severovzhoda narinjen v sedanjo lego in danes poteka v smeri NW – SE (Mlakar & Placer, 2000). Zaradi še neizdelane palinspastične rekonstrukcije obravnavanega območja podajamo interpretacijo glede na sedanjo lego. Na osnovi razvoja najnižjega dela Brebovniškega člena Grōdenske formacije sklepamo, da je najgloblji del bazena ležal severovzhodno od območja Žirovskega vrha.

V splošnem lahko v razvoju Grōdenske formacije in zapolnjevanju sedimentnega bazena, predvsem v njegovem osrednjem delu, ki obsega območje Žirovskega vrha, ločimo štiri makrocikle (Skaberne, 1995):

1. makrocikel je retrogradacijski in obsega spodnjo polovico Brebovniškega člena
2. makrocikel je tudi retrogradacijskega značaja in zajema zgornjo polovico Brebovniškega člena in približno spodnjo polovico Hobovškega člena
3. makrocikel je progradacijski in vključuje zgornjo polovico Hobovškega člena, Zalški, Koprivniški in Škofješki člen
4. makrocikel je retrogradacijski in ga predstavlja Dobračevski člen. Konča se z morsko transgresijo ter odložitvijo morskih karbonatnih sedimentov.

V nadaljevanju se omejujemo le na Brebovniški člen Grōdenske formacije.

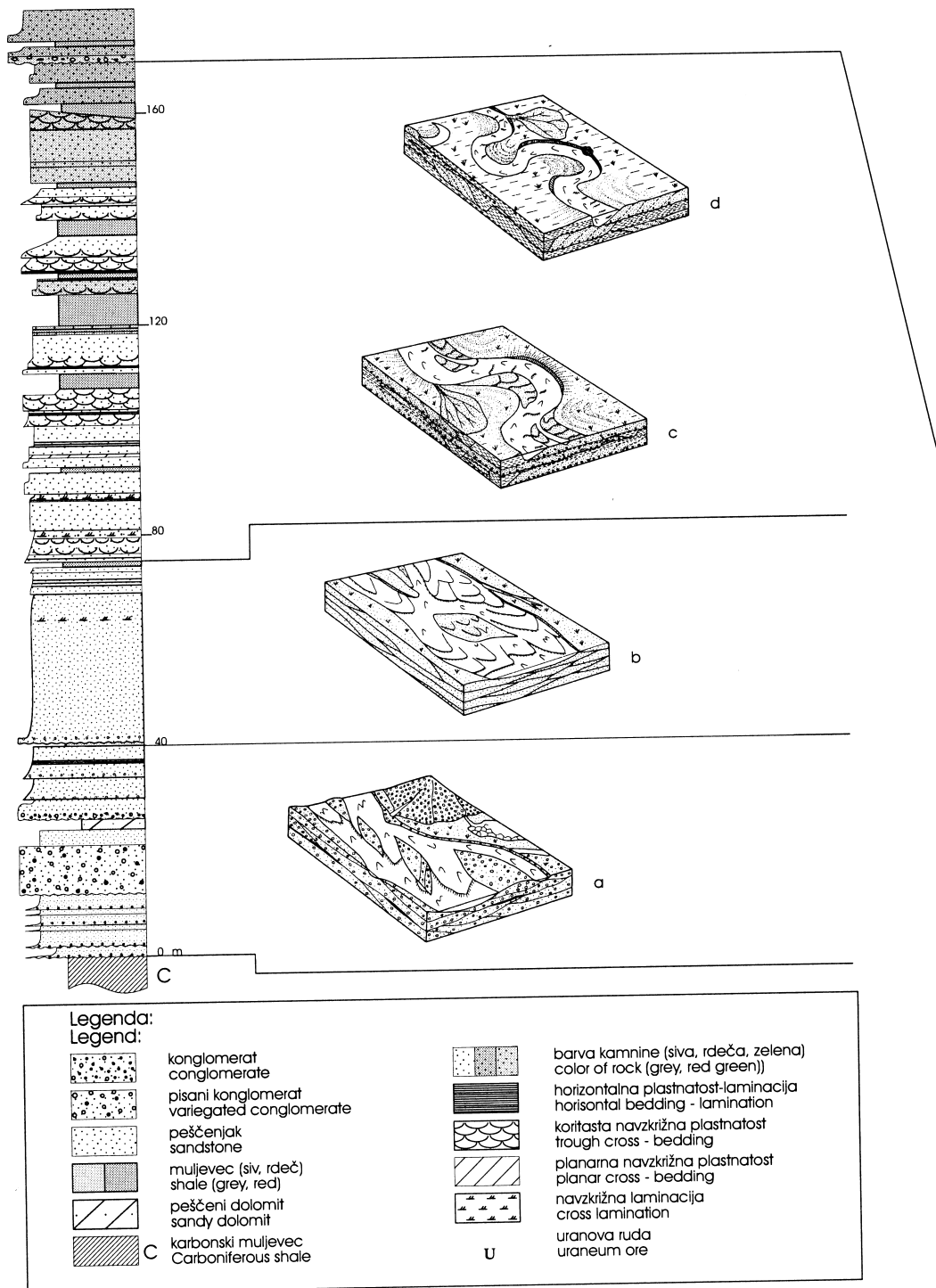
Prvi makrocikel, ki obsega spodnjo polovico Brebovniškega člena, leži diskordantno na superpozicijski enoti Cc. Najbolje je razvit v najglobljem ohranjenem delu sedimentnega bazena na območju Žirovskega vrha. Najnižji del makrocikla predstavlja bazalno distalno tvorbo peščenega materiala, ki so ga odložili rečni tokovi s prevladujočim talnim transportom. Sledi menjavanje peščenjakovih in konglomeratnih faciesov, ki predstavljajo sedimente, ki so se usedali iz tokov s prevladujočo komponento talnega transporta in jih pripisujemo rečnemu sistemu pretežno prepletajočih tokov (sl. 5 a). Lateralno so pritoki prinašali material pisanega polimiktnega konglomerata. Pritoki so

večino materiala odlagali v obliki aluvialnih vršajev ali pa se je morda deloma tudi prese-dimentiral in pomešal s sedimenti glavnega vodnega toka. Na območjih med vršaji, odmaknjenih od glavnega rečnega toka, so se oblikovala tudi manjša jezera tipa playa, v katerih je nastal peščeni dolomit. Navzgor so pričeli prevladovati peščenjakovi faciesi. Njihov material so odložili rečni tokovi s prevladujočim talnim transportom. Rečni tok je bil verjetno sprva še relativno raven in bi ga lahko označili kot peščen prepletajoč tok (sl. 5 b). Postopoma se je pri transportu nekoliko povečal delež suspenzijskega sedimenta, vendar je komponenta talnega transporta še močno prevladovala, tok pa je postal nekoliko bolj vijugav (sl. 5 c). Količina suspenzijskega materiala se je nadalje povečevala, tako da je tok dobil značilnosti mešanega, talno-suspenzijskega toka. Postajal je čedalje bolj vijugav in prešel v pravi meandri-rajoci tok z dobro razvito obrežno ravnino (sl. 5 d). Sedimenti obrežne ravnine pa so bili močno oksidirani in so postali rdeče obarvani. V območja nekaterih predelov poplavne ravnine so segale poplave le redko, tako da so se ponekod razvili pedogeni karbonatni, dolomitni horizonti.

