

Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani
Department of Geography, Faculty of Arts, University of Ljubljana

DELA 49

LJUBLJANA 2018

ISSN 0354-0596

DELA

49

2018

Elektronska izdaja — Electronic edition

ISSN 1854-1089

Založnik — Published by

Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani

Izdajatelj — Issued by

Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani

Za založbo — For the Publisher

Roman Kuhar, dekan Filozofske fakultete

Mednarodni uredniški odbor — International Editorial Board

Marko Krevs, Simon Kušar, Karel Natek, Darko Ogrin, Dejan Rebernik, Serge Schmitz (Liège, Belgija),
Laura Šakaja (Zagreb, Hrvaška), Katja Vintar Mally, Miroslav Vysoudil (Olomouc, Češka)

Urednika — Editors

Dejan Cigale (glavni urednik), Mojca Ilc Klun

Upravnik — Editorial Secretary

Nejc Bobovnik

Namizno založništvo — Desktop Publishing

Jure Preglau

Tisk — Printed by

Birografika Bori, d. o. o.

Naklada — Edition

400 izvodov

Naslov uredništva — Publisher's address

Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani, Aškerčeva 2, SI-1000 Ljubljana

Elektronski dostop — On-line access

<http://revije.ff.uni-lj.si/Dela>

DELA so vključena v – DELA is included in

Scopus, CGP – Current Geographical Publications, DOAJ, ERIH PLUS, GEOBASE,
Central and Eastern European Academic Source, GeoRef, Russian Academy of Sciences Bibliographies,
TOC Premier, International Bibliography of the Social Sciences

*Izdano s finančno pomočjo Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in
Oddelka za geografijo FF Univerze v Ljubljani.*

To delo je ponujeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-
Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna licenca / This work is licensed
under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



VSEBINA – CONTENTS

RAZPRAVE – PAPERS

Matej Ogrin, Erika Kozamernik

Horizontalni padavinski gradienti v alpskih dolinah severozahodne Slovenije 5

Horizontal precipitation gradients in Alpine valleys of northwestern Slovenia 21

Andrej Draksler, Simon Kušar

Zasnova geografskega pristopa k izdelavi strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v porečjih 37

Concept of the geographical approach to professional analysis in river basin spatial planning 58

Klemen Prah, Tomaž Kramberger, Dejan Dragan

Primerjava 2D in 3D GIS modela pri načrtovanju šolskih prevozov 61

Comparison of 2D and 3D GIS model for school vehicles routing 72

Darko Ogrin

Razvoj geografije v srednjem veku 75

Development of geography in the Middle Ages 93

Uroš Stepišnik, Aleš Grlj

Caves, denuded caves and collapse dolines as past hydrological pattern indicators of the Grabovica Plateau, the Dinaric Karst (Bosnia and Herzegovina) 95

Jame, denudirane jame in udornice kot kazalniki nekdanjega hidrološkega delovanja planote Grabovica (Bosna in Hercegovina) 109

HORIZONTALNI PADAVINSKI GRADIENTI V ALPSKIH DOLINAH SEVEROZAHODNE SLOVENIJE

dr. Matej Ogrin*, Erika Kozamernik**

*Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani,
Aškerčeva 2, SI-1000 Ljubljana

**Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo,
Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana
e-pošta: matej.ogrin@ff.uni-lj.si, erika.kozamernik@gozdis.si



Izvirni znanstveni članek

COBISS 1.01

DOI: 10.4312/dela.49.5-36

Izvilleček

Čprav imajo Alpe med vsemi svetovnimi gorstvi najgostejšo mrežo padavinskih postaj, je na mikro ravni poznavanje padavinskih razmer marsikje še vedno slabo. Padavinske postaje v gorskih pokrajinah so zgoščene v nižinskih in poseljenih območjih. Na višje ležečih območjih je le-teh malo. V gorah je problematična tudi natančnost meritev. Posledično je informacija o padavinskih razmerah pomanjkljiva prav tam, kjer je količina padavin največja. Slednje pomeni pomanjkljive ocene vodne bilance in oteženo napovedovanje s padavinami povezanih procesov, med katere sodijo hudourniške poplave, usadi, zemeljski in snežni plazovi in podobno. Prispevek govori o horizontalnih gradientih padavin v alpskih dolinah Planica, Krnica in Beli potok, ki se nahajajo na severozahodu slovenskega dela Julijskih Alp. Rezultati nekajletnih meritev so pokazali, da so letni horizontalni gradienti padavin v Krnici znašali 162 mm/km, v dolini Belega potoka 192 mm/km in v Planici 216 mm/km. Gre za največje poznane horizontalne padavinske gradiente v Sloveniji. Prirast padavin glede na začetek doline je v dolini Belega potoka dosegel faktor 1,36, v Krnici 1,55 in v Planici kar 1,86.

Ključne besede: gorsko podnebje, horizontalni padavinski gradienti, meritve padavin, orografske padavine, Julijske Alpe, alpske doline

I UVOD

O orografskem učinku na količino padavin je na svoj način pisal že Valvasor, ki pravi: »Po dežju Kranjske ne žeja [...] Včasih ne vidiš oblaka, in glej nenadoma se v gorah, zlasti v visokih snežnikih, dvigne meglica, ki se takoj spremeni v ploho [...] In večkrat dežuje dvakrat, trikrat ali celo štirikrat na dan, posebno na Gorenjskem pod snežniki« (Valvasor,

1978, str. 93, 94). Besedilo torej nakazuje večjo namočenost gorskega sveta. Verjetno prvi, ki se je bolj podrobno lotil proučevanja padavinskih razmer na Slovenskem, je bil Ferdinand Seidl v poznanem delu *Das Klima von Krain* (1891). V proučevanju padavinskih razmer takratne Kranjske dežele je navedel podatke s padavinske postaje Kranjska Gora (*Kronau*) z letno količino padavin 1599 mm (Seidl, 1891). Tudi on je ugotovil, da ima bližina gora pomemben vpliv na količino padavin. Izpostavi tudi, da je z vidika količine padavin pomembnejša oddaljenost nekega kraja od gora kot pa njegova nadmorska višina (Seidl, 1891). Slednje danes razlagamo s procesi nastanka padavin in z neposrednim vplivom gora na količino padavin.

Z metodo ugotavljanja dejanskih količin padavin so se v sodobnem času ukvarjali tudi slovenski meteorologi. Za slovenski gorski svet je pomembna podnebna študija z naslovom *Klima Triglavskega Narodnega parka* (Pristov, Pristov, Zupančič, 1998). V tej študiji avtorji navajajo, da padavine običajno naraščajo z nadmorsko višino, kar pa ne velja vedno.

V dosedanjih raziskavah je bilo ugotovljeno, da so lahko na kratke razdalje, v smeri proti gorskim grebenom in proti zatrepom dolin, razlike v količinah padavin znatne. V zimi 2003/2004 je za območje Zahodnih Karavank nad Martuljkom in na območju krnice Pod Špikom Ogrin (2005) ugotovil, da je glede na meteorološko postajo Rateče v krnici Pod Špikom padlo 1,5-krat več padavin in na planini Grajščici 1,3-krat več padavin. Ogrin in Ortar (2007) sta nadaljevala raziskavo razporeditve padavin v gorah tudi v zimi 2005/2006, ko sta proučevala območja Spodnjih Bohinjskih gora (Peči). Rezultati meritev v eni zimski sezoni so pokazali, da je na najvišjih delih Peči količina padavin 200 % višja v primerjavi z izmerjeno količino padavin na severnem robu grebena. Glede na korigirano količino padavin na Voglu pa je bila izračunana količina padavin na grebenu še vedno 56 % večja.

Za poletno sezono ali celo za večletno obdobje podobnih študij ni na voljo. Novejše slovenske študije obsegajo tudi topoklimatske karte nekaterih gorskih območij, kot na primer topoklimatska karta Jezerskega in doline Kamniške Bistrice (Ogrin, Vysoudil, Ogrin, 2013; Ogrin, Koželj, Vysoudil, 2016). Ti dve študiji sicer ne temeljita na podrobnejših meritvah, obe pa nakazujeta večjo namočenost grebenov in zatrepov alpskih dolin in jo predstavita kot pomemben topoklimatski dejavnik. Najnovejša padavinska karta Slovenije (Povprečna letna ..., 2018) za to območje navaja 1800–3200 mm padavin letno.

Veliko raziskav orografskih procesov je tudi v ostalih alpskih državah in drugod po svetu (npr. Bonacina, 1945; Sharon, 1970; Barros, Lettenmaier, 1994; Blumer, 1994; Sevruck, 1997). Bach in Pryce (2013) navajata primere z indijske podceline, kjer količina padavin na Zahodnih Gatih preseže 5000 mm in nato na zavetrni strani hitro pade na 380 mm. Privetrna območja Škotskega višavja prejmejo okoli 4300 mm. Ustje reke Moray na zavetrni strani, približno 200 km stran, pa prejme le še okoli 600 mm. Še precej večje so razlike v gorah nižjih geografskih širin. Gorovje Blue Mountains na severovzhodu Jamajke prejme okoli 5600 mm padavin, prestolnica Kingston, ki je oddaljena le 56 km, pa 780 mm, kar nam prinese povprečni horizontalni padavinski gradient -86 mm/km v smeri zavetrja. Zelo veliki horizontalni gradienti padavin se pojavljajo tudi na Havajskem otočju. Z vrha gore Waialeale v zavetrni smeri količina padavin na štirikilometrskem odseku pada z gradientom 1875 mm/km (Blumenstock, Price, 1967). V gorovju Olympic

Mountains (zvezna država Washington, ZDA) na razdalji 48 km količina padavin v smeri zavetrja pade za 5900 mm, kar pomeni horizontalni padavinski gradient -120 mm/km v smeri stran od gora (Mass, 2008).

Vysoudil (2009) topoklimatske učinke, ki nastanejo pri obravnavanih procesih, povezuje z reliefom, in sicer s konveksnimi reliefnimi oblikami. Glavni razlog za obilnejše padavine v gorskih pokrajinah je v orografskem učinku. Slednji predstavlja dviganje zraka in njegovo kondenzacijo ob potovanju zračnih mas preko gora. Padavine so v gorah intenzivnejše, pogostejše in običajno trajajo tudi dlje časa. K večji namočenosti prispevajo tudi padavine iz megle, ki v resnici predstavlja oblak. Gre za ivje ali pa prestrezanje meglenih kapljic na vegetaciji in ostalih površinah. Na gorskih območjih višjih geografskih širin v oblačnih dneh v hladni polovici leta na privetnih straneh nastajajo večje količine ivja, ki pomembno prispevajo k skupni količini padavin na letni ravni (Bach, Pryce 2013).

Predmet naše raziskave so horizontalni gradienti padavin v alpskih dolinah. Gradient padavin definiramo kot spremembo količine padavin na določeno razdaljo. Poznamo višinski gradient (dRR/dh), ki pomeni spremembo količine padavin z nadmorsko višino, in horizontalni gradient (dRR/dx), ki predstavlja spremembo količine padavin v vodoravni smeri.

Ko govorimo o padavinskem gradientu v horizontalni smeri, gre v našem primeru za smer vzdolž posamezne alpske doline. V smeri proti grebenom je gradient pozitiven, v obratni smeri pa negativen. Količina padavin proti grebenom, kot posledica dviganja pobočij, narašča. Količina padavin je tako v bližini gora v primerjavi z ravninskimi predeli na isti nadmorski višini bistveno večja.

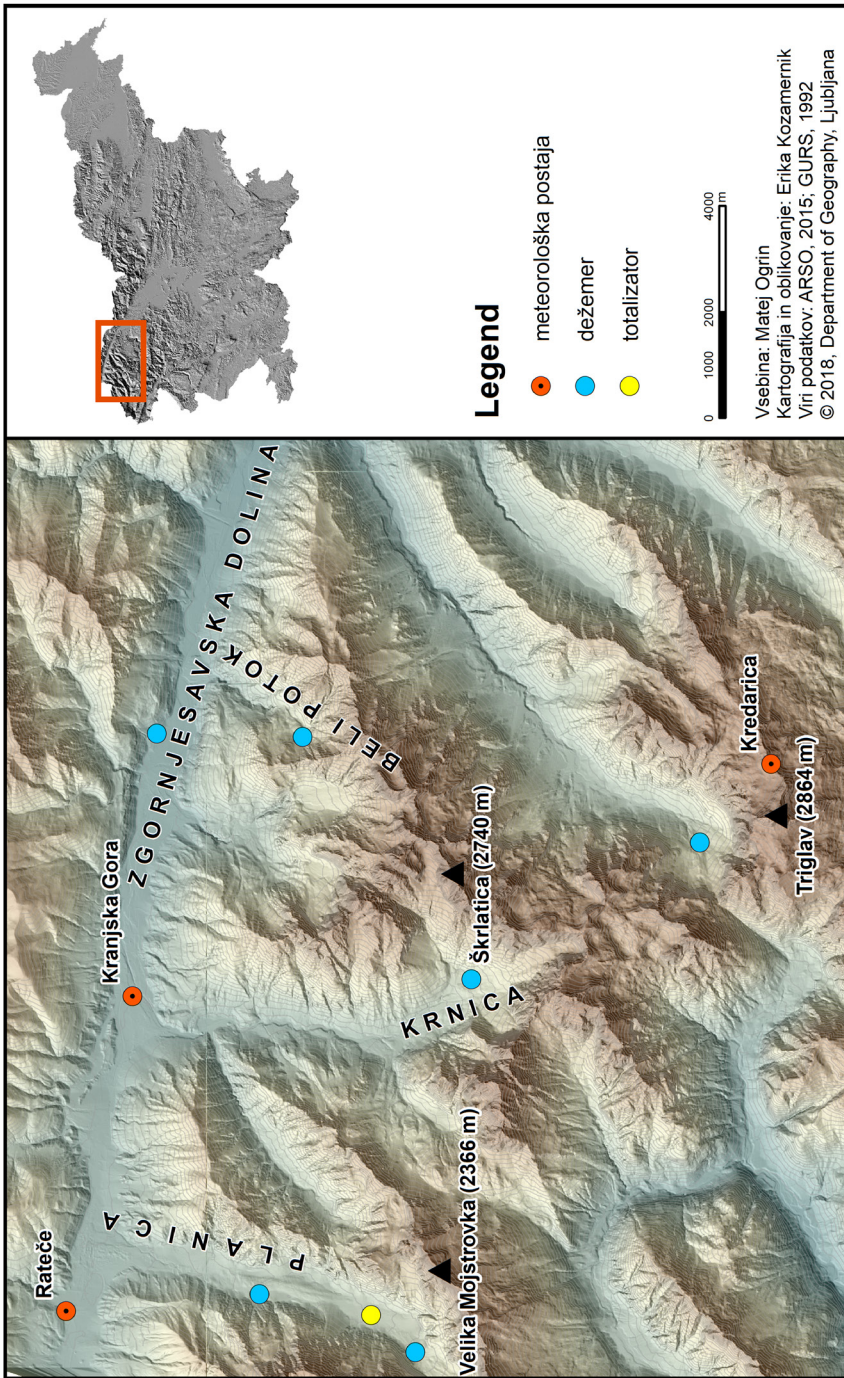
2 PROUČEVANO OBMOČJE

Območje raziskovanja predstavljajo Zgornjesavska dolina ter tri stranske doline, ki se iz Zgornjesavske doline odcepijo proti jugu in ležijo v osrednjem delu Julijskih Alp. To so doline Krnica, Planica in dolina Belega potoka.