Prvi makrocikel predstavlja sedimente razvoja rečnega sistema z zmanjševanjem njegovega gradienta. To lahko razložimo z večjo hitrostjo sedimentacije v primerjavi s hitrostjo pogrezanja sedimentacijskega bazena.

Na območju Žirovskega vrha znaša debelina prvega makrocikla (profil P-10) približno 165 m. Proti robovom sedimentnega bazena se ta tanjša ter postaja manj izrazit. Njegovi lateralni ekvivalenti so zastopani večinoma s peščenjakovimi faciesi, med katere se vključujejo leče in plasti konglomeratov ter podrejeno muljevcev.

Relativno mirno sedimentacijo zgornjega dela prvega sedimentacijskega makrocikla je prekinil verjetno lateralni vdor proksimalnih, visoko energetskih tokov na območje obrežne ravnine. Tokovi so odložili peščno prodnati material pisanega polimiktnega konglomerata v obliki aluvialnega vršaja (sl. 5 e). Temu je sledila pretežno peščena sedimentacija iz tokov s prevladujočo talno komponento transporta in verjetno prepletajočim potekom rečnih korit. V spodnjem delu so kamnine rdeče, v srednjem zelene in v zgornjem sive barve. Obnovitev proksimalne, debeložrnate sedimentacije povezujemo s tektonsko aktivnost-



Sl. 5. Shematski profil litostratigrafskega razvoja Brebovniškega člena Grödenske formacije na območju Rudnika urana Žirovski vrh z interpretacijo okolja sedimentacije posameznih segmentov.

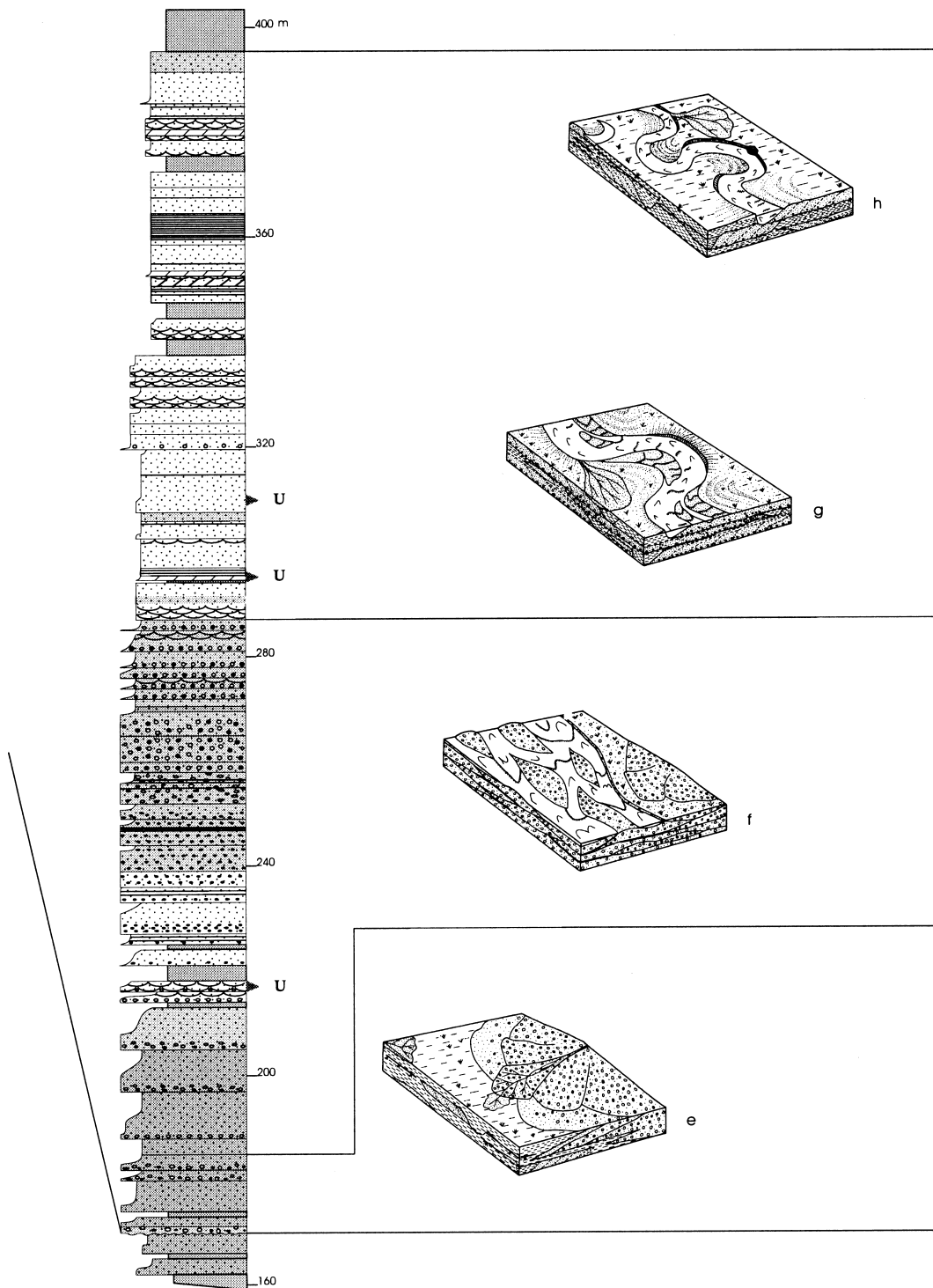


Fig. 5. Schematic profile of lithostratigraphic development of the Brebovnica Member of the Val Gardena Formation in the Žirovski vrh area with interpretation of depositional environment of individual segments.

jo v delu drenažnega zaledja. Obravnavani sedimenti predstavljajo prvi, verjetno sintektonski sunek visokoenergetske proksimalne sedimentacije ter prehod v posttektonsko sedimentacijo s tektonsko pomlajenega reliefa drenažnega zaledja. Sedimente tega prehoda smo zasledili v območju profila P-10, kjer znaša njihova debelina približno 35 m, medtem ko se na širšem prostoru prične sedimentacija drugega makrocikla s peščeno-prodnato sedimentacijo (profil Pr-6/3-2).

Tektonska dogajanja v območju dela drenažnega zaledja, ki so povzročila tudi povečanje gradienta rečnega sistema, označuje posttektonska peščeno-prodnata sedimentacija spodnjega dela drugega makrocikla, ki je na območju Žirovskega vrha debel približno 90 m. Vzdolž bazena, generalno od severozahoda proti jugovzhodu, so rečni, verjetno prepletajoči tokovi s prevladujočo talno komponento transporta, ki so bočno, v smeri NE – SW po rečni naplavni ravnini premikali svoja korita, prenašali peščeni in prodnati material. Ta sestavlja sive peščenjake in polimiktne konglomerate (sl. 5 f), med katerimi se pojavljajo prva uranova rudna telesa. Med te sive faciese se v več nivojih vključujejo, združujejo in cepijo leče ter pasovi pisanega polimiktne konglomerata. Ti imajo večjo kontinuiteto v smeri NW-SE, medtem ko se v smeri proti SW relativno hitro izklinjajo. Največja količina pisanega konglomerata nastopa v osrednjem delu Žirovskega vrha in se v smeri proti NW in SE zmanjšuje. Glede na razliko v prodniški združbi sivega in pisanega polimiktne konglomerata predpostavljamo zanju različni izvorni območji. Geometrija in struktura sedimentnih teles pisanega polimiktne konglomerata kaže na aluvialno vršajno sedimentacijo in lateralno smer transporta od severovzhoda proti jugozahodu (sl. 5 f). Zaradi erozije večine severovzhodnega dela sedimentacijskega bazena in kompleksne tektonske zgradbe nimamo drugih dokazov za navedeno smer transporta pisanega polimiktne konglomerata.

Opisanim peščeno-prodnatim sedimentom je sledila pretežno peščena sedimentacija s podrejeno količino prodnate in muljaste komponente. Znotraj odloženih sedimentov smo, v odvisnosti od položaja, lahko izdvojili štiri do pet manjših ciklov z zaporedjem zmanjševanja zrnivosti, katerih debelina se spreminja od 15 do 35 m. V spodnjem delu ciklov prevladujejo sivi peščeni, ponekod prodnati sedi-

menti. V teh delih prvih dveh ciklov so tudi največja uranova rudna telesa na območju Žirovskega vrha. Ti sedimenti predstavljajo koritne oblike in prepletajoče sipinske komplekse, ki so jih odložili tokovi s prevladujočim talnim transportom. Poteka tokov, iz katerih so se usedali omenjeni sedimenti, nismo mogli vedno nedvoumno opredeliti. V številnih primerih zasledimo značilnosti, ki kažejo na bolj ali manj vijugav, meandrirajoč potek toka (sl. 5 g). V zgornjem delu ciklov so poleg peščenih tudi muljasti sedimenti, ki so se usedali iz meandrirajočih tokov z mešanim, talno-suspenzijskim transportom (sl. 5 h). Zgornji deli ciklov predstavljajo bolj ali manj izoblikovano obrežno ravnino ali nivoje s pogostejšim pojavljanjem opušenih korit. Zaradi razlik v izrazitosti in kontinuiteti izoblikovanja zgornjega dela prvega cikla med petimi na različnih območjih prihaja tudi do različnega števila (štiri ali pet) izdvojenih ciklov. Njihovi vrhnji deli označujejo obdobja s počasnejšo sedimentacijo pretežno suspenziranega materiala. Zato so bili sedimenti intenzivno oksidirani. V njih pa so se razvili horizonti s kalcitnimi konkrecijami.

Na območju Žirovskega vrha znaša približna skupna debelina omenjenih štirih do petih ciklov 105 m. Debelina drugega makrocikla v območju Brebovniškega člena pa je 230 m. Podobno kot pri prvem makrociklu se njegova zgradba in debelina proti robovom sedimentnega bazena spreminja in manjša. Enako velja tudi za celoten Brebovniški člen. Njegova debelina se spreminja od 0 do skoraj 400 m. Predpostavljamo, da je prišlo po odložitvi sedimentov Brebovniškega člena do hitrega umika glavnega rečnega toka z obravnavanega območja in/ali sorazmerno hitrega zmanjšanje gradienta rečnega sistema. Tako je za Hobovski člen zancilna prevladujoča počasna sedimentacija muljastih, podrejeno peščenih sedimentov na obrežni ravnini z vsemi svojimi podokolji in manjšimi kanali.

**Facies, development and interpretation of sedimentary environment of the uranium-bearing Brebovnica Member of the Val Gardena Formation in the Žirovski vrh area**

**Introduction**

The Val Gardena Formation has the largest continuous extension in Slovenia in the area between Cerkno and Smrečje where it outcrops as an irregularly wide belt in the NW-SE direction.

In the Cerkno and Sovodnj areas numerous showings of copper ore attracted attention of researchers already in the 19<sup>th</sup> century. With discovery of radioactive anomalies in the Žirovski vrh area in 1960 and with later opening of the uranium mine of Žirovski vrh the interest for the Val Gardena Formation further increased.

Several years of the investigation *Geologic factors of Hg, Cu and U mineralization* (Mlakar, 1978 to 1983) resulted into a new geologic map of the territory between Cerkno and Smrečje (Fig. 1) that incorporate also data from boreholes and mine workings. In the yearly research reports also basic data about all lithostratigraphic members of the Val Gardena Formation are recorded. The geologic structure of Žirovski vrh and surroundings is described in short by Mlakar and Placer (2000). Detailed information on sedimentary and postsedimentary evolution of the Val Gardena Formation in this area and on certain dilemmas of lithostratigraphic nomenclature were presented by Skaberne (1995).

**Basic geologic characteristics of the Žirovski vrh area**

Between Cerkno, Žirovski vrh (Fig. 1) and Smrečje extends in the NW-SE direction an about 20 km long and up to 5 km wide belt of rocks of the Val Gardena Formation. The area is situated at the contact of External Dinarides and Southern Alps consisting of overthrust units. In a wider sense the area of Žirovski vrh belongs to the External Dinarides, and in a narrower sense to the Idrija-Žiri territory that constitutes a part of the Trnovo nappe (Mlakar, 1969; Placer, 1981, 1999; Mlakar and Placer, 2000).