Dolina Belega potoka je tipična obvisela dolina. V dolžino meri približno dva kilometra, tako višinski profil kot tudi morfologija doline pa sta zelo raznolika. V zatrepnem delu se dolina razširi in zavije proti jugozahodu ter na koncu proti zahodu, en krak pa proti jugovzhodu. V zatrepu jo z vseh strani zapirajo vrhovi Martuljkove skupine: Sleme nad Vrtaško planino (2051 m), Kukova Špica (2453 m) in Vršič nad Belim potokom (1696 m). Dežemer je bil postavljen na pobočju v zatrepnem delu doline, na nadmorski višini 1400 m in razdalji 2,9 km od začetka doline.

Dolina Krnica predstavlja zgornji del doline Velike Pišnice, ki se začne pri Kranjski Gori in poteka pretežno v smeri sever–jug. Dolina se v zgornjem delu usmeri proti jugovzhodu, kjer se konča v obliki krnice pod ostenji Prisojnika (2547 m), Kriške stene (2375 m) ter Razorja (2501 m). Kranjska Gora leži na nadmorski višini 810 m, dolina Krnica pa se enakomerno vzpenja do nadmorske višine okoli 1150 m, kjer preide v zatrepni del, kjer se tik pod Kriško steno dvigne vse do 2000 m. Celotna dolžina doline od Kranjske Gore do Kriške stene je 8,4 km. V dolini Krnica so meritve potekale v zgornjem delu doline, približno 2,5 km od vznožja Kriške stene, na nadmorski višini 1250 m. Oddaljenost merilnega mesta od padavinske postaje v Kranjski Gori znaša 5,9 km.

Slika 1: Območje proučevanja z lokacijami merilnih mest.



Dolina Planica je izmed vseh treh najbolj zahodno ležeča alpska dolina in poteka pretežno v smeri sever–jug. Začne se na delu Rateškega polja, imenovanem Ledine, kar je na nadmorski višini okoli 820 m. Od tod se približno enakomerno vzpenja do nadmorske višine okoli 1200 m, kjer se začne zatrejni del doline, ki se zaključi z ostenjem Jalovca (2645 m). Dolino zapirajo ostenja Macesnovca, Rateških Ponc (2274 m), Vevnice (2342 m) ter Jalovca (2645 m) na zahodu in ostenja Ciprnika (1745 m), Slemenove špice (1911 m) ter Travnika (2379 m) na vzhodu. Od Rateškega polja do zatropa je dolina dolga približno 8,8 km. V Planici je bilo število merilnih mest največje. Postavljena sta bila dva dežemera, v analizo padavinskih razmer pa smo vključili še dve merilni mesti ARSO (Agencije Republike Slovenije za okolje). To sta meteorološka postaja v Ratečah, ki je na stiku Planice in Zgornjesavske doline, ter totalizator pri planinski koči v Tamarju. Dežemer na območju Mokrega potoka (1060 m) je bil od meteorološke postaje v Ratečah oddaljen 3,6 km, totalizator v Tamarju (1110 m) okoli 5,4 km, dežemer v Črnih vodah (1260 m) pa okoli 6,6 km.

3 METODOLOGIJA RAZISKAVE

Meritve padavin so potekale v poletnih sezonah od sredine ali konca maja do druge polovice novembra, in sicer v obdobju med leti 2012–2015. Dežemeri so bili prirejeni le za meritve dežja oziroma majhnih količin snega (do 20 cm), saj padavin niso talili. Padavinska voda iz lovilne posode se je preko lija in ozke cevi pretakala v 50–100 l velike

Slika 2: Primer dežemera z lijem (a) in lovilno posodo (c), ki ju med seboj povezuje ozka cev (b) (foto: E. Kozamernik).



posode. Na koncu meritev smo izmerili deževnico, ki se je akumulirala v slednjih. Ker so meritve trajale do novembra, smo v posode dodali kuhinjsko sol, ki je preprečila zmrzovanje deževnice v livilni posodi. Izhlapevanje vode iz posode je bilo zanemarljivo, saj je bila posoda z dežemerom povezana preko skoraj meter dolge ozke cevi s premerom 2 cm.

Za oris padavinskih razmer smo uporabili podatke z bližnjih padavinskih postaj Agencije RS za okolje. To so bili podatki iz totalizatorja v Planici, ki se nahaja pri planinskem domu v Tamarju, podatki z meteorološke postaje Rateče ter podatki s padavinske postaje Kranjska Gora. Datumi meritev so navedeni v preglednici 1.

Lovilna posoda s površino 200 cm² je bila pritrjena ter postavljena v vodoravni položaj približno 1,8 m nad tlemi. Ob koncu merilnega obdobja smo raztopino deževnice in soli v totalizatorju stehali ter od mase raztopine odšteli maso soli, ki je bila predhodno dodana v vodo.

Preglednica 1: Obdobja meritev v posameznih sezonah.

Leto	Začetek meritev	Konec meritev
2012	27. 4. 2012	24. 11. 2012
2013	25. 5. 2013	16. 11. 2013
2014	6. 6. 2014	23. 11. 2014
2015	2. 5. 2015	12. 11. 2015

3.1 Napake meritev

Pri meritvah padavin v gorskih območjih so napake večje kot v nižinskih območjih. Glavna razloga za napake sta velika vetrovnost in večji delež snežnih padavin, vplivata pa tudi omočenost dežemera in izhlapevanje (Sevruck, 1997; Pristov, Pristov, Zupančič, 1998). Zlasti pri snežnih padavinah je napaka meritev lahko precejšnja. Yang in sodelavci (1994) navajajo, da v primeru sneženja dežemeri ujamejo le 22–87 % padavin, Sevruck (1972) pa v primeru snežnih neviht na strmih, izpostavljenih pobočjih navaja napake celo do 80 oziroma 90 %.

Za območje naše raziskave so Pristov in sodelavci (1998) ugotavljali vplive napak meritev padavin in izračunali korekcijske faktorje. Ocenjene napake so precej nižje od tistih, ki jih navajajo Sevruck (1972) ali Yang s sodelavci (1994). Za dolinske postaje so korekcijski faktorji razmeroma majhni. V Ratečah, Kranjski Gori in Mojstrani, ki so padavinske postaje na dnu Zgornjesavske doline (650–850 m nadmorske višine), znaša korekcijski faktor 1,04. Malce višje, na nadmorski višini 1000–1100 m, so izračunani korekcijski faktorji takšni: Planina pod Golico (970 m) 1,06, Javorniški Rovt (940 m) 1,03, Predel (1156 m) 1,09, Gorjuše (980 m) 1,06. Na višini okoli 1500 m pa je bil faktor na Voglu (1510 m) 1,09, na Komni (1515 m) pa 1,16.

Dežemeri, ki so del te raziskave, so bili postavljeni na nadmorski višini med 750 m in 1400 m. Postavljeni so bili v dna dolin ali v zatrepnih delih, kjer je vetra bistveno manj v primerjavi z vrhovi in grebeni. Poleg tega smo merili le v poletni sezoni oziroma skoraj izključno padavine v obliki dežja. V primeru sneženja v času izvajanja meritev debelina snežne odeje ni preseгла 20 cm, kar pomeni, da so tudi snežne padavine ostale v

dežemerih in se nato stalile ter odtekle v obliki snežnice v lovilno posodo. Ocenjujemo, da so napake v našem primeru znašale do 10 %.

Preglednica 2: Korekcijski faktorji za meritve padavin na izbranih postajah na območju proučevanja (Pristov, Pristov, Zupančič, 1998).

Padavinska postaja (nadmorska višina)	Korekcijski faktor
Rateče (864)	1,04
Planina pod Golico (970 m)	1,06
Javorniški Rovt (940 m)	1,03
Predel (1156 m)	1,09
Gorjuše (980 m)	1,06
Vogel (1510 m)	1,09
Komna (1515 m)	1,16

4 REZULTATI

V nadaljevanju navajamo rezultate meritev padavin po posameznih dolinah.

Preglednica 3: Količina padavin (mm) v zatrepu doline Beli potok in v Gozdu Martuljku ter razmerje med količinami padavin na obeh postajah v poletnih sezonah 2013, 2014 in 2015.

Leto	Padavine Beli potok (mm)	Padavine Gozd Martuljek (mm)	Beli potok/Gozd Martuljek
2013	967	687	1,41
2014	1302	988	1,32
2015	1283	945	1,36

Preglednica 3 kaže znatno razliko v količini padavin med zatrepom doline Belega potoka in Gozdom Martuljkom. V treh poletnih sezonah razmerje nikoli ni padlo pod 1,32, aritmetična sredina razmerij pa znaša 1,36. V zatrepu doline, ki je 1,8 km južneje, je padlo za 36 % več padavin kot na začetku doline, na nadmorski višini 750 m.

Preglednica 4: Količina padavin (mm) v zatrepu doline Krnica in v Kranjski Gori ter razmerje med količinami padavin na obeh postajah v poletnih sezonah 2013, 2014 in 2015.

Leto	Padavine Krnica (mm)	Padavine Kranjska Gora (mm)	Krnica/Kranjska Gora
2013	1350	835	1,62
2014	1664	1140	1,46
2015	1572	1004	1,57

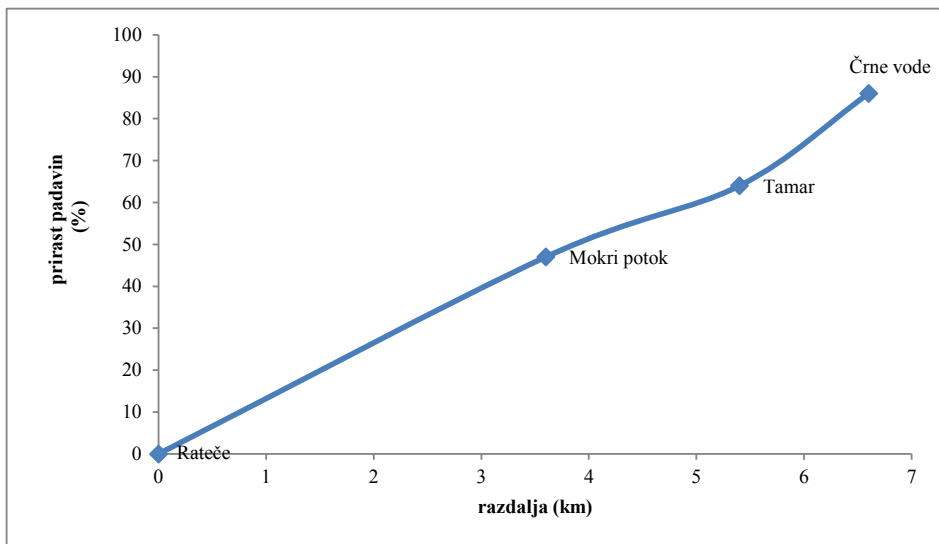
Dežemer v Krnici je bil od meteorološke postaje v Kranjski Gori oddaljen približno 7,4 km. Prirast padavin glede na Kranjsko Goro ni bil v nobeni sezoni manjši od faktorja 1,46, aritmetična sredina pa znaša 1,55. Na podlagi triletnih meritev v poletni sezoni sklepamo, da zatrepni del doline Krnica v poletnem času prejme v primerjavi s Kranjsko Goro približno 50 % več padavin.

Preglednica 5: Količina padavin (mm) in razmerja med posameznimi merilnimi mesti v dolini Planica v poletnih sezonah 2012, 2013, 2014 in 2015.

Leto	Padavine Črne vode (mm)	Padavine Tamar (mm)	Padavine Mokri potok (mm)	Padavine Rateče (mm)
2012	2325	2162	1858	1282
2013	1607	1374	1190	728
2014	1864	1586	1521	1011
2015	1581	1389	1299	995
Aritmetična sredina	1844	1627	1467	1004
	Črne vode/Rateče	Tamar/Rateče	Mokri potok/Rateče	
2012	1,81	1,69	1,45	
2013	2,21	1,89	1,63	
2014	1,84	1,57	1,50	
2015	1,59	1,40	1,31	
Aritmetična sredina	1,86	1,64	1,47	

V dolini Planica smo opravili največ meritev. Te nam kažejo skoraj linearen prirast vzdolž doline na razdalji od postaje ARSO v Ratečah do postaje pri Črnem potoku. Aritmetična sredina faktorjev prirasta je 1,47 v Mokrem potoku, 1,64 pri planinskem domu v Tamarju ter 1,86 pri Črnih vodah.

Slika 3: Aritmetična sredina faktorjev prirasta padavin (v %) v Planici glede na Rateče za poletne sezone 2012–2015.