The overthrust structure is dissected by several fault systems of various directions. The Sovodnje fault along which the SW block was moved downward for 200 to 400 m is the most important of these fault systems (Mlakar and Placer, 2000).

In the base of the Val Gardena Formation occur shales of the Cc superposition unit. Their age has not yet been paleontologically proved, therefore they have been attributed on the base of older studies to the Upper Carboniferous, permitting their possible Lower Permian age (Mlakar, 1987; Mlakar et al., 1993; Mlakar and Placer, 2000; Mlakar, 2001). The contact between the Cc superposition unit and the Val Gardena Formation is often of tectonic, overthrust character, and in undisturbed localities it appears as angular-erosional disconformity. The Val Gardena Formation consists predominantly of red, subordinately grey, grey-green and green, prevailingly middle grained and to a lesser degree fine and coarse grained clastic rocks. Based on lithologic characteristics Mlakar (1978-1983) subdivided the Val Gardena Formation into six superposition units marked A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3/1</sub>, A<sub>3/2</sub>, B and C. Later these units were classified as lithostratigraphic members and named the Brebovnica (Br), Hobovše (Ho), Zala (Za), Koprivnik (Ko) Škofje (Šk) and Dobračevo (Do) Members by him (Mlakar and Placer, 2000).

*The Brebovnica Member (Br)* consists mainly of grey and grey green, in places red and green variously grained and prevailingly feldspar quartz lithic sandstones, conglomerates and less shales. The uranium mineralization occurs in the upper half of the Brebovnica Member in the Žirovski vrh area. Thickness of this member varies from 0 to 400 m, and it pinches out in northwest.

*The Hobovše Member (Ho)* is built of red shale with several meters thick lenses of red and grey fine-grained sandstone. In the latter occur in places copper mineralizations. The member is 20 to 280 m thick.

*The Zala Member (Za)* is represented by red, variously grained sandstones and subordinately thinner beds of red shale. Its thickness varies between 180 and 380 m.

*The Koprivnik Member (Ko)* consists of red conglomerates and sandstones of varying grain size and of smaller amount of shale. In the wider surroundings of Žirovski vrh the

member attains 550 m of thickness. Northwest of Sovodnje the Zala and Koprivnik Members thin and finally pinch out. In the southeastern part of the considered territory (Lavrovec) the beds that could be compared to Zala and Koprivnik Members appear in a different development.

The *Škofje Member (Šk)* is developed in the Škofje and Sovodnj areas as grey lithic quartz sandstone in which the copper mineralization occurs in places (Škofje, Sovodnj). In the Javorjev dol area appear in the same lithostratigraphic level lenses of light grey and grey brownish, in places pink conglomerate that becomes southeastwards more continuous and thicker, attaining a thickness of 100 m. At Lavrovec two prograding coarsening-upward successions could be distinguished. They consist of grey and grey yellowish sandstones and conglomerates, the latter being in places also red. The successions attain a thickness of up to 740 m, and they represent the equivalent of the Zala and the Koprivnik Members.

The *Dobračevo Member (Do)* is developed in the Sovodnj area prevalingly as red fine-grained sandstone attaining 120 m of thickness. Towards southeast it passes to red shale that thins and pinches out at Lavrovec.

The thickness of the entire Val Gardena Formation varies from 200 m in the Škofje area to 1750 at Žirovski vrh where it attains its maximum thickness in Slovenia.

The lower part of the Val Gardena Formation at Žirovski vrh could be older than 255 million years which corresponds to the Kazanian, the lower part of Upper Permian in its two part subdivision (Odin & Odin, 1990), or to the Middle Permian in the three part subdivision of Permian. This is confirmed also by the only determinable fossil remains (pollen) found in the P-10 adit and B-63 borehole (Jelen et al., 1981).

Carbonate rocks transgressively overlie the terrigenous Val Gardena Formation. They build the Žazar Formation that is an equivalent of the Bellerophon Formation in the Carnian Alps.

In the following we will limit ourselves only to the Brebovnica Member that is also economically the most interesting member of the Val Gardena Formation owing to considerable concentration of uranium ore. The basic subdivision of this member was carried

out in connection with exploration of uranium ore (Omaljev, 1967 a, b; Budkovič, 1980).

### Methodology of examination and interpretation

In the Žirovski vrh mine area (Fig. 1) we logged ten detailed profiles that partly overlap, and that cover the entire and maximum preserved thickness of the Brebovnica Member in the entire area between Cerčno and Smrečje.

The logged profiles represent unidimensional vertical successions of facies. Since the Val Gardena Formation consist prevalingly of clastic rocks and as the grain size represents one of the basic and in clastics the most important property, it was used for the basis of the facies subdivision. Three basic conglomerate, sandstone and mudstone facies were distinguished. They were subdivided in more detail according to additional defining criteria as their sedimentary structures and composition. Since the sedimentary structures were formed during sedimentation and since they reflect the interaction between flow, bed and transported material, from them certain characteristics of the flow could be inferred.

The vertical successions of facies were associated to sedimentary sequences that are bounded by third and higher order bounding surfaces (Miall, 1988). An ideal sequence of the most well known meandering river deposit consists of lower, coarse grained, point bar and upper, fine grained, overbank sediments.

Sedimentary sequences were associated into various higher order units (the first of E1 and the second of E2 orders; Fig. 2). The units are of interpretative character and they should represent the unit bars, channel forms and braided bar and overbank complexes of rivers or alluvial fans. Complete representations of profiles, defined units and detailed interpretation are presented by Skaberne (1995).

All discussed relative frequencies of individual facies are shown in the following with respect to their thickness in considered sections of carefully logged P-10 adit, Pr-6/2-3 and Pr-6/0-4 crosscuts in the central part of the Žirovski vrh uranium mine.

### Facies and their interpretation

In the Brebovnica Member the most frequent are the sandstone and conglomerate facies, while the mudstone and carbonate facies are less developed.

#### Conglomerate facies

The conglomerates, sandy conglomerates and gravely sandstones, of which the last two mentioned prevail, are attributed to conglomerate facies that comprise 18.6 % of the Brebovnica Member. The conglomerate facies are of variously grey, green and subordinately red color shades. They occur in irregularly thick beds and lenses of 5 cm to 9 m thickness.

In conglomerates the following pebble groups can be detected macroscopically: grey-white and rose quartz, grey, green and red volcanic rocks, rare granitoid rocks, chert – lidite and jasper, limestones, sandstones, tuffs, sericite slates, phyllites, quartzites and intraclasts of shales and carbonate concretions.

In conglomerates alterations of color and composition of pebbles were detected, and on this basis two main conglomerate facies were established.

*The grey polymictic conglomerate* is represented with 8.5 %, and is of variously grey and subordinately greenish color shades. In it pebbles of grey-white quartz, grey and green volcanic rocks predominate over pebbles of lidite, tuffs and intraclasts (Pl. 1, Fig. 1). It usually forms more or less continuous beds and lenses of 10 cm to 4.5 m thickness in individual sequences.

*The variegated polymictic conglomerate* has a very diverse pebble composition that gave it the name. In it pebbles of grey-white and rose quartz prevail, while pebbles of grey and green volcanic rocks, lidite, jasper, tuffs and intraclasts are less abundant (Pl. 1, Fig. 2). Along with the mentioned pebbles occur in places also pebbles of red volcanic rocks and limestones. The variegated polymictic conglomerate is prevalingly green, rarely reddish and even more rarely grey. It forms more or less continuous beds and lenses from 10 cm to 8.1 m thick in considered sequences.

The variegated polymictic conglomerate is irregularly distributed in the Žirovski vrh

area. It has the maximum thickness in the central part where it amounts to 10.1 % of total thickness of the Brebovnica Member, whereas it thins towards NW and SE. It occurs in several horizons that may fast pinch out laterally in the SW direction. Between individual horizons the grey polymictic conglomerate is interbedded.

For more detailed determination of facies the predepositional and syndepositional sedimentary structures were used.

*Se – erosional surfaces* (Pl. 1, Fig. 1, 2) are of the third or higher order bounding surfaces (Miall, 1988, 1990). They are compared to the Se lithofacies – erosional scours with intraclasts (Rust, 1978; Miall, 1978) and the SS lithofacies (Cant & Walker, 1978).

*Gm – massive conglomerate* is the most abundant, forming 17.0 % of the Brebovnica Member thickness.

*Gh – horizontally bedded conglomerate* is more or less distinctly expressed (Pl. 2, Fig. 1). Miall (1977, 1978) associated conglomerates with massive and horizontal bedding to the Gm lithofacies – massive and crudely bedded gravel. The Gm and Gh conglomerates could represent longitudinal bars, lag coarse-grained deposits or alluvial fan sieve deposits.

*Gt – trough cross-bedded conglomerate* is more or less clearly expressed, and makes only 0.4 % of total thickness. It is interpreted as channel fill.

#### Sandstone facies

The sandstone facies are the most abundantly represented. They comprise 70.0 % of the Brebovnica Member thickness. Based on grain size they were subdivided into three groups: coarse (10.6 %), medium (38.0 %) and fine-grained (21.4 %) sandstone. They are of grey, red and subordinately green color shades, and they form more or less regularly thick beds and lenses. Their thickness in considered sequences varies between 5 cm and 18.2 m. They are underlain by conglomerates and shales.

Data on grain size distribution in sandstones of the Val Gardena Formation as well as interpretation of their depositional environment based on them, defined it as fluvial, are given by Skaberne (1995, 1997).

Sandstones are composed of terrigenous grains of quartz, feldspars – mainly plagioclases, lithic grains – of volcanic rocks, granitoids, metamorphic rocks and subordinately sedimentary rocks, phyllosilicates – especially muscovite and chlorite, and accessory heavy minerals.

Terrigenous grains are bound by cement and matrix. Most of cement consists of quartz, feldspars, calcite, dolomite and numerous other minerals that occur in various forms and in several generations. The larger part of matrix belongs genetically to epimatrix that consists predominately of quartz and illite-sericite.

With respect to the presence or absence of predepositional and especially of syndepositional sedimentary structures in individual granulometric groups of sandstone facies several detailed facies were distinguished.

*Se – erosional surfaces* (Pl. 2, Fig. 3) are compared, as in the conglomerate facies, with the *Se* lithofacies (Rust, 1978; Miall, 1978) and with the *SS* lithofacies (Cant & Walker, 1978).

In the upper part of the sandstone member of some sequences the *Ss – scour-fill sandstone* (Fig. 3) and partly the *St – solitary trough cross-bedded sandstone* (Miall, 1977) were detected.

*Sm – massive sandstone* is the most abundant among all sandstone facies, and it represents 47.8 % of the Brebovnica Member thickness. Compared to known literature data the share of the massive sandstone in the considered profiles is surprisingly high. We consider the main reason for such abundance of massive bedding to be the high degree of tectonic deformation of rocks.

*Sh – horizontally laminated and bedded sandstone* (Fig. 4, Pl. 2, Fig. 2) is represented by 9.1 % of the Brebovnica Member. It is a product of plane bed deposited mostly, but not always, in the upper flow regime.

*Sl – low angle planar cross-laminated and bedded sandstone* (Pl. 2, Fig. 2) is rare in the considered profiles, represented by only 1.1 %. It reflects the upper flow regime, and is usually deposited on a somewhat inclined basis, or it fills shallow erosional scours.

*Sp – planar cross-bedded sandstone* (Pl. 1, Fig. 3) comprises 1.6 % of total Brebovnica Member thickness. In the Žirovski vrh area the dips of the planar cross bedding have a three-modal distribution. The first mode is

in the direction at about 60°, the second at about 240°, and the third, the least frequent, at about 150°. This facies was formed as a result of migration of two-dimensional dunes, transverse or languid bars, and characterizes the lower flow regime.

*St – trough cross-bedded sandstone* (Fig. 4) is present with 9.0 %. This facies represents channel fills with the migration of three-dimensional dunes, and is typical for the lower flow regime.

*Sr – cross-laminated sandstone* (Pl. 2, Fig. 2) is represented by 1.3 % in the thickness of the Brebovnica Member. The facies was formed by migration of two- and three-dimensional ripples in the lower flow regime.

#### Mudstone facies

Lithologically the mudstone facies comprises siltstones and shales of various red, violet, grey to dark grey and almost black and greenish colors. They make 11.4 % of the considered member.

The fine-grained rocks have a heterogeneous texture. Textural heterogeneity is caused by alternation of coarser and finer grained laminas, bioturbation and concretions, and by cleavage domains.

They are composed of muscovite – illite, chlorite, quartz, feldspars – albite and rarely microcline, and in places by additional calcite, dolomite, pyrite and hematite.

The mudstone facies are texturally slaty or laminated.

*Fs – slaty shale* is prevailing among the mudstone facies. We believe that most of the present slaty shales had expressed fine horizontal lamination, which was obliterated mostly by tectonic strain and other post-depositional alterations.