5 IZRAČUN HORIZONTALNIH PADAVINSKIH GRADIENTOV

Horizontalni gradienti padavin nam povedo spremembo količine padavin na določeni razdalji. Gradienti na kratke razdalje so najpogosteje posledica spremembe nadmorske višine nekega območja, kar vpliva na dvig ali spust zračnih mas ob pomikanju preko tega območja. Tako so pozitivni gradienti največkrat posledica intenzivnosti dviganja površja in posledično tudi dviganja zračnih mas, negativni gradienti pa posledica spuščanja le-teh. Največja količina padavin na letni ravni pade v okolici gorskih grebenov oziroma najvišjih delov gora, če ti ne presežejo višine največje namočenosti. Količina padavin z nadmorsko višino narašča le do višine baze oblaka, nato pa upada (Lauer, 1975). Vsebnost zračne vlage se od baze oblaka navzgor znižuje (Miniscloux, Creutin, Anquetin, 2001). Meja te višine je v različnih geografskih širinah različna (McGinnis, 2000; Barry, 2008). V tropskih območjih je le-ta nižja kot v zmernih geografskih širinah.

Preglednica 6: Gradienti padavin za poletne sezone 2012–2015 v Planici in za poletne sezone 2013–2015 v Krnici in Belem Potoku.

Leto	Poletni padavinski gradient Beli Potok (mm/km)	Poletni padavinski gradient Krnica (mm/km)	Poletni padavinski gradient Planica (mm/km)
2012	158
2013	97	87	133
2014	108	89	129
2015	117	96	89
Aritmetična sredina	107	91	127

Za obdobje meritev smo izračunali precej podobne padavinske gradiente, katerih aritmetična sredina je 89 mm/km v dolini Planica in 91 mm/km v Krnici, v dolini Belega potoka pa znaša nekoliko več, in sicer 107 mm/km. Za Beli Potok in Krnico je v triletnem obdobju standardni odklon znašal 8,2 oziroma 3,9 mm/km, za Planico pa je bil v štiriletnem obdobju 24,8 mm/km, za enako obdobje kot pri ostalih dolinah pa znaša 13 mm/km. Nizki standardni odkloni kažejo na precej podobne poletne padavinske gradiente med leti.

V preglednici 7 so navedeni gradienti padavin, preračunani na letno raven. Preračunani so bili na osnovi podatkov o celoletnih padavinah za Rateče in Kranjsko Goro. Za Gozd Martuljek smo pripravili oceno celoletnih padavin glede na padavine v Kranjski Gori.

Celoletno količino padavin v obravnavanih dolinah smo dobili tako, da smo za posamezno dolino poletno količino padavin pomnožili z razmerjem med celoletno količino padavin in poletno količino padavin v najbližji padavinski postaji. V našem primeru sta to padavinski postaji Rateče in Kranjska Gora.

$$RR_{\text{Tamar leto } i} = \text{poletne } RR_{\text{Tamar leto } i} * (RR_{\text{Rateče leto } i} / \text{poletne } RR_{\text{Rateče leto } i})$$

$$RR_{\text{Krnica leto } i} = \text{poletne } RR_{\text{Krnica leto } i} * (RR_{\text{Kranjska Gora leto } i} / \text{poletne } RR_{\text{Krnica leto } i})$$

$$RR_{\text{Beli potok leto } i} = \text{poletne } RR_{\text{Beli potok leto } i} * (RR_{\text{Martuljek leto } i} / \text{poletne } RR_{\text{Martuljek leto } i})$$

$$RR_{\text{Martuljek leto } i} = \text{poletne } RR_{\text{Martuljek leto } i} * (RR_{\text{Kranjska Gora leto } i} / \text{poletne } RR_{\text{Kranjska Gora leto } i})$$

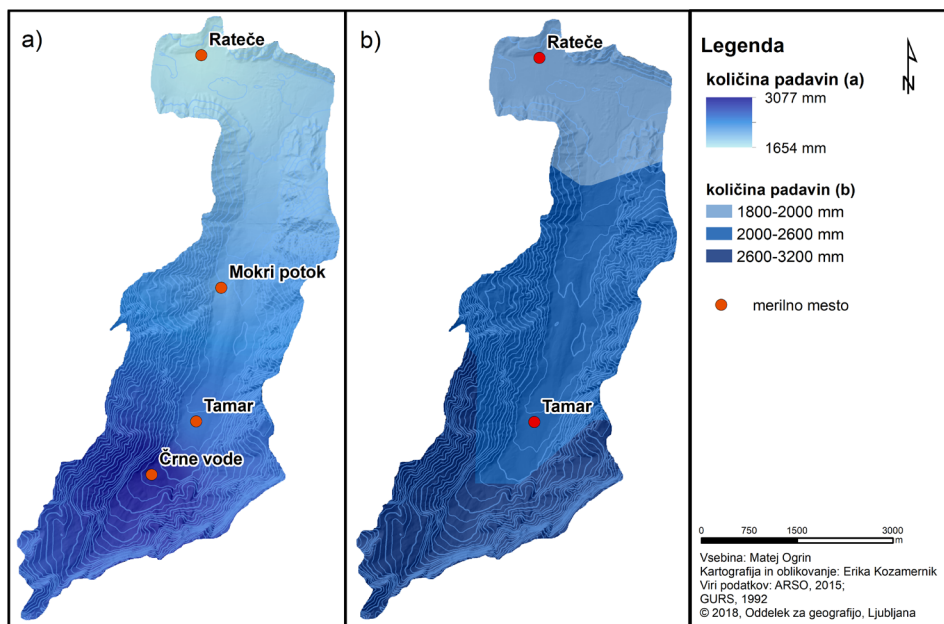
RR= količina padavin

Preglednica 7: Gradienti padavin na letni ravni za obdobje 2012–2015 v Planici in za obdobje 2013–2015 v Krnici in Belem potoku.

Leto	Letna količina padavin (RR) (mm)	Letna količina padavin (RR) (mm)	Razlika v količini padavin (mm)	Razdalja (km)	Letni padavinski gradient (mm/km)
	Rateče	Črne vode			Planica
2012	1700	3163	1462	6,6	222
2013	1600	2977	1376	6,6	208
2014	2084	3876	1792	6,6	272
2015	1233	2293	1060	6,6	161
Aritmetična sredina	1654	3077	1423	6,6	216
	Kranjska Gora	Krnica			Krnica
2013	1757	2724	966	5,9	164
2014	2315	3587	1273	5,9	216
2015	1255	1944	690	5,9	117
Aritmetična sredina	1776	2752	976	5,9	165
	Gozd Martuljek	Beli Potok			Beli potok
2013	1541	2170	628	2,9	217
2014	2030	2676	645	2,9	222
2015	1100	1494	394	2,9	136
Aritmetična sredina	1557	2113	556	2,9	192

Gradienti padavin na letni ravni nam pokažejo precej velike vrednosti. Največji gradient je v Planici. Aritmetična sredina štirih let znaša kar 216 mm/km s standardnim odklonom 40 mm/km. V Belem potoku je padavinski gradient 192 mm/km s standardnim odklonom 39 mm/km in v Krnici 165 mm/km s standardnim odklonom 40 mm/km. Razlogi za razlike v padavinskih gradientih so po našem mnenju v usmerjenosti in naklonih dolin.

Slika 4: Primerjava padavinske karte terenskih meritev v obdobju 2012–2015 s padavinsko karto korigiranih padavin za obdobje 1971–2000 (ARSO, 2015).



6 RAZPRAVA

Planica poteka pravokotno na glavni greben zahodnih Julijskih Alp in se konča v zatrepu, ki je obdan z vrhovi, višjimi od 2000 m. Proti izhodu se hitro spušča in odpira ter pri Ratečah precej razširi in odpre. Dolina Belega potoka je sicer precej krajša od ostalih dveh, vendar pa je njen naklon precej večji in se na razdalji 2,9 km spusti za okoli 700 metrov. Velik naklon dna doline povzroči hiter padec količine padavin. Dolina Krnica ima glede na izmerjeno količino padavin manjši gradient. Deloma zaradi večje količine padavin v Kranjski Gori v primerjavi z Ratečami, deloma pa zaradi nižje količine padavin v zatrepu. Prvo je posledica manjše odprtosti Zgornjesavske doline pri Kranjski Gori v primerjavi z Ratečami. Rateče ležijo na karavanški strani Zgornjesavske doline in tam je spuščanje zraka ob južnih vetrovih bolj izrazito kot v Kranjski Gori, kar nam potrjuje tudi fensko okno ob južnih padavinskih situacijah. Le-to je v Ratečah pogostejše in bolj izrazito kot v Kranjski Gori. Po drugi strani pa je bila v zatrepnem delu Planice izmerjena večja količina padavin kot v Krnici, kar je posledica drugačne lege doline. Krnica leži v zavetni legi osrednjega masiva Julijskih Alp, deloma že v zavetrju Triglavskega pogorja, medtem ko dolina Planica v svojem zatrepu doseže ostenje Jalovca, kjer se že pozna padavinski vpliv Zgornjega Posočja, ki je najbolj namočeno območje v Sloveniji.

Padavinske gradiente v alpskih dolinah lažje vrednotimo, če jih primerjamo z nekaterimi drugimi izbranimi padavinskimi gradienti v Sloveniji, ki smo jih izračunali iz padavinskih postaj mreže ARSO. Padavinske postaje mreže ARSO so med seboj bolj oddaljene, kot so bila merilna mesta v okviru naše raziskave. Na gradiente pa močno vpliva oblikovanost površja. Največje gradiente lahko pričakujemo na območjih, kjer gorski masivi prehajajo v nižine.

V primeru izbranih profilov v preglednici 8 je tak primer gradienta iz Mrzle Rupe, ki leži v zaledju Trnovskega gozda, v smeri Zalošč v Vipavski dolini. Na razdalji 17 km je padavinski gradient kar -70 mm/km. Podoben je tudi profil od Kamniške Bistrice proti severnemu delu Ljubljanske kotline, kjer smo vzeli podatke z meteorološke postaje Letališča Jožeta Pučnika Ljubljana. Čeprav je Kamniška Bistrica dolinska postaja, se nahaja blizu osrednjega dela Kamniško-Savinjskih Alp in je že pokazatelj količine padavin v osrednjem delu tega pogorja. Postaj, ki bi bile višje in hkrati del osrednjega dela Kamniško-Savinjskih Alp, na južni strani ni. Obstaja sicer višje ležeča postaja Kravec, ki pa je po podatkih sodeč manj namočena, zaradi njene lege pa je vprašljiva tudi kakovost podatkov. Na tem profilu, na razdalji 15 km, padavinski gradient znaša -47 mm/km. Zanimiv je tudi profil preko gorske pregrade, in sicer profil od Kamniške Bistrice do Logarske doline. Na razdalji 9,5 km je padavinski gradient -30 mm/km. Tu je potrebno poudariti, da ni na voljo podatkov, ki bi bolje opisali padavinske razmere blizu grebena osrednjega dela Kamniško-Savinjskih Alp (tj. pogorje Grintovcev). Predvidevamo lahko, da je območje bližje grebenom še bolj namočeno in bi bil tudi gradient temu primerno večji. V ostalih primerih padavinskih gradientov v *Preglednici 8* smo izbrali profile od Zgornjega Posočja proti Jadranskemu morju. Ker gre za večje razdalje, je razumljivo, da se vrednosti gradientov približujejo ničli. Če primerjamo padavinske gradiente v preglednicah 7 in 8 vidimo, da so absolutne vrednosti gradientov v izbranih dolinah precej višje. Razlogi za to so:

- velika namočenost zatrepnih delov dolin, ki segajo v osrednje in Zahodne Julijske Alpe;
- usmerjenost dolin od osrednjega dela proti severu, kjer prihaja do hitre fenizacije;
- doline ne potekajo vzdolž grebenov, pač pa bolj ali manj prečno na postavitev masiva, kar pripomore k večjim padavinskim gradientom;
- hitro spuščanje gorskih grebenov vzdolž dolin, kar krepi fenizacijo v smeri oddaljevanja od gora.

Doline v Julijskih Alpah najdemo tudi na južni strani, kjer je površje bolj razčlenjeno. Tam doline ne potekajo prečno na osrednji greben (npr. Trenta, Koritnica). Nekatere so izrazito zaprte v smeri proti jugu in z vseh strani obdane z visokimi gorami (Zadnjica, Zadnja Trenta, Bavšica) in je zato fenizacija manj izrazita. Poleg tega prihaja do izrazite orografske krepitve padavin že v predgorju Julijskih Alp, tako da se večji gradienti pojavijo že na območju od Vipavske doline v smeri Trnovskega gozda.

Preglednica 8: Padavinski gradienti na nekaterih izbranih razdaljah v Sloveniji.

Usmerjenost gradienta	Razdalja (km)	Padavinski gradient (mm/km)	Merilno obdobje
Mrzla Rupa (930 m)–Zalošče (75 m)	17	-70	2000–2015
Kamniška Bistrica (650 m)– Letališče Jožeta Pučnika (364 m)	15	-47	2000–2006 in 2008–2015
Kamniška Bistrica (650 m)–Logarska dolina (740m)	9,5	-30	2000–2005 in 2007–2009
Soča (487 m)–Bilje (55 m)	49	-25	2000–2015
Soča (487 m)–Trst (67 m)	78	-22	2000–2009
Podljubelj (679 m)–Naklo (403 m)	15	-17	2000–2015
Soča (487 m)–Portorož (2 m)	96	-17	2000–2015

Vir podatkov: ARSO, 2018; HISTALP, 2018; Weather online, 2018.

7 SKLEP

V okviru raziskave je bilo ugotovljeno, da se padavinski gradienti v alpskih dolinah lahko precej razlikujejo. Na gradiente vplivajo usmerjenost dolin, njihov naklon ter morfologija okolice. V dolinah Planica, Krnica in Beli potok, ki se nahajajo v Julijskih Alpah na severozahodu Slovenije, so padavinski gradienti na letni ravni v proučevanem obdobju dosegli vrednosti 162 mm/km v Krnici, 192 mm/km v dolini Belega potoka in 216 mm/km v dolini Planica ter sodijo med najvišje poznane gradiente v Sloveniji. Pri tem je treba poudariti, da so lokalne padavinske značilnosti v ostalih dolinah še precej slabo poznane. Količina padavin v zatrepnih delih obravnavanih dolin glede na najnižjo točko doline naraste za faktor 1,36 v Belem potoku, 1,55 v Krnici in kar 1,86 v Planici. To potrjuje predhodne ugotovitve v okviru drugih raziskav o prirastu padavin v gorskih območjih. Hkrati nas opozarja, da je treba te ugotovitve prenesti tudi v praktična znanja pri vrednotenju posledic padavinskih prirastov proti najvišjim delom gora. Ugotovitve so pomembne z vidika varstva pred snežnimi plazovi, vrednotenja izrednih padavinskih dogodkov in z njimi povezanih naravnih nesreč. Sklenemo lahko, da padavinska in posledično podnebna pestrost gorskih območij odkriva novo področje geodiverzitete kot raznolikosti neživega sveta, ki se v gorskih območjih kaže ne le na ravni reliefnih oblik, pač pa tudi podnebnih pojavov.