*Fl – laminated shale* (Pl. 2, Fig. 3) with horizontal or cross-lamination and lenticular bedding is subordinate in the Brebovnica Member.

The mudstone facies represent overbank sediments deposited from suspension or weak traction currents.

#### Carbonate facies

The calcite and dolomite concretions (Pl. 2, Fig. 4) and thinner, largely discontinuous



dolomite beds are attributed to the carbonate facies. The carbonate concretions occur in the upper, mainly fine-grained parts of sedimentary sequences where they appear in part isolated, randomly and variable dense within a thicker interval, or they are concentrated in individual horizons. Their abundance is often so high that they form more or less continuous beds from 5 cm to 1.5 m thick. The carbonate facies comprise 2.5 % of the Brebovnica Member.

The carbonate concretions are macroscopically in general sharply delimited from the surrounding rock. They are about 20 cm large, mostly between 5 and 10 cm.

Most of the carbonate concretions consist of calcite and dolomite. In smaller amounts also quartz, feldspars – albite, muscovite-illite and chlorite are present. Dolomite concretions are developed in the lower third, and calcite concretions in the upper two thirds of the Brebovnica Member.

The carbonate facies represent partly pedogenic carbonates (caliche, calcrete), partly concentrations of early diagenetic carbonate cement in beds and concretions, and partly deposits of playa lakes (Skaberne, 1983).

#### **Development and interpretation of depositional environment of the Brebovnica Member of the Val Gardena Formation in the Žirovski vrh area**

From detailed profiles logged in the P-10 adit and in Pr-6/8-2 and Pr-6/0-4 crosscuts we constructed a simplified profile of the lithostratigraphic development of the Brebovnica Member in the Žirovski vrh area (Fig. 5), and interpreted the depositional environment of individual segments.

In the present geographic position the considered Val Gardena rocks represent a section of the fill of the southwest flank of the original sedimentary basin that was overthrust from northeast to its present position trending northwest-southeast (Mlakar & Placer, 2000). Since the palinspastic reconstruction of the considered area has not been performed yet, we present the interpretation according to its present position. On the basis of the development of the lowermost part of the Brebovnica Member of the Val Gardena Formation we presume that the lowermost part of the basin

was situated northeast of the Žirovski vrh area where also greatest thickness is preserved.

Generally, in its central part that comprises the Žirovski vrh area four macrocycles can be distinguished (Skaberne, 1995):

The 1<sup>st</sup> macrocycle is retrogradational, and it comprises the lower half of the Brebovnica Member.

The 2<sup>nd</sup> macrocycle is also of retrogradational character and it comprises the upper half of the Brebovnica Member and about the lower part of the Hobovše Member.

The 3<sup>rd</sup> macrocycle is progradational and it includes the upper part of the Hobovše Member, and the Zala, Koprivnik and the Škofje Members.

The 4<sup>th</sup> macrocycle is retrogradational and is represented by the Dobračevo Member; it is terminated by a sea transgression and deposition of marine carbonate sediments.

In the following, only the Brebovnica Member of the Val Gardena Formation will be considered.

The first macrocycle comprising the lower half of the Brebovnica Member is discordantly overlying the Cc superposition unit. It is the best developed in the deepest preserved part of the sedimentary basin in the Žirovski vrh area. The lowermost part of the first macrocycle represents the basal distal form of sandy material deposited by predominant bed-load streams. The followed alternation of sandstone and conglomeratic facies represents the sediments deposited from predominant bed-load streams, and they are attributed to a prevailing braided fluvial channel style (Fig. 5 a). The tributaries carried in laterally the material of variegated polymictic conglomerate. The tributaries deposited the most of material in alluvial fans. Some of this material was perhaps in part resedimented and mixed with sediments of the main stream. In areas between alluvial fans, at some distance from the main stream, periodically occurred smaller playa lakes, where sandy dolomite formed. After that started to prevail the sandstone facies deposited by bed-load streams; the fluvial channel style was sand dominated and most probably braided (Fig. 5 b). In the sediment load transported by streams the bed-load still strongly prevailed but the amount of suspended-load started gradually to increase. This caused increasing the sinuosity of

fluvial channels too (Fig. 5 c). The amount of suspended material continued to increase, so that the stream became of mixed-load type. The fluvial style evolved in the higher sinuosity single channel system passing into meandering channel style with a well-developed floodplain (Fig. 5 d). The overbank deposits became strongly oxidized and red colored. Some areas of the floodplain were attained by less frequent floods so that in places pedogenic carbonate, dolomitic horizons could develop.

The first macrocycle represents the sediments of the fluvial system development that was characterized by reduction of its gradient. This can be explained by the high net sedimentation rate that exceeded the subsidence rate of the sedimentary basin.

In the Žirovski vrh area the thickness of the first macrocycle (P-10 profile) attains about 165 m. Toward the margins of the sedimentary basin it thins and becomes less distinct. Its lateral equivalents are represented mostly by sandstone facies with inclusions of lenses and beds of conglomerates and subordinately shales.

The relatively quiet deposition of the upper part of the first sedimentation macrocycle was interrupted probably by lateral irruption of proximal, high-energy streams on the areas of the floodplain. The streams deposited sandy and gravely material of the variegated polymictic conglomerate as alluvial fans (Fig. 5 e). This was followed by predominantly sandy deposition from the bed-load streams in the probably braided channels system. In the lower part the rocks are red, in the middle one green and in the upper part grey. Renewal of proximal, coarse-grained sedimentation is associated with tectonic activity in a part of the drainage basin. The considered sediments represent the first, probably syntectonic shock of high-energy proximal sedimentation, and the transition towards post tectonic sedimentation from the tectonically renewed relief of the drainage basin. These transition sediments were detected in the area of the P-10 profile where their thickness averages about 35 m, whereas in the wider area the sedimentation of the second macrocycle was started with sandy-gravely sedimentation (profile Pr-6/3-2).

The tectonic events in the drainage basin which caused also the increase of the river

system gradient, are marked by post tectonic sandy-gravely sedimentation of the lower part of the second macrocycle that attains about 90 m thickness in the Žirovski vrh area. The grey sandstone and polymictic conglomerate (Fig. 5 f) within which the first uranium ore bodies occur were formed of sand and gravel transported by bed-load streams that were flowing along the basin, generally from northwest to southeast and shifted laterally, in NW-SE direction, their braided channel across the alluvial plain.