Zahvala

Avtorja se za pomoč pri meritvah zahvaljujeta Filipu Štucinu, Petru Steletu, Gregorju Vertačniku, Ajdi Kafol Stojanović, Tilnu Siršetju, Gašperju Petretiču, Marku Podlesniku, Jaki Ortarju in Mojci Ošep.

Literatura in viri

- ARSO. 2015. Lidar. URL: http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso (citirano 25. 9. 2018).
- ARSO. 2018. Arhiv meteoroloških podatkov ARSO. URL: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydlJWblR3LwV-naz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp-5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf>; (citirano 9. 8. 2018).
- Bach, J., A., Pryce, L. W., 2013. Mountain climate. V: Mountain Geography, Physical and Human Dimensions. Los Angeles, University of California Press, 400 str.
- Barros, A. P., Lettenmaier, D. P., 1994. Dynamic modeling of orographically induced precipitation. *Reviews of Geophysics*, 32, 3, str. 265–284.
- Barry, R. G., 2008. Mountain Weather and Climate. Cambridge, Cambridge University Press, 506 str.
- Blumenstock, D. I., Price, S., 1967. The climate of Hawaii. V: Climates of the States, Vol. 2: Western States. Port Washington, NY, Water Information Center, str. 481–975.
- Blumer, F., 1994. Altitudinal dependence of precipitation in the Alps. Zürich, Swiss Federal Institute of Technology, 242 str.
- Bonacina, L. C. W., 1945. Orographic rainfall and its place in the hydrology of the globe. *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society*, 71, 307–308, str. 41–55.
- HISTALP. 2018. Historical instrumental climatological surface time series of greater Alpine region. URL: <http://www.zamg.ac.at/histalp/dataset/station/csv.php> (citirano 15. 8. 2018).
- Lauer, W., 1975. Klimatische Grundzüge der Höhenstufung tropischer Gebirge. V: Steiner, F. (ur.). Tagungsbericht und Wissenschaftliche Abhandlungen des 40. Deutscher Geographentag. Innsbruck, str. 79–90.
- Mass, C., 2008. Weather of the Pacific Northwest. Seattle, University of Washington Press, 336 str.
- McGinnis, D. L., 2000. Synoptic controls on upper Columbia River basin snowfall. *International Journal of Climatology*, 20, str. 131–149.
- Miniscloux, F., Creutin, D., Anquetin, S., 2001. Geostatistical analysis of orographic rainbands. *Journal of Applied Meteorology*, 40, str. 1835–1854.
- Ogrin, D., Koželj, T., Vysoudil, M., 2016. Lokalno podnebje in topoklimatska karta Jezerskega. *Dela*, 45, str. 5–30.
- Ogrin, D., Vysoudil, M., Ogrin, M., 2013. Splošne podnebne razmere Gorenjske in lokalno podnebje Kamniške Bistrice. V: Mrak, I. et al. Gorenjska v obdobju globalizacije. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, str. 9–30.
- Ogrin, M., 2005. Measuring winter precipitation with snow cover water accumulation in mountainous areas. *Acta geographica Slovenica*, 45, 2, str. 63–91.
- Ogrin, M., Ortar J., 2007. The importance of water accumulation of snow cover measurements in mountainous regions of Slovenia. *Acta geographica Slovenica*, 47, 1, str. 47–71.

- Povprečna letna višina korigiranih padavin, 2018. URL: http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/image/sl/by_variable/precipitation/mean-annual-corrected-precipitation_71-00.png (citirano 9. 8. 2018).
- Pristov, P., Pristov, N., Zupančič, B., 1998: Klima Triglavskega Narodnega parka. Bled, HMZS, TNP, 60 str.
- Seidl, F., 1891. Das Klima von Krain. Laibach, Kleinmayr & Fed. Bamberg, 649 str.
- Sevruk, B., 1972. Precipitation measurements by means of storage gauges with stereo and horizontal orifices in the Baye de Montreux Watershed, World Meteorological Organization, WMO/OMM, 326, str. 86–95.
- Sevruk, B., 1997. Regional dependency of precipitation – altitude relationship in the Swiss Alps. *Climate Change*, 36, 3–4, str. 355–369.
- Sharon, D., 1970. Topography-conditioned variations in rainfall as related to the runoff-contributing areas in a small watershed, *Israel Journal of Earth Sciences*, 19, 1, str. 85–89.
- Valvasor, J., V., 1978. Slava Vojvodine Kranjske. Ljubljana, Mladinska knjiga, 365 str.
- Vysoudil, M., 2009. Classification of local climatic effects. *Geografický časopis*, 61, 3, str. 229–241.
- Weather online. 2018. URL: <https://www.weatheronline.co.uk/weather/maps/city?FM M=1&FYY=2000&LMM=12&LYY=2015&WMO=16110&CONT=euro®ION=0005&LAND=IY&ART=PRE&R=160&NOREGION=1&LEVEL=162&LANG=en&MOD=tab> (citirano 9. 8. 2018).
- Yang, D., Sevruk, B., Elomaa, E., Golubev, V., Goodison, B., Gunther, T., 1994. Wind-induced error of snow measurement: WMO intercomparison results. *Annalen der Meteorologie*, 30, str. 61–64.

HORIZONTAL PRECIPITATION GRADIENTS IN ALPINE VALLEYS OF NORTHWESTERN SLOVENIA

Matej Ogrin*, PhD., Erika Kozamernik**

*Department of Geography, Faculty of Arts, University of Ljubljana,
Aškerčeva 2, SI-1000 Ljubljana

**Slovenian Forestry Institute, Department of Forest Ecology,
Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana
e-mail: matej.ogrin@ff.uni-lj.si, erika.kozamernik@gmail.com



Original scientific article

COBISS 1.01

DOI: 10.4312/dela.49.5-36

Abstract

Of all mountainous regions in the world, the network of precipitation stations is the densest in the Alps. Nevertheless, the precipitation regime at the micro level continues to be poorly known at many a place. Most of the precipitation stations in mountain landscapes are located at lower elevations and in settled areas, while they are rather few at higher elevations. Moreover, the accuracy of measurements in the mountains is problematic and therefore the information on precipitation regime is deficient exactly in the wettest areas. The water balance estimation is incorrect, and it is difficult to forecast precipitation-related hazards, such as torrential floods, landslides, avalanches, and the like. The paper discusses the horizontal precipitation gradients in the Alpine valleys of Planica, Krnica and Beli Potok which are all situated in the north-western part of the Julian Alps in Slovenia. At the annual level of the studied period the following values were reached: 162 mm/km at Krnica, 192 mm/km at Beli Potok and 216 mm/km at Planica, and these belong to the highest gradients in Slovenia. In comparison with the lowest points of the researched valleys, the precipitation amount in their uppermost parts increases by the factor of 1.36 at Beli Potok, 1.55 at Krnica and as much as 1.86 at Planica.

Key words: mountain climate, horizontal precipitation gradients, precipitation measurements, orographic precipitation, Julian Alps, Alpine valleys

I INTRODUCTION

Already in the 17th century the Slovenian polymath Johann Weichard Valvasor (1641–1693) in his own specific way wrote about the orographic effect on the precipitation amount: “Carniola has no thirst for rain [...] Sometimes, there is no cloud to be seen, yet

all of a sudden a mist rises in the mountains, especially among the high snow-covered peaks, and it immediately turns into a shower [...] And it often rains twice, three times or even four times a day, particularly under the snowy peaks of Upper Carniola [...]” (Valvasor, 1978, pp. 93, 94). The fragment indicates greater precipitation amount in the mountainous world. Probably the first to tackle a more detailed study of precipitation regime in Slovenia, more precisely in the then Province of Carniola, was Ferdinand Seidl in his work *Das Klima von Krain* (Climate in Carniola) of 1891. He quoted the data from the precipitation station of Kranjska Gora (*Kronau*) with the annual precipitation amount of 1599 mm (Seidl, 1891, p. 265). He, too, recognized the significance of the vicinity of mountains for more intense precipitation; he also states that the distance of a certain place from the mountains has a greater effect on the precipitation amount than the elevation (Seidl, 1891, p. 318). This shows his knowledge about the origin of precipitation and the direct influence of mountains on its amount. In recent years Slovenian meteorologists have dealt with the method of how to establish true amounts of precipitation. Relevant for the Slovenian mountainous world is the climate study *Klima Triglavskega narodnega parka* (Climate of the Triglav National Park) of 1998 (Pristov, Pristov, Zupančič, 1998) which states that the precipitation usually – but not necessarily – increases with higher elevations.

The research done hitherto has established that in the direction towards the mountain ridges and in side valleys the differences in the winter precipitation amounts at short distances can be fairly great. The area of the Western Karavanke above Martuljek and in the cirque Pod Špikom partly reaches into the area of the present research, and Ogrin (2005) established in the winter of 2003/2004 that as much as 1.5 times more precipitation fell at Pod Špikom and 1.3 times more on the alpine pasture of Grajščica than at the precipitation station of Rateče. In the winter of 2005/2006, Ogrin and Ortar (2007) continued their research into the distribution of precipitation in the Lower Bohinj Mountains (Peči). The result of the measurements in a single winter season showed that on the highest parts of the Bohinj ridge the precipitation amount was about 200% of the measured amount on the northern edge of the ridge. As to the corrected precipitation amount on Mt. Vogel the calculated amount on the ridge was still larger by 56%.

There are no similar studies available for the summer season or even for a multiannual period. More recent Slovenian studies also include topoclimate maps of certain mountainous areas, for example of Jezersko and the Kamniška Bistrica valley (Ogrin, Vysoudil, Ogrin, 2013; Ogrin, Koželj, Vysoudil, 2016). It is true that the two said studies are not based on precise measurements, but both of them indicate higher precipitation amounts on the ridges and at the uppermost parts of Alpine valleys, which figures as an important topoclimate factor. The most recent precipitation map of Slovenia (Povprečna letna ..., 2018) states 1800–3200 mm of annual precipitation for our area of research.

Numerous researches into orographic processes have also been going on in other Alpine countries and elsewhere in the world (e.g. Bonacina, 1945; Sharon 1970; Barros, Lettenmaier, 1994; Blumer, 1994; Sevruk, 1997). Bach and Pryce (2013) give examples from the Indian subcontinent, where the precipitation amount on the Western Ghats exceeds 5000 mm and then quickly decreases to 380 mm on the lee side. The windward

areas of the Scottish Highlands receive about 4300 mm, the mouth of the River Moray on the lee side, approximately 200 km away, receives only about 600 mm. The differences in the mountains in lower latitudes are even greater. The Blue Mountains in the northeast of Jamaica receive about 5600 mm of precipitation, the capital, Kingston, which is 56 km away, receives only 780 mm, which results in an average precipitation gradient of -86 mm/km in the leeward direction. Very high horizontal precipitation gradients also occur on the Hawaiian Islands. In the leeward direction from the top of Mt. Waialeale the precipitation amount decreases on a four-kilometre section with the gradient of 1875 mm/km (Blumenstock, Price, 1967); in the leeward direction of the Olympic Mountains (Washington, USA) the precipitation amount decreases by 5900 mm at the distance of 48 km, which signifies the precipitation gradient of -120 mm/km in the direction away from the mountains (Mass, 2008).

The main reason for more abundant precipitation in mountain areas appears to be the orographic effect, which means the raising of air and the resultant condensation when masses of air move over the mountains. Precipitation in the mountains is more abundant, more frequent and usually lasts for longer spells. There is another effect that contributes to a greater precipitation amount: precipitation from fog which is in fact a cloud. It falls in the form of rime or fog drip. On numerous cloudy days in the colder half of the year enormous amount of rime occurs on the windward sides, which significantly contributes to the overall annual precipitation amount (Bach, Pryce 2013). According to Vysoudil (2009), local climatic effects of these processes are linked to the relief, distinctly convex relief forms.

The present paper deals with horizontal precipitation gradients at short distances in Alpine valleys. The precipitation gradient is defined as a change in the precipitation amount at a certain distance. We discern between the vertical gradient (dR/dh), which means the change in precipitation amount according to the elevation, and horizontal gradient (dR/dx), which means the change in precipitation in a horizontal direction. The present study is dedicated to horizontal precipitation gradients, in which case the precipitation gradient in a horizontal direction means the direction along a valley. In the direction towards the ridges the gradient is positive, whereas it is negative in the opposite direction. Precipitation amount increases in the direction towards the ridges, which results from the rise of the slopes. It is not reasonable to expect the same amount of precipitation at a certain elevation in a lowland area and at the same elevation in the vicinity of mountains.

2 THE STUDIED AREA

The research is focused on the Upper Sava Valley and three side valleys which branch off southwards from this valley and lie in the central part of the Julian Alps. These valleys are: Krnica, Planica and Beli Potok.

Beli Potok is a typical example of the so-called hanging valley. It is approximately two kilometres long, but its vertical course and morphology are very diverse. The valley widens in its uppermost part and turns south-westwards and westwards in its end, while one leg turns south-eastwards. The uppermost part is closed from all sides

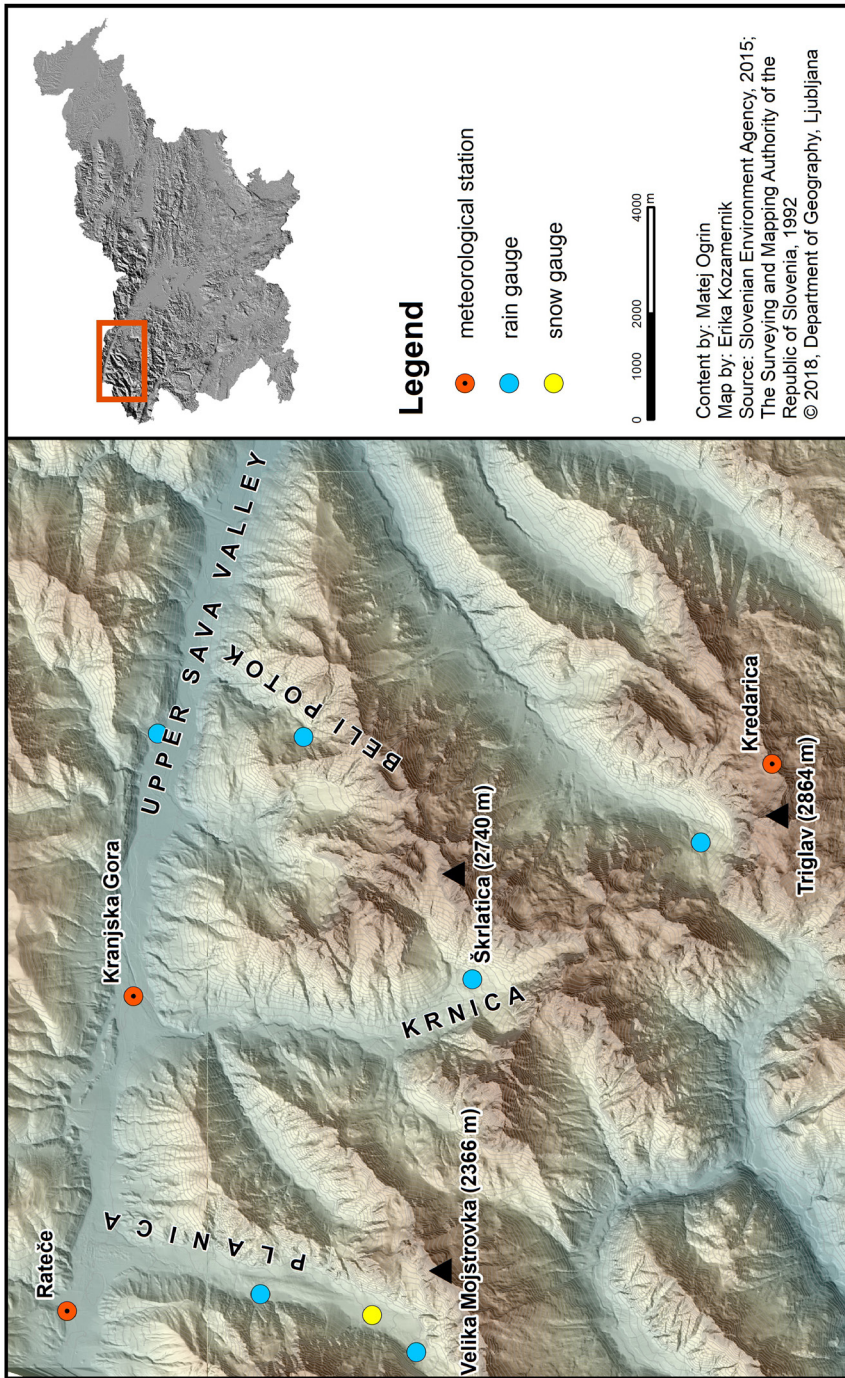


Figure 1: The studied area with measurement locations.

by the peaks of the Martuljek chain: Sleme above Vrtaška Planina (2051 m), Kukova Špica (2453 m), and Vršič above Beli Potok (1696 m). A rain gauge was stationed on the final slope at 2.9 km distance from the beginning of the valley, at the elevation of 1400 m.

Krnica is a continuation of the Velika Pišnica valley that starts at Kranjska Gora and mainly runs southwards. In its upper part the valley heads for the south-east, where it ends in the form of a cirque under the crags of mountains Prisojnik (2547 m), Kriška Stena (2375 m) and Razor (2501 m). The elevation at Kranjska Gora is 810 m, but Krnica evenly ascends to the elevation of about 1150 m, after which it passes into its uppermost part where it rises all to 2000 m. The length of the entire valley from Kranjska Gora to the crag of Kriška Stena is 8.4 km. Measurements at Krnica were taken in its upper part, approximately 2.5 km from the Kriška Stena crag, at the elevation of 1250 m. The rain gauge at Krnica was 5.9 km away from the precipitation station at Kranjska Gora.

Planica is the best known valley in this section of the Julian Alps. It begins at Ledine on Rateško Polje at the elevation of about 820 m and runs southwards. It ascends relatively evenly to about 1200 m where the final slope takes the uppermost part of the valley under the crag of Mt. Jalovec (2645 m). The valley is closed by the crags of Mts. Macenovc, Rateške Ponce (2274 m), across Vevnica (2342 m) to Jalovec (2645 m) in the west, and from Mts. Ciprnik (1745 m) across Slemenova Špica (1911 m), Travnik (2379 m) to Jalovec in the east. The length of Planica from Rateško Polje to the crags in the uppermost part is about 8.8 km. The number of measurement sites was the greatest in this valley. We set up two rain gauges and we also included the meteorological station of the Slovenian Environment Agency (ARSO) at Rateče, which represents the contact point of Planica and the Upper Sava Valley, and the ARSO totalizer next to the mountain hut at Tamar. Rain gauges were placed at two locations between the measuring site of Mokri Potok and that of the Črne Vode waterfall at Tamar. The rain gauge at Mokri Potok (1060 m) was 3.6 km away from the meteorological station as measured along the length of the valley, the totalizer at Tamar (1110 m) about 5.4 km, and the rain gauge at the Črne Vode (1260 m) about 6.6 km.

3 RESEARCH METHODOLOGY

Precipitation measurements were made in the summer seasons between 2012 and 2015, which means from mid-May, or the end of May, to the second half of November. The rain gauges were adapted only to measuring rain or small quantities of snow (up to 20 cm), since they did not melt the precipitation. Precipitation water from the catching vessel flew through a funnel and a narrow tube into 50-litre to 100-litre containers, and at the end of the measurements the accumulated rainwater was measured. Because measuring lasted until November, kitchen salt was also added into the container to prevent freezing of rainwater from the catching vessel. Evaporation of water from the container was negligible, since the container was linked to the rain gauge by means of an almost a metre long narrow tube of 2 cm in diameter. To establish the precipitation regime, we also used

the data from the nearby ARSO precipitation stations, namely from the totalizer next to the Planinski dom Tamar alpine hut at Planica, from the meteorological station of Rateče and from the precipitation station of Kranjska Gora. The dates of the measurements are given in Table 1.

Figure 2: Specimen of a rain gauge: catching vessel with a funnel (a) connected to container (c) by means of a narrow tube (b) (photo: E. Kozamernik).



The catching vessel had the surface of 200 cm² and was fastened so as to keep horizontal position about 1.8 m above the ground. When the measuring period was over we weighed the solution of rainwater and salt in the container and deducted from this mass the mass of salt that had been added to water.

Table 1: Measurement periods by individual seasons.

Season	Start	End
2012	27 April 2012	24 Nov. 2012
2013	25 May 2013	16 Nov. 2013
2014	6 June 2014	23 Nov. 2014
2015	2 May 2015	12 Nov. 2015

3.1 Measurement errors

Errors in precipitation measurements in mountains are greater than those that occur in lowlands. Strong windiness and a greater share of snowfall are the two main causes of errors, but responsible are also the wetness of the rain gauge and evaporation (Sevruk, 1997; Pristov et al., 1998). Measurement errors can be great especially with snowfall. Yang et al. (1986) state that rain gauges catch only 22% to 87% of the precipitation during snowing, and Sevruk (1972) indicates that errors can even be as high as 80% or 90% in the case of snow storms on steep exposed slopes. Pristov, Pristov and Zupančič (1988) established the influence of precipitation measurement errors in the area of the present study and calculated correction factors. The estimated errors are rather lower than those stated by Sevruk (1972) or Yang et al. (1986). The correction factors are relatively small for the lowland stations: at Rateče, Kranjska Gora and Mojstrana, where the precipitation stations are situated at the bottom of the Upper Sava Valley (650–850 m), the correction factor amounts to 1.04. At the elevation of about 1000–1100 m, the calculated correction factors are slightly higher: Planina pod Golico (970 m) 1.06, Javorniški Rovt (940 m) 1.03, Predel (1156 m) 1.09, and Gorjuše (980 m) 1.06. At the elevation of about 1500 m the factor, for example, on Mt. Vogel (1510 m) is 1.09 and on Mt. Komna (1515 m) 1.16 (Table 2).

The rain gauges in our research were placed at the elevation from 750 m to about 1400 m, at the bottom of the valleys or in their uppermost parts, where the wind is considerably lesser than on the peaks and ridges. Besides, we only took measurements in the summer season (almost exclusively rain precipitation). When snow did fall, it was less than 20 cm high, which means that the snow cover remained in the rain gauge, melted and drained in the form of snow-water into the container. We estimate that the errors in our case were no more than 10%.

Table 2: Correction factors for precipitation measurements on selected stations close to research area (Pristov, Pristov, Zupančič, 1998).

Station (elevation)	Correction factor
Rateče (864 m)	1.04
Planina pod Golico (970 m)	1.06
Javorniški Rovt (940 m)	1.03
Predel (1156 m)	1.09
Gorjuše (980 m)	1.06
Vogel (1510 m)	1.09
Komna (1515 m)	1.16

4 RESULTS

In the following pages we present the results of precipitation measurements in summer seasons in individual valleys.

Table 3: Precipitation amount (mm) in the uppermost part of Beli Potok and at Gozd Martuljek, and the ratio of the precipitation amounts of the two stations in the summer seasons of 2013, 2014 and 2015.

Season	Precipitation Beli Potok (mm)	Precipitation Gozd Martuljek (mm)	Beli Potok/Gozd Martuljek
2013	967	687	1.41
2014	1302	988	1.32
2015	1283	945	1.36

Table 3 demonstrates a considerable difference between the precipitation amount in the uppermost part of Beli Potok and the amount at Gozd Martuljek which lies in the Upper Sava Valley at the contact of the two valleys. In the three summer seasons the ratio never dropped below 1.32; the arithmetic mean of ratios amounts to 1.36. So in the uppermost part of the valley, only 1.8 km more to the south, 36% more precipitation fell than at its entry at the elevation of 750 m.

Table 4: Precipitation amount (mm) in the uppermost part of Krnica and at Kranjska Gora, and the ratio of the precipitation amounts of the two stations in the seasons of 2013, 2014 and 2015.

Season	Precipitation Krnica (mm)	Precipitation Kranjska Gora (mm)	Krnica/Kranjska Gora
2013	1350	835	1.62
2014	1664	1140	1.46
2015	1572	1004	1.57

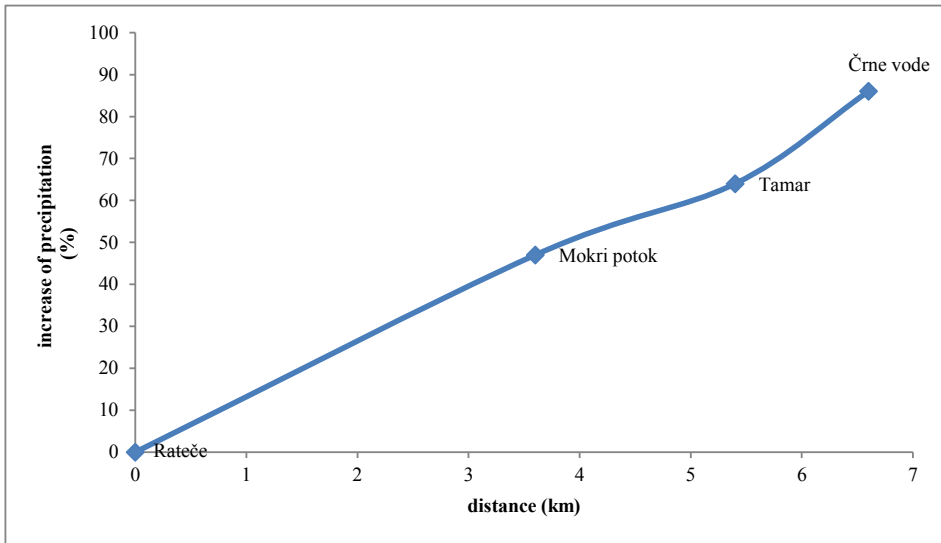
The rain gauge at Krnica was about 7.4 km away from the meteorological station of Kranjska Gora. The increase of precipitation as related to Kranjska Gora was in no season lower than factor 1.46, while the arithmetic mean was as much as 1.55. On the basis of three-year measurements in summer seasons we can conclude that the uppermost part of Krnica receives a good half more precipitation in summertime than Kranjska Gora.

Table 5: Precipitation amounts (mm) and ratios of the specified measurement locations at Planica in the summer seasons of 2012, 2013, 2014 and 2015.

Season	Precipitation Črne vode (mm)	Precipitation Tamar (mm)	Precipitation Mokri potok (mm)	Precipitation Rateče (mm)
2012	2325	2162	1858	1282
2013	1607	1374	1190	728
2014	1864	1586	1521	1011
2015	1581	1389	1299	995
Arithmetic mean	1844	1627	1467	1004
	Črne vode/Rateče	Tamar/Rateče	Mokri potok/Rateče	
2012	1.81	1.69	1.45	
2013	2.21	1.89	1.63	
2014	1.84	1.57	1.50	
2015	1.59	1.40	1.31	
Arithmetic mean	1.86	1.64	1.47	

The most numerous measurements were made at Planica. They show an almost linear increase along the valley, within the distance from the ARSO station at Rateče to the station at Črne Vode. The arithmetic mean of increases is 1.47 at Mokri Potok, 1.64 at the alpine hut of Tamar, and 1.86 at the Črne Vode fall.

Figure 3: Arithmetic mean of precipitation increase from the lowest point of the valley to its end (in %) at Planica as related to Rateče in the summer period of 2012–2015.



5 CALCULATION OF HORIZONTAL PRECIPITATION GRADIENTS

Horizontal precipitation gradients indicate the change in the precipitation amount at a certain distance. Gradients at short distances most often result from the difference in elevation of a certain area, which exerts influence on the rise or descent of air masses that move over this area. Positive gradients, therefore, most often result from intense rise of the area and consequently of the air, and negative ones result from the descent of the air. The greatest amount of precipitation per year occurs in the surroundings of mountain ridges or the highest mountain sections, provided these do not exceed the elevation of the wettest zone. Precipitation amount increases parallel to the increase of the elevation only to the height of the cloud base, after which it decreases (Lauer 1975) because the content of air moisture decreases from this point upwards (Miniscloux, Creutin, Anquetin, 2001). This height differs in different latitudes (McGinnis, 2000; Barry, 2008). It is lower in tropical areas than in moderate latitudes.