Among these the grey sandstone and polymictic conglomerate include, amalgamate and split at several levels the lenses and belts of variegated polymictic conglomerate. Their continuity is steadier in the NW-SE direction, whereas they relatively rapidly pinch out toward SW. The largest amount of variegated polymictic conglomerate occurs in the central part of the Žirovski vrh area, and it diminishes in the NW and SE directions. Owing to the difference in pebble associations of grey and variegated polymictic conglomerate two different source areas for them are supposed. The geometry and structure of sedimentary bodies of variegated polymictic conglomerate indicate alluvial fan depositional environment and lateral transport from northeast towards southwest (Fig. 5 f). Because of erosion of great deal of the northeastern part of the sedimentary basin and the complex tectonic structure there are no other proofs for the mentioned transport direction of the variegated polymictic conglomerate.

The described sandy-gravely sedimentation was followed by predominant sandy sedimentation with subordinate amount of gravely and muddy component. Within the deposited sediments four to five smaller fining-upward cycles could be established. Their thicknesses vary from 15 to 35 m. In the lower part of cycles prevail grey sandy, in places gravely sediments. In these parts of the first two cycles also occur the largest uranium ore bodies of the Žirovski vrh area. These sediments represent channel forms and braided bar complexes deposited from the predominant bed-load streams. The fluvial channel style, which the mentioned sediments deposited, could not always be determined unequivocally. In numerous cases certain characteristics indicate meandering channels with lower or higher sinuosity (Fig.

5 g). The upper parts of cycles consisting of sandy and muddy sediments were deposited by mixed-load streams of meandering fluvial channel style (Fig. 5 h). The uppermost parts of cycles represent a more or less formed overbank plain or levels with more frequent occurrences of abandoned channels. Owing to differences in expressiveness and continuity of the upper part of the first of the five cycles in various areas also different numbers (four to five) of cycles can be determined. Their upper parts mark the periods of slower sedimentation of predominantly suspended material. Therefore the sediments were intensively oxidized and horizons of caliche concretions developed in them.

In the Žirovski vrh area the approximate total thickness of the mentioned four to five cycles amounts to 105 m. Thickness of the second macrocycle in the Brebovnica Member area is 230 m. Similarly as the first macrocycle its structure and thickness changes and diminishes towards the margins of the sedimentary basin. This is true also for the entire Brebovnica Member. Its thickness varies from 0 to almost 400 m.

After the deposition of sediments of the Brebovnica Member supposedly the main stream rapidly retreated from the considered area, and/or the fluvial system gradient rapidly diminished. The Hobovše Member is therefore characterized by the predominantly slow sedimentation of muddy, subordinatedly sandy sediments on the wide overbank plain with all subenvironments and smaller channels.

### Zahvala

Raziskavo je financiralo Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport RS. Zahvaljujem se kolegom, ki so podali kritične pripombe k rokopisu in s tem pripomogli k njegovi izboljšavi. Posebna zahvala velja S. Pircu za angleški prevod. Za tehnično pomoč pa se zahvaljujem V. Pavlici in J. Otrin.

### Literatura – References

- Berce, B. 1959: Poročilo o geološkem kartiranju ozemlja Cerčno-Žiri v letu 1958. – Rokopis, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.  
 Berce, B., Iskra, M., Novak, D. & Cigler, K. 1959, 1960: Poročilo o geološkem

kartiranju na ozemlju Cerčno-Žiri-Idrija-Rovte. – Rokopis, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Bibolini, A. 1933: Formazioni sedimentari ramifere nel Goriziano. – Assoc. min. Del Piemonte, Torino.

Budkovič, T. 1978: Litološka kontrola uranovega orudjenja na obzorju 530 m v rudišču Žirovski vrh. – Rud.-metal. zb., 1, 25-34, Ljubljana.

Budkovič, T. 1980: Sedimentološka kontrola uranove rude na Žirovskem vrhu. – Geologija, 23/2, 221-226, Ljubljana.

Budkovič, T. 1981: Raziskave na Žirovskem vrhu po modelu geokemične celice. – Geologija, 24/1, 7-23, Ljubljana.

Budkovič, T. et al. 1979, 1983: Geološko rudarske raziskave uranovega rudišča Žirovski vrh za leto 1978, 1983. – Rokopis, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Cant, D. J. & Walker, R. G. 1978: Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. – Sedimentology, 25, 625-648, Oxford.

Dimkovski, T. et al. 1974, 1976, 1977: Poročilo o rudarsko geoloških raziskavah urana na Žirovskem vrhu v letu 1973, 1975, 1976, 1977. – Rokopis, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Dolenec, T. 1983: Nastanek uranovega rudišča Žirovski vrh. – Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani.

Drovenik, F., Drovenik, M. & Grad, K. 1972: Kupferführende Grödener Schichten Sloweniens. – Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on the Mineral Deposits of the Alps. – Geologija, 15, 95-107, Ljubljana.

Drovenik, M. 1970: Nastanek bakrovega rudišča Škofje. – Prvi kolokvij o geologiji Dinardov 2. del, Geološki zavod in Slovensko geološko društvo, Ljubljana, 17-63.

Grad, K. & Ferjančič, L. 1974: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, List Kranj. – Zvezni geološki zavod, Beograd.

Grad, K. & Ferjančič, L. 1976: Tolmač za list Kranj, Osnovna geološka karta 1:100 000. – Zvezni geološki zavod, Beograd, 70 pp.

Grad, K. et al. 1967: Raziskave bakra v širši okolici Cerknega. – Rokopis, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Grafenauer, S. 1966: Metalogenija i mineraloške karakteristike bakrovih pojava u Sloveniji. – Referati 6. savetovanja geologa SFR Jugoslavije II, 377-396, Ohrid.

Götting, 1924: Über die Kupferlagerstätten von Sovodenj. – Montan. Rdsch., 1924/18, 493-496, Wien.

Isailović, S. & Pavlović, A. 1963: Podetaljno geološko kartiranje i radiometrijska prospekcija područja Fužine-Cerčno. – Rokopis, Fond strokovne dokumentacije IGRI, Beograd.

Jelen, M., Budkovič, T. & Grad, K. 1981, Crucisaccites variolucatus Djupina v permiskih plasteh uranovega rudišča Žirovski vrh. – Geologija 24/2, 319-325, Ljubljana.

Kossmat, F. 1910: Erläuterungen zur Geologische Karte Bischoflack-Idria, Wien, 98 pp.

Lipold, M. V. 1852: Kupfererze in Krain. – Jb. geol. R.-A., Sitzungsbericht von 20. April 1852, Wien.

Lipold, M. V. 1857: Erzvorkommen in Oberkrain. – Jb. geol. R.-A., Sitzungsbericht von 18. April 1857, Wien.