Table 6: Horizontal precipitation gradients (HPG) for the summer seasons 2012–2015 at Planica, and for the summer seasons 2013–2015 at Krnica and Beli Potok.

Year	Summer HPG Beli Potok (mm/km)	Summer HPG Krnica (mm/km)	Summer HPG Planica (mm/km)
2012	158
2013	97	87	133
2014	108	89	129
2015	117	96	89
Arithmetic mean	107	91	127

We calculated rather similar horizontal precipitation gradients for the measurement periods. The arithmetic mean of the gradients is 127 mm/km at Planica, 91 mm/km at Krnica, and 107 mm/km at Beli Potok. In the case of Beli Potok and Krnica the three-year period’s standard deviation was 8.2 mm/km and 3.9 mm/km, respectively, and at Planica it was 24.8 mm/km in the four-year period, while in the same period as in the case of the other two valleys it was 13 mm/km. Low standard deviations in the period indicate rather similar summer precipitation gradients in individual years.

Table 7 presents horizontal precipitation gradients calculated at a yearly level. They were calculated with the help of the data on annual precipitation at Rateče and Kranjska Gora, whereas for Gozd Martuljek we made an estimate of the annual precipitation with regard to the precipitation at Kranjska Gora.

The annual precipitation amounts in the discussed valleys were obtained in such a way that the annual precipitation measured at the ARSO stations of Rateče and Kranjska Gora and the estimated precipitation at Gozd Martuljek were multiplied with the summer factor of increase between these stations and the stations in the valleys.

$$RR_{\text{Tamar year } i} = RR_{\text{Rateče year } i} * (\text{summer } RR_{\text{Tamar year } i} / \text{summer } RR_{\text{Rateče year } i})$$

$$RR_{\text{Krnica year } i} = RR_{\text{Kranjska Gora year } i} * (\text{summer } RR_{\text{Krnica year } i} / \text{summer } RR_{\text{Kranjska Gora year } i})$$

$$RR_{\text{Beli Potok year } i} = RR_{\text{Gozd Martuljek year } i} * (\text{summer } RR_{\text{Beli Potok year } i} / \text{summer } RR_{\text{Martuljek year } i})$$

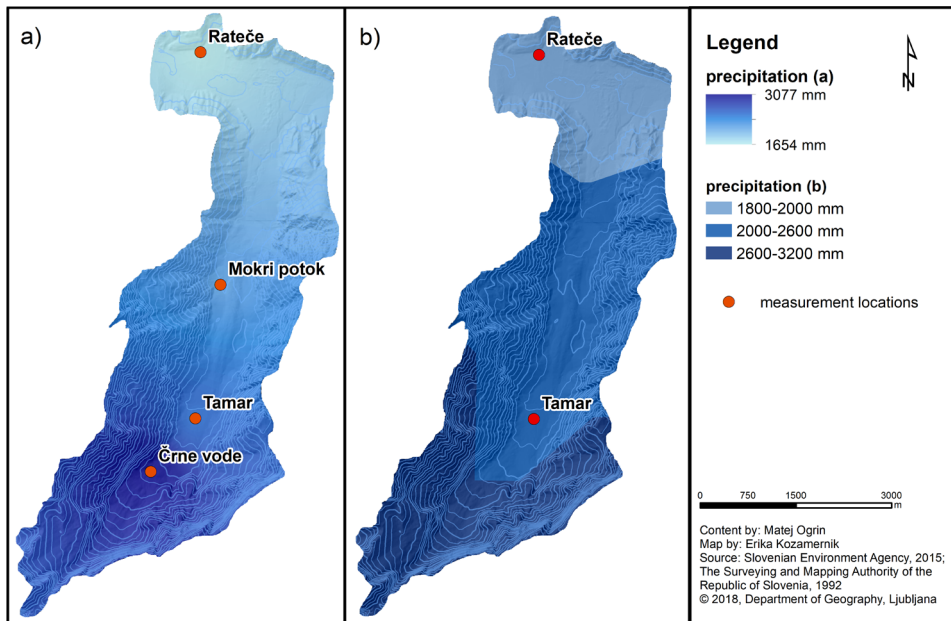
$$RR_{\text{Martuljek year } i} = RR_{\text{Kranjska Gora year } i} * (\text{summer } RR_{\text{Gozd Martuljek}} / \text{summer } RR_{\text{Kranjska Gora year } i})$$

– where RR denotes precipitation amount.

Table 7: Horizontal precipitation gradients (HPG) at annual level for the 2012–2015 period at Planica and for the 2013–2015 period at Krnica and Beli Potok.

	Annual precipitation (RR) (mm)	Annual precipitation (RR) (mm)	RR difference (mm)	Distance (km)	Annual HPG (mm/km)
	Rateče	Črne Vode			Planica
2012	1700	3163	1462	6.6	222
2013	1600	2977	1376	6.6	208
2014	2084	3876	1792	6.6	272
2015	1233	2293	1060	6.6	161
Arithmetic mean	1654	3077	1423	6.6	216
	Kranjska Gora	Krnica			Krnica
2013	1757	2724	966	5.9	164
2014	2315	3587	1273	5.9	216
2015	1255	1944	690	5.9	117
Arithmetic mean	1776	2752	976	5.9	165
	Gozd Martuljek	Beli Potok			Beli Potok
2013	1541	2170	628	2.9	217
2014	2030	2676	645	2.9	222
2015	1100	1494	394	2.9	136
Arithmetic mean	1557	2113	556	2.9	192

Figure 4: Comparison between the interpolated precipitation data based on field measurements in the 2012–2015 period (a) and the official precipitation map of corrected precipitation for the 1971–2000 period (b) (ARSO, 2015).



Horizontal precipitation gradients at a yearly level show rather high values. The greatest gradient occurs at Planica. Arithmetic mean of four years is as much as 216 mm/km with the standard deviation of 40 mm/km. At Beli Potok the horizontal precipitation gradient is 192 mm/km with the standard deviation of 39 mm/km, and at Krnica 165 mm/km with the standard deviation of 40 mm/km. In our opinion, the reasons for the differences between horizontal precipitation gradients are to be found in the direction and inclination of the valleys.

6 DISCUSSION

The Planica valley runs perpendicular to the main ridge of the western Julian Alps and is surrounded by high mountains at its end. It rapidly descends towards the exit and widens and opens near Rateče. The Beli Potok valley is rather shorter than the other two valleys, but its inclination is expressly greater as it drops by around 700 metres along the distance of 2.9 km. The great inclination of the valley's bottom causes a fast decrease in precipitation amount. According to the measured precipitation, the Krnica valley has a lower gradient, partly because of the higher precipitation amount at its entry at Kranjska Gora, and partly because of the lower precipitation amount in its uppermost part. The former fact results from a smaller openness of Kranjska Gora in comparison to Rateče, situated on the Karavanke side of the Upper Sava Valley, and the descent of air driven by south winds that is more expressed there than at Kranjska Gora. This is also corroborated by the foehn window that occurs in southern meteorological situations, which is more frequent and more strongly expressed at Rateče than at Kranjska Gora. On the other hand, in the end part of Planica a greater precipitation amount was measured than at Krnica, which results from a different position of the valley. Krnica lies in a lee position of the central massif of the Julian Alps, partly in the lee position of the Triglav mountains, whereas Planica reaches the wall of Mt. Jalovec, where it is already under the precipitation influence of the Upper Soča Region which is the wettest area in Slovenia.

Horizontal precipitation gradients in Alpine valleys are more easily estimated if we compare them to some other selected horizontal precipitation gradients in Slovenia which we calculated from the data of the precipitation stations of the ARSO network. The distances between individual precipitation stations in this network are longer than the distances between the measurement posts within the framework of our research project. The gradients are heavily influenced by the forms of the surface. The highest gradients are to be expected in the areas where massifs continue into lowlands. Among the selected profiles in Table 8, the case of Mrzla Rupa is such a gradient. The location lies in the rear of the plateau Trnovski gozd, in the direction towards Zalošče in the Vipava Valley. Within the distance of 17 km the precipitation gradient is as much as -70 mm/km. A similar profile can be found in the area from Kamniška Bistrica towards the plains of the northern part of the Ljubljana Basin, where we used the data of the meteorological station at the Jože Pučnik Airport Ljubljana. Although Kamniška Bistrica is a lowland station, it is situated close to the central part of the Kamnik-Savinja Alps and already functions as an indicator of precipitation amount in the central part of this

mountain chain. There is no other station on the south side that would lie higher and belong to the central part of the Kamnik-Savinja Alps. There is a higher lying station on Mt. Krvavec, but due to its position the quality of its data is questionable. Within the 15 km distance of this profile the precipitation gradient is -47 mm/km. The profile across the mountain barrier, i.e. from Kamniška Bistrica to the valley Logarska Dolina, also seems to be interesting. Within the distance of 9.5 km the horizontal precipitation gradient is -30 mm/km. It should be noted that no data are available for a better presentation of precipitation amounts near the ridge of the central part of the Kamnik-Savinja Alps (i.e. the Grintovci mountains). We can presume that the area closer to the ridges is even wetter and, accordingly, the gradient is higher. The rest of the cases of horizontal precipitation gradients in Table 8 are profiles from the Upper Soča Region towards the Adriatic Sea. Because those distances are greater, the values of the gradients, logically, approach zero. If horizontal precipitation gradients in Table 7 are compared to those in Table 8, it is obvious that the absolute values of the gradients in the selected valleys are considerably higher. The reasons are as follows:

- intense wetness of the uppermost parts of the valleys which reach into the Central and West Julian Alps;
- the direction of the valleys from the central part towards the north where quick foehnisation occurs;
- the valleys do not run parallel to the ridges but are more or less perpendicular to the direction of the massif, which contributes to higher horizontal precipitation gradients;
- the areas that flank the valleys likewise slope steeply, which enhances foehnisation in the direction away from the mountains.

Table 8: Horizontal precipitation gradients within certain selected distances in Slovenia.

Direction	Distance (km)	Horizontal precipitation gradient (mm/km)	Period
Mrzla Rupa (930 m)–Zalošče (75 m)	17	-70	2000–2015
Kamniška Bistrica (650 m)–Jože Pučnik Airport (364 m)	15	-47	2000–2006 and 2008–2015
Kamniška Bistrica (650 m)–Logarska Dolina (740m)	9.5	-30	2000–2005 and 2007–2009
Soča (487 m)–Bilje (55 m)	49	-25	2000–2015
Soča (487 m)–Trst (67 m)	78	-22	2000–2009
Podljubelj (679 m)–Naklo (403 m)	15	-17	2000–2015
Soča (487 m)–Portorož (2 m)	96	-17	2000–2015

Data source: ARSO, 2018; HISTALP, 2018; Weather online, 2018.

Valleys can also be found on the southern side of the Julian Alps, where the elevation of the surface is more richly varied. The valleys there do not run in a straight direction perpendicular to the central ridge (e.g. Trenta, Koritnica), and some of them are surrounded by high mountains from all sides (Zadnjica, Zadnja Trenta, Bavšica), so foehnisation is less distinct there. In addition, precipitation is expressly orographically enhanced already in the foothills of the Julian Alps, so that higher gradients already occur in the area from the Vipava Valley towards the plateau Trnovski Gozd.

7 CONCLUSION

The present study shows that horizontal precipitation gradients in Alpine valleys can differ greatly. They are influenced by the direction of the valleys, their inclination, and also the morphology of the surroundings. In the valleys of Planica, Krnica and Beli Potok, which are situated in the Julian Alps in the north-west of Slovenia, horizontal precipitation gradients at the annual level in the studied period reached the values of 162 mm/km at Krnica, 192 mm/km at Beli Potok, and 216 mm/km at Planica. They belong to the highest gradients known in Slovenia; however, it should be noted that local precipitation characteristics of other valleys remain rather unknown. In relation to the lowest point of each researched valley, precipitation amount in their uppermost parts increases by the factor of 1.36 at Beli Potok, 1.55 at Krnica and as much as 1.86 at Planica. This corroborates the findings of previous researches on the precipitation increase in mountainous areas. It also calls attention to the fact that these findings should be integrated into the practical knowledge of estimating the consequences of precipitation increase in the direction towards the highest parts of the mountains. What we have in mind is protection against avalanches, the estimation of unpredictable precipitation events and related natural disasters, and the like. We can also conclude that precipitation variety, and the ensuing climatic variety, in the mountainous world points to a new domain of geodiversity as the diversity of the inanimate world, which is manifest in the mountainous areas at the level of both landforms and climate phenomena.

(Translated into English by Branka Klemenc)

Acknowledgements

The authors warmly thank Filip Štucin, Peter Stele, Gregor Vertačnik, Ajda Kafol Stojanović, Tilen Sirše, Gašper Petretič, Marko Podlesnik, Jaka Ortar and Mojca Ošep for their help in the measurements.

References

- ARSO. 2015. Lidar. URL: http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso (accessed 25.09.2018).
- ARSO. 2018. Arhiv meteoroloških podatkov ARSO. URL: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydlJWblR3LwVnaz-9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf;> (accessed 09.08.2018).

- Bach, J., A., Pryce, L. W., 2013. Mountain climate. In: *Mountain Geography, Physical and Human Dimensions*. Los Angeles, University of California Press, 400 pp.
- Barros, A. P., Lettenmaier, D. P., 1994. Dynamic modeling of orographically induced precipitation. *Reviews of Geophysics*, 32, 3, pp. 265–284.
- Barry, R. G., 2008. *Mountain weather and climate*. Cambridge, Cambridge University Press, 506 pp.
- Blumenstock, D. I., Price, S., 1967. The climate of Hawaii. In *Climates of the States*, Vol. 2: Western States. Port Washington, NY, Water Information Center, pp. 481–975.
- Blumer, F., 1994. Altitudinal dependence of precipitation in the Alps. Zürich, Swiss Federal Institute of Technology, 242 pp.
- Bonacina, L. C. W., 1945. Orographic rainfall and its place in the hydrology of the globe. *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society*, 71, 307–308, pp. 41–55.
- HISTALP. 2018. Historical instrumental climatological surface time series of greater Alpine region. URL: <http://www.zamg.ac.at/histalp/dataset/station/csv.php> (accessed 15.08.2018).
- Lauer, W., 1975. *Klimatische Grundzüge der Höhenstufung tropischer Gebirge*. V: Steiner, F. (ed.). *Tagungsbericht und Wissenschaftliche Abhandlungen des 40. Deutscher Geographentag*. Innsbruck, pp. 79–90.
- Mass, C., 2008. *Weather of the Pacific Northwest*. Seattle, University of Washington Press, 336 pp.
- McGinnis, D. L., 2000. Synoptic controls on upper Columbia River basin snowfall. *International Journal of Climatology*, 20, pp. 131–149.
- Miniscloux, F., Creutin, D., Anquetin, S., 2001. Geostatistical analysis of orographic rainbands. *Journal of Applied Meteorology*, 40, pp. 1835–1854.
- Ogrin, D., Koželj, T., Vysoudil, M., 2016. Lokalno podnebje in topoklimatska karta Jezerskega. *Dela*, 45, pp. 5–30.
- Ogrin, D., Vysoudil, M., Ogrin, M., 2013. Splošne podnebne razmere Gorenjske in lokalno podnebje Kamniške Bistrice. In: Mrak, I. et al. *Gorenjska v obdobju globalizacije*. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, pp. 9–30.
- Ogrin, M., 2005. Measuring winter precipitation with snow cover water accumulation in mountainous areas. *Acta geographica Slovenica*, 45, 2, pp. 63–91.
- Ogrin, M., Ortar J., 2007. The importance of water accumulation of snow cover measurements in mountainous regions of Slovenia. *Acta geographica Slovenica*, 47, 1, pp. 47–71.
- Povprečna letna višina korigiranih padavin, 2018. URL: http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/image/sl/by_variable/precipitation/mean-annual-corrected-precipitation_71-00.png (accessed 09.08.2018).
- Pristov, P., Pristov, N., Zupančič, B., 1998. *Klima Triglavskega Narodnega parka*. Bled, HMZS, TNP, 60 pp.
- Seidl, F., 1891. *Das Klima von Krain*. Laibach, Kleinmayr & Fed. Bamberg, 649 pp.
- Sevruck, B., 1972. Precipitation measurements by means of storage gauges with stereo and horizontal orifices in the Baye de Montreux Watershed, World Meteorological Organization, WMO/OMM, 326, pp. 86–95.

- Sevruk, B., 1997. Regional dependency of precipitation – altitude relationship in the Swiss Alps. *Climate Change*, 36, 3–4, pp. 355–369.
- Sharon, D., 1970. Topography-conditioned variations in rainfall as related to the runoff-contributing areas in a small watershed, *Israel Journal of Earth Sciences*, 19, 1, pp. 85–89.
- Valvasor, J., V., 1978. *Slava Vojvodine Kranjske*. Ljubljana, Mladinska knjiga, 365 pp.
- Vysoudil, M., 2009. Classification of local climatic effects. *Geografický časopis*, 61, 3, pp. 229–241.
- Weather online. 2018. URL: <https://www.weatheronline.co.uk/weather/maps/city?FMM=1&FYY=2000&LMM=12&LYY=2015&WMO=16110&CONT=euro®ION=0005&LAND=IY&ART=PRE&R=160&NOREGION=1&LEVEL=162&LANG=en&MOD=tab> (accessed 09.08.2018).
- Yang, D., Sevruk, B., Elomaa, E., Golubev, V., Goodison, B., Gunther, T., 1994. Wind-induced error of snow measurement: WMO intercomparison results. *Annalen der Meteorologie*, 30, pp. 61–64.

ZASNOVA GEOGRAFSKEGA PRISTOPA K IZDELAVI STROKOVNIH PODLAG ZA PROSTORSKO NAČRTOVANJE V POREČJIH

Andrej Draksler*, mag., dr. **Simon Kušar****

*Zgornje Bitnje 14a, SI-4209 Žabnica

**Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani

Aškerčeva 2, SI-1000 Ljubljana

e-pošta: andrej.draksler27@gmail.com, simon.kusar@ff.uni-lj.si



Izvirni znanstveni članek

COBISS 1.01

DOI: 10.4312/dela.49.37-59

Izveček

Kljub načelnemu približevanju upravljanja z vodami ter prostorskega načrtovanja v Vodni direktivi (2000) poteka izdelava načrtov upravljanja voda brez upoštevanja širših razvojnih dejavnikov v prostoru. V prispevku predlagamo celovitejši oziroma geografski pristop k izdelavi strokovnih podlag kot izhodišče za prostorsko načrtovanje v porečjih, in sicer s povezavo DPSIR modela in strokovnih analiz pri prostorskem načrtovanju. Tako smo povezali okoljski vidik načrtovanja razvoja porečij s širšim razvojnim vidikom. Predlagani pristop smo preverili in ovrednotili na primeru porečja reke Kokra v Sloveniji.

Ključne besede: prostorsko načrtovanje, trajnostni prostorski razvoj, strokovne podlage, regionalna analiza, upravljanje porečij, DPSIR model, porečje, Kokra, Slovenija

CONCEPT OF THE GEOGRAPHICAL APPROACH TO PROFESSIONAL ANALYSIS IN RIVER BASIN SPATIAL PLANNING

Abstract

Despite a general harmonization of the water management and spatial planning in the Water Directive (2000), the preparation of the river basin management plans takes place without considering the wider developmental factors in the area. In the article, we propose a more comprehensive or geographical approach to professional analysis relevant for river basin spatial planning by combining the DPSIR model with professional analysis in spatial planning. Thus, we are linking the environmental aspect of river basin planning with a broader developmental aspect. The proposed approach was implemented and evaluated in the case of the Kokra river basin in Slovenia.

Keywords: spatial planning, sustainable spatial development, professional basis, regional analysis, river basin management, DPSIR model, river basins, Kokra, Slovenia

I UVOD

Človekovo delovanje vpliva na podobo in funkcijo prostora, obenem pa prostor s svojimi danostmi in omejitvami usmerja človekove dejavnosti in prostorski razvoj. Prostorsko načrtovanje skuša ob upoštevanju naravnih razmer, družbenih značilnosti območja in vizij o prihodnjem razvoju zagotavljati enakomeren gospodarski, družbeni in prostorski razvoj. Eden ključnih korakov pri prostorskem načrtovanju je določitev ustreznega območja načrtovanja.

Prostorsko načrtovanje je najučinkovitejše v naravnogeografsko in družbenogeografsko zaokroženih prostorskih enotah, ki omogočajo enakovredno upoštevanje vseh prostorskih elementov in dejavnikov ter procesov. Porečje kot enota za prostorsko načrtovanje omogoča takšen celostno zasnovan razvoj, ki je sestavljen iz upravljanja z okoljskimi, gospodarskimi, človeškimi in drugimi viri (Hagget, 1972; Mather, Chapman, 1995; Petts, Bravard, 1996). Zato prostorsko načrtovanje v okviru porečij predstavlja eno od možnosti za doseganje trajnostnega prostorskega razvoja.

Najpogostejši vzrok za načrtovanje na ravni porečij je zagotavljanje kakovosti vodnih virov (Newson, 2009). Toda številne izkušnje kažejo, da upravljanje z vodnimi viri ne sme biti ločeno od celovitega načrtovanja razvoja, temveč ga je smiselno vključiti v obstoječe sisteme upravljanja s prostorom (Bricelj, 2007; Kidd, Shaw, 2007; Prah, 2012). Čeprav gre za tradicionalno dva ločena sektorja, je upravljanje z vodnimi viri neločljivo povezano s prostorskim načrtovanjem in ju je smiselno povezati in okrepiti (Woltjer, Al, 2007; Grindlay in sod., 2011). Povezanost je pomembna za obe strani: upravljanje voda je odvisno od prihodnjih vodnih potreb in dinamike prostorskega razvoja, na drugi strani pa je naloga prostorskih načrtovalcev, da upoštevajo vplive načrtovanega prostorskega razvoja na vodne vire in spodbujajo njihovo trajnostno rabo. V nasprotnem primeru postanejo vodni viri zaradi poslabšanja kakovosti ali dostopnosti omejitveni dejavnik prostorskega razvoja (Carter, 2007; Grindlay in sod., 2011).

Evropska Vodna direktiva iz leta 2000 (Direktiva Evropskega parlamenta ..., 2000) je uvedla nov načrtovalski pristop pri upravljanju s porečji. Vodna direktiva predvideva izdelavo načrtov upravljanja porečij (v nadaljevanju NUV). To je nacionalni dokument, ki opredeljuje mehanizme za vodenje politike na področju voda skladno z evropsko Vodno direktivo. V njem so predvideni ukrepi, s katerimi naj bi dosegli cilje direktive (Rejec Brancelj, Dobnikar Tehovnik, Uhan, 2011). Vsak NUV mora poleg analize obremenjevanja vodnih virov izvesti tudi analizo vpliva človekovih dejavnosti na površinske in podzemne vode z uporabo DPSIR modela (*Driving forces – Pressures – States – Impacts – Responses*). Direktiva s tem povezuje upravljanje voda in prostora (Howe, White, 2002).

Kljub načelnemu približevanju vodnega upravljanja ter prostorskega načrtovanja v Vodni direktivi (Direktiva Evropskega parlamenta ..., 2000) pa praksa (npr. Načrt upravljanja vodnega območja Donave – Danube River Basin ..., 2009; Danube River Basin ..., 2015) kaže, da upravljanje z vodnimi viri poteka brez zadostnega upoštevanja ostalih elementov v prostoru. Takšen pristop je z vidika doseganja trajnostnega prostorskega razvoja porečij problematičen, saj s sektorskim pogledom ne upošteva dejstva, da prostorski procesi v porečju pomembno zaznamujejo količino in kakovost vode. V

prispevku zato za povezavo med pristopom k upravljanju voda in prostorskim načrtovanjem predlagamo geografski pristop k izdelavi strokovnih podlag kot možno izhodišče za celovitejši analitično-geografski in prostorsko-načrtovalski pogled na problematiko trajnostnega prostorskega razvoja v porečjih. Predlagani pristop povezuje načrtovanje upravljanja voda (DPSIR model) in strokovne analize v prostorskem načrtovanju. S tem želimo na metodološki ravni doseči tesnejšo povezanost upravljanja voda s širšim razvojnim vidikom. Predlagani geografski pristop smo preverili in ovrednotili na primeru porečja reke Kokre v Sloveniji.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Predlog celovitejšega, geografskega pristopa k izdelavi strokovnih podlag, potrebnih za prostorsko načrtovanje v porečjih za doseganje njihovega trajnostnega prostorskega razvoja, temelji na povezavi pristopa k upravljanju voda in pristopov k izdelavi analiz, potrebnih za izdelavo strokovnih podlag pri prostorskem načrtovanju. V nadaljevanju zato postavljamo teoretične temelje predlaganemu geografskemu pristopu, in sicer z opredelitvijo porečij kot prostorsko-načrtovalskih enot, ki lahko služijo kot prostorska enota za doseganje trajnostnega prostorskega razvoja, prikazom osnovnih značilnosti DPSIR modela ter predstavitev sistema prostorskega načrtovanja v Sloveniji, s čimer nakažemo na uporabno vrednost predlaganega geografskega pristopa.

2.1 Porečje kot prostorsko-načrtovalska enota

Trajnostni prostorski razvoj pomeni uravnotežen napredek na okoljskem, gospodarskem, kulturnem in socialnem področju. Prostorska členitev ozemlja, v katerem potekajo prizadevanja za njegovo doseganje, mora biti zato prilagojena zmogljivostim okolja, gospodarski sestavi, poselitvi, vplivnim območjem središč, lokalni ter regionalni pripadnosti prebivalcev, omogočati mora varčno rabo naravnih in drugih endogenih virov ter s tem njihovo obnavljanje in razpoložljivost za prihodnje generacije (Unwin, 1997).

Pri opredeljevanju porečij so v ospredju hidrogeografski kriteriji. Porečje je tako praviloma opredeljeno na osnovi rečne mreže, vodozbirnega območja glavne reke in usmeritve vodnega toka, ločenega od sosednjih z višje ležečimi topografskimi razvodnicami (Blij, Muller, 1993; cit. v Plut, 1999).

Porečja s svojimi naravnogeografskimi značilnostmi sooblikujejo prostorsko organiziranost družbe, saj jih zaznamujejo gravitacijski tokovi, ki pogosto sovpadajo z družbenimi, na primer s prebivalstvenimi ali prometnimi tokovi. Porečja zato vplivajo na poselitveni vzorec: lokacijo in funkcijo naselij ter oblikovanje gravitacijskega zaledja središčnih naselij (Plut, 1999), značilnosti prometne mreže ter rabo vodnih virov, vodooskrbo in čiščenje odplak.

Tradicionalni regionalizacijski pristop se je preveč osredotočal na industrijske dejavnosti in urbano družbo (Plut, 1999). Ker porečja označuje povezanost fizičnogeografskih značilnosti in organiziranosti človeške družbe, so z geografskega vidika, ki podčrtava celovitost, povezanost in medsebojno součinkovanje (Vrišer, 1992), primerna prostorska

enota, v kateri lahko potekajo prizadevanja za trajnostno gospodarjenje z naravnimi (vodni viri, prsti, ekosistemi), urbanimi (industrija, mesta) in človeškimi viri (izobraževanje; Mather, Chapman, 1995; Newson, 2009).

Osredotočenost na porečja je tudi priložnost za preseganje omejitev, ki jih prinaša normativno urejen sistem prostorskega načrtovanja (Woltjer, Al, 2007; Grindlay in sod., 2011). Administrativne meje, znotraj katerih poteka prostorsko načrtovanje, so razdelile porečja na manjše dele, kar onemogoča celovito reševanje aktualnih prostorskih in okoljskih izzivov, kot so oskrba z vodnimi viri, čiščenje odpadne vode, ogroženost zaradi poplav in drugih naravnih nesreč, industrijskih nesreč, plovba ter načrtovanje zelene infrastrukture. Reševanje tovrstnih problemov je namreč uspešnejše v okviru večje prostorske enote, ki v celoti zaobjame problemsko območje (Kušar, 2006). Za načrtovanje niso primerna samo velika porečja (na primer Tennessee, Delaware, Fraser, Ren, Donava) ampak tudi manjša porečja (Gardiner, Thompson, Newson, 1994; Jones, 1997; Newson, 2009), saj takšen pristop pomembno prispeva k napredku na ravni večjega porečja (Siegel, Schabl, 2008).