Lukacs, E. & Florjančič, 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.

Marinković, P. 1960: Geološka karta Žirovskog vrha. – Rokopis, Fond strokovne dokumentacije, Geoinstitut, Beograd.

Marinković, P. 1961a: Radiometrijska prospekcija i geološko kartiranje u oblasti Žirovski vrh 1961. godine. – Rokopis, Fond strokovne dokumentacije, Geoinstitut, Beograd.

Marinković, P. 1961b: Radiometrijska prospekcija i geološko kartiranje u oblasti Žirovski vrh i Škofje Loke. – Rokopis, Fond strokovne dokumentacije, Geoinstitut, Beograd.

Miall, A. D. 1977: A review of the braided-river depositional environment. – *Earth Sci. Rev.*, 13, 1-62, Amsterdam.

Miall, A. D. 1978: Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: summary. – v: Miall, A. D. (ed.), *Fluvial sedimentology*. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem., 5, 597-604, Calgary.

Miall, A. D. 1985: Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. – *Earth-Sci. Rev.*, 22, 261-308, Amsterdam.

Miall, A. D. 1988: Facies architecture in clastic sedimentary basins. – v: Kleinspehn, K.L. & Paola, C. (eds.), *New Perspective in Basin Analysis*. Springer-Verlag, New York, 67-81.

Miall, A. D. 1990: *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. 2<sup>nd</sup> ed., Springer-Verlag, New York, 669 pp.

Mlakar, I. 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. – *Geologija*, 12, 5-72, Ljubljana.

Mlakar, I., 1979, 1980, 1981, 1982, Geološki faktorji kontrole Hg, Cu in U mineralizacije. – Rokopis, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Mlakar, I. 1987: Prispevek k poznavanju geološke zgradbe Posavskih gub in njihovega južnega obrobja. – *Geologija*, 28, 29, (1985/86), 157-182, Ljubljana.

Mlakar, I. 2001: Paleozojski skladi na območju Lenarta nad Lušo. – *Geologija*, 44/2, 217-225, Ljubljana.

Mlakar, I. & Placer, L. 2000: Geološka zgradba Žirovskega vrha in okolice. – v: Florjančič, A.P. (ed.), *Rudnik urana Žirovski vrh*. Doneski 1, Didakta, Radovljica, 34-45.

Mlakar, I., Skaberne, D. & Droveinik, M. 1993: O geološki zgradbi in orudenju v karbonskih kameninah severno od Litije. – *Geologija*, 35, (1992), 229-286, Ljubljana.

Odin, G. S. & Odin, Ch. 1990: Echelle numérique des temps géologiques, mise à jour. – *Géochronique*, 35, 12-21, Paris.

Omaljev, V. 1965: Ležišče uranijuma Žirovski vrh. – *Nuklearna energija*, 3, Beograd.

Omaljev, V. 1967 a: Korelacija slojeva u ležištu urana Žirovski vrh. – *Radovi, IGRI*, 3, 125-149, Beograd.

Omaljev, V. 1967 b: Korelacija slojeva u ležištu Žirovski vrh. – *Radovi IGRI*, 3, 125-149, Beograd.

Omaljev, V. 1982: Metalogenetske karakteristike uranskog rudišta Žirovski vrh. – Posebna izdaja, knjiga 7, Geoinstitut, Beograd, 170 pp.

Palinkaš, L. A. 1986: Geochemical facies analysis of groeden sediments and ore forming processes in Žirovski vrh uranium mine, Slovenia, Yugoslavia. – *Acta Geologica, Jugosl. akad. znan. i umjet.*, 16/2, 43-82, Zagreb.

Placer, L. 1973: Rekonstrukcija krovne zgradbe idrijsko žirovskega ozemlja. – *Geologija*, 16, 317-334, Ljubljana.

Placer, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. – *Geologija*, 24/1, 27-60, Ljubljana.

Placer, L. 1983: Tektonski razvoj idrijskega rudišča. – *Geologija*, 25/1, 7-94, Ljubljana.

Placer, L. 1999: Contribution to the macro-tectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. – *Geologija*, 41, 223-255 (1998), Ljubljana.

Placer, L. & Čar, J. 1998: Structure of Mt. Blegoš between the Inner and Outer Dinarides. – *Geologija*, 40 (1997), 305-323, Ljubljana.

Premru, U. 1976: Neotektonika vzhodne Slovenije. – *Geologija*, 19, 211-249, Ljubljana.

Premru, U. 1977: Tektonske raziskave ozemlja z nahajališči urana med Idrijo in Skofjo Loko. 2. faza. – Rokopis, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Premru, U. 1980: Geološka zgradba osrednje Slovenije. – *Geologija*, 23/2, 327-378, Ljubljana.

Rakovec, I. 1956: Pregled tektonske zgradbe Slovenije. – Prvi. jug. geol. kongres – Bled 1954, 73-83, Ljubljana.

Ramovš, A. 1958: Razvoj zgornjega perma v Loških in Polhograjskih hribih. – *Razprave IV raz. SAZU*, 1, 451-622, Ljubljana.

Rust, B. R. 1978: Depositional models for braided alluvium. – v: Miall, A. D. (ed.), *Fluvial sedimentology*. – Can. Soc. Petrol. Mem., 5, 605-625, Calgary.

Selley, R. C. 1970: *Ancient sedimentary environments*. Chapman & Hall, Ltd., London, 237 pp.

Skaberne, D. 1983: Petrography, chemistry and origin of carbonate concretions from Val Gardena Formation (Middle Permian) from the region of Žirovski vrh, W Slovenia, NW Yugoslavia. 4<sup>th</sup> I. A. S. Regional Meeting, International Association of Sedimentologists, Abstracts, 156-157, Split.

Skaberne, D. 1995: Sedimentacijski in post-sedimentacijski razvoj gródenške formacije med Cerknim in Žirovskim vrhom. – Doktorska disertacija, I. del 500 pp., II. del 196 pp. + 46 prilog, Univerza v Ljubljani.

Skaberne, D. 1996: Rečni sistemi in njihovi sedimentacijski modeli. – *Geologija*, 37/38, (1994/95), 251-269, Ljubljana.

Skaberne, D. 1997: Interpretation of depositional environment based on grain size distribution of sandstone of the Val Gardena Formation in the area between Cerkno and Smrečje, Slovenia. – *Geologija*, 39, (1996), 193-214, Ljubljana.

Winkler, A. 1923: Über den Bau der östlichen Südalpen. – *Mitt. Geol. Gesel.*, 16, 1-272, Wien.