2.2 Upravljanje voda

Pomemben prispevek k trajnostnemu prostorskemu razvoju porečij je evropska Vodna direktiva (Direktiva Evropskega parlamenta ..., 2000), ki je uvedla nov načrtovalski pristop upravljanja s porečji. Vodna direktiva predvideva izdelavo NUV. To je »dokument o upravljanju voda na vodnem območju, s poudarkom na stanju, ciljih in načrtovanih programih stroškovno učinkovitih ukrepov na vodnih telesih za doseganje ciljev upravljanja voda« (Bizjak, 2008, str. 103).

V evropski načrtovalski pristop na področju voda je vključen tudi DPSIR model (poimenovan tudi kot okvir, orodje, pristop, metoda, koncept ali metodološki model; Bizjak, 2008; Prah, 2012; The DPSIR framework, 2018). Gre za ponovljiv (ciklični) postopek določanja stanja vodnih teles, ki vključuje tudi opredelitev človekovih pritiskov na vodna telesa (Bizjak, 2008; Howe, White, 2002). DPSIR model vključuje analizo gonilnih sil (angl. *Driving forces*), obremenitev (angl. *Pressures*), stanja (angl. *State*), vplivov (angl. *Impacts*) in odzivov (angl. *Responses*). DPSIR za ugotavljanje stanja na področju okolja je oblikovala in jo tudi sicer uporablja Evropska agencija za okolje (Kovač, Kušar, Rejec Brancelj, 2014).

Slovenija je vsebino evropske Vodne direktive povzela leta 2002 v Zakonu o vodah (Zakon o vodah, 2002). V skladu z evropskim pristopom načrtovanja in upravljanja porečij je izdelala osrednji dokument načrtovanja in upravljanja porečij, poimenovan Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2009–2015 (Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja ..., 2011). Sprejeta sta že tudi načrta upravljanja voda za obe vodni območji za obdobje 2016–2021 (Načrt upravljanja voda, 2018).

Načrti upravljanja vodnih območij so kljub upoštevanju obremenitev, ki jih za vodna telesa pomenijo človekove dejavnosti, sektorski dokument. Zaradi potrebe po celovitejši geografski obravnavi porečij so avtorji strokovne pristope k oblikovanju načrtov upravljanja voda, predvidenih z Vodno direktivo, dopolnili. Brečko Grubar (2006) je na podlagi DPSIR modela oblikovala geografski metodološki pristop za načrtovanje

trajnostnega upravljanja vodnih virov. Bricelj (2007) je opozoril na potrebo po opredelitvi najpomembnejših regionalnih hidrogeografskih značilnosti porečij kot osnove za geografski koncept upravljanja voda v Sloveniji. Frantar (2011) je opredelil vlogo geoinformacijske podpore pri analizi gonilnih sil na vodnih telesih. Prah (2012) je oblikoval geografski pristop celostnega upravljanja vodnih virov, ki temelji na geografski analizi prostorskih značilnosti porečja ter na delitvi porečja na posamezna hidrografska območja. Izhodiščno stanje okolja je preučil z integralnim geografskim modelom, ki prav tako izhaja iz metode DPSIR, vendar se je omejil le na dejavnike pritiskov na vodne vire, analizo pritiskov na vodne vire, ranljivost vodnih virov, stanje in težnje kakovosti vodnih virov, vplive kakovosti vodnih virov in odzive politik.

Avtorji geografskih strokovnih analiz porečij, ki izhajajo iz DPSIR modela, v njih obravnavajo predvsem vodne vire oziroma načrtovanje in upravljanje porečij z vidika voda. Za doseganje trajnostnega prostorskega razvoja porečij pa bi bil potreben celovitejši prostorsko-načrtovalski pristop z upoštevanjem širših razsežnosti razvoja. Na pomanjkljivost takšnih pristopov opozarja tudi Prah (2012), ki izpostavlja premajhno konkretizacijo prostorskega opredeljevanja ukrepov ter potrebo po jasnejši vključitvi drugih dejavnikov pri obravnavi porečij, na primer poselitvenega vzorca.

2.3 Sistem prostorskega načrtovanja v Sloveniji

Prostorsko načrtovanje je interdisciplinarna dejavnost, s katero se ob upoštevanju varstvenih zahtev, razvojnih interesov ter razvojnih možnosti določajo pogoji za razvoj dejavnosti v prostoru in njihovo razmestitev ter pogoji za umestitev načrtovanih objektov v prostor in njihovo izvedbo (Poročilo o ..., 2016).

Sistem prostorskega načrtovanja v Sloveniji temelji na strateških prostorskih razvojnih dokumentih ter na hierarhično urejenih prostorskih aktih na državni, regionalni in lokalni (občinski) ravni (Prostorski planski instrumenti ..., 2002). Država je pristojna za določanje ciljev prostorskega razvoja na nacionalni ravni ter za določanje izhodišč in usmeritev za načrtovanje prostorskih ureditev na vseh ravneh. Ključni strateški razvojni dokument, ki usmerja razvoj v prostoru, je Strategija prostorskega razvoja Slovenije, ki poleg ciljev prostorskega razvoja ter zasnove prostorskega razvoja Slovenije s prednostnimi nalogami opredeljuje tudi usmeritve za prostorski razvoj na regionalni in lokalni ravni (Strategija prostorskega razvoja Slovenije, 2004).

V Sloveniji se prostorsko načrtovanje poleg državne ravni izvaja le še na občinski ravni (Prostorski planski instrumenti ..., 2002). Na regionalni ravni so bile v preteklosti v vseh obdobjih veljavnosti posameznih zakonov predvidene nekatere oblike medobčinskega sodelovanja na področju prostorskega načrtovanja, vendar do veljavnih regionalnih prostorskih načrtov ni prišlo, kljub temu da se odsotnost regionalne ravni prostorskega načrtovanja pogosto omenja kot eden od ključnih izzivov na področju prostorskega načrtovanja v Sloveniji (Prostorski planski instrumenti ..., 2002).

Leta 2018 je stopila v veljavo nova prostorska zakonodaja. Zakon o urejanju prostora (ZUreP-2) med prostorskimi strateškimi akti opredeljuje tudi regionalni prostorski plan. Zaradi harmonizacije regionalnega razvojnega (regionalni razvojni programi) in

regionalnega prostorskega načrtovanja se bodo regionalni prostorski plani oblikovali za območja razvojnih regij v Sloveniji (Zakon o urejanju ... 2017), kar pa ne rešuje nujno problematike trajnostnega prostorskega razvoja problemsko zaokroženih geografskih enot, na primer posameznih porečij.

To dokazujejo izkušnje iz Vipavske doline, kjer Svet za Vipavo koordinira usklajena prizadevanja občin na območju porečja Vipave za reševanje razvojnih izzivov, predvsem poplavne ogroženosti in načrtovanja zelene infrastrukture (Ožbot, 2015), česar pa ne bi bilo mogoče tako učinkovito nasloviti z regionalnim prostorskim planom za Goriško razvojno regijo, ki zajema tudi Posočje in Idrijsko-Cerkljansko območje s specifičnimi razvojnimi izzivi.

Pri pripravi prostorskih dokumentov so strokovne analize podlaga za oblikovanje prostorskih rešitev, vključevanje relevantnih deležnikov (nosilcev urejanja prostora, javnosti) ter sprejemanje končnih odločitev o prihodnjem prostorskem razvoju. Analize so najpogosteje umeščene v naslednje temeljne vsebinske okvire (Černe, 2004, str. 35):

1. analiza stanja in teženj, ki opisuje obstoječe in prihodnje prostorske razmere in pogoje;
2. ocena stanja, vključno z relativnim pomenom prostorskih problemov ali stopnjo doseganja ciljev, ter dejavniki, ki povzročajo prostorske probleme;
3. vrednote, ki opredeljujejo cilje, probleme ali vprašanja in prednostne naloge;
4. politika, ki opisuje načela za usmerjanje prostorskega načrtovanja, reševanje problemov in usmerjanje razvoja.

Strokovne analize v prostorskem načrtovanju tako zajemajo (Černe, 2005, str. 124):

1. analizo stanja,
2. oceno stanja,
3. razvojne možnosti,
4. prostorske vizije,
5. variante prostorskega razvoja.

Takšen metodološki pristop k pripravi strokovnih podlag za prostorske dokumente je lahko osnova za nadaljnje korake v prostorskem načrtovanju, ki so normativno urejeni (predpisani z zakonodajo in podzakonskimi dokumenti), bil pa je že preizkušen pri pripravi strokovnih gradiv za Strategijo prostorskega razvoja Slovenije iz leta 2004 (Černe, 2005, str. 123–124).

3 ZASNOVA GEOGRAFSKEGA PRISTOPA ZA PRIPRAVO STROKOVNIH PODLAG ZA PROSTORSKO NAČRTOVANJE V POREČJIH

S povezavo DPSIR modela, ki se uporablja kot analitični pristop na področju načrtovanja upravljanja voda, in strokovnih analiz, ki se uporabljajo pri zasnovi prostorskih dokumentov, želimo na metodološki ravni prispevati k tesnejši povezanosti upravljanja voda s prostorsko-načrtovalskim pristopom. Z oblikovanjem enotnega pristopa k izdelavi

strokovnih analiz je omogočen celovitejši pogled na stanje v prostoru, ki upošteva neločljivo povezanost potreb po varovanju voda in dinamike prostorskega razvoja s ciljem trajnostnega prostorskega razvoja v porečjih. Pristop k izdelavi strokovnih podlag za načrtovanje trajnostnega prostorskega razvoja v porečjih zaradi upoštevanja večjega števila prostorskih elementov imenujemo »geografski pristop k izdelavi strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v porečjih«. Ta upošteva vse prostorske elemente v porečju s podarkom na ohranjanju vodnih virov in se od pristopov, predstavljenih v prejšnjem poglavju, razlikuje v celovitosti obravnave porečja z vsemi geografskimi značilnostmi in razvojnimi procesi in se ne omejuje izključno na obravnavo vodnih virov. Tako oblikovane

Preglednica 1: Primerjava analitičnih faz DPSIR modela in strokovnih analiz v prostorskem načrtovanju ter predlaganega geografskega pristopa k izdelavi strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v porečjih.

Table 1: Comparison of analytical phases of the DPSIR model, the professional analysis in spatial planning and the proposed geographical approach to professional analysis in river basin spatial planning.

DPSIR model	Strokovne analize v načrtovanju	Geografski pristop k izdelavi strokovnih podlag
Vhodni podatki <i>Osnovno stanje porečja z vidika voda, predstavitev in določitev vodnih teles</i>	Analiza stanja	Geografske značilnosti porečja in členitev <i>Temeljna geografska predstavitev porečja z naravnogeografskimi in družbenogeografskimi značilnostmi</i> <i>Členitev porečja na manjše prostorsko-načrtovalske enote</i>
Gonilne sile <i>Človekove dejavnosti (industrija, promet, turizem)</i>		Analiza stanja prostora <i>Obravnavani aktualni prostorski procesi in problemi, ki izhajajo iz geografskih značilnosti in dosedanjega prostorskega razvoja; rezultat vseh dejavnosti v prostoru (morfologija in funkcija naselij, gospodarstvo, infrastruktura, raba naravnih virov) in njihovih vplivov, pozitivni in negativni vplivi na prostor</i>
Obremenitve <i>Neposredne obremenitve okolja s strani gonilnih sil</i>		
Stanje <i>Stanje v okolju: raven onesnaženosti, raba in količina razpoložljivih naravnih virov</i>	Ocena stanja	Ocena stanja prostora <i>Opredeljuje trenutno stanje prostora in prostorskih struktur glede na želeno stanje – trajnostni prostorski razvoj</i>
Vplivi <i>Učinki spremenjenega okolja na živa bitja</i>	Prostorske razvojne možnosti, prostorske vizije, variante prostorskega razvoja	Model prostorskega razvoja – prostorske razvojne možnosti, vizija <i>Opredeljujemo možnosti nadaljnega prostorskega razvoja na podlagi poznanih dejstev o prostoru (procesov, problemov, omejitev)</i>
Odzivi <i>Odgovori družbe na okoljske probleme (ukrepi države, odzivi posameznikov ipd.)</i>		Usmeritve, ukrepi <i>Usmeritve za prostorsko načrtovanje vseh prostorskih elementov z namenom doseganja trajnostnega prostorskega razvoja</i>

strokovne podlage so pomembno izhodišče za prostorsko načrtovanje na regionalni in občinski ravni, saj postavljajo v ospredje trajnostni prostorski razvoj problemsko širših zaključenih območij – porečij, kar bo zaradi pričakovanih učinkov podnebnih sprememb na vodno dinamiko še posebej dragoceno.

Povezavo DPSIR modela (Kovač, Kušar, Rejec Brancelj, 2014) in strokovnih analiz v planiranju (Černe, 2005) omogoča soroden pristop pri obravnavi prostora (preglednica 1). Pri oblikovanju predlaganega pristopa k strokovnim analizam v porečjih smo izhajali tudi iz Prahovega geografskega pristopa celostnega upravljanja vodnih virov, ki poudarja pomen uvodne geografske analize prostorskih značilnosti porečja ter delitev porečja na posamezna homogena hidrografska območja (Prah, 2012).

Osnovni elementi geografskega pristopa k izdelavi strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v porečjih so (slika 1):

1. geografske značilnosti porečja,
2. členitev porečja na manjše prostorsko-načrtovalske enote,
3. analiza stanja prostora,
4. ocena stanja na področju prostorskih procesov in problemov,
5. oblikovanje modela prostorskega razvoja porečja kot vizualizacija ključnih usmeritev za trajnostni prostorski razvoj porečja,
6. oblikovanje usmeritev in ukrepov za doseganje trajnostnega prostorskega razvoja v porečju.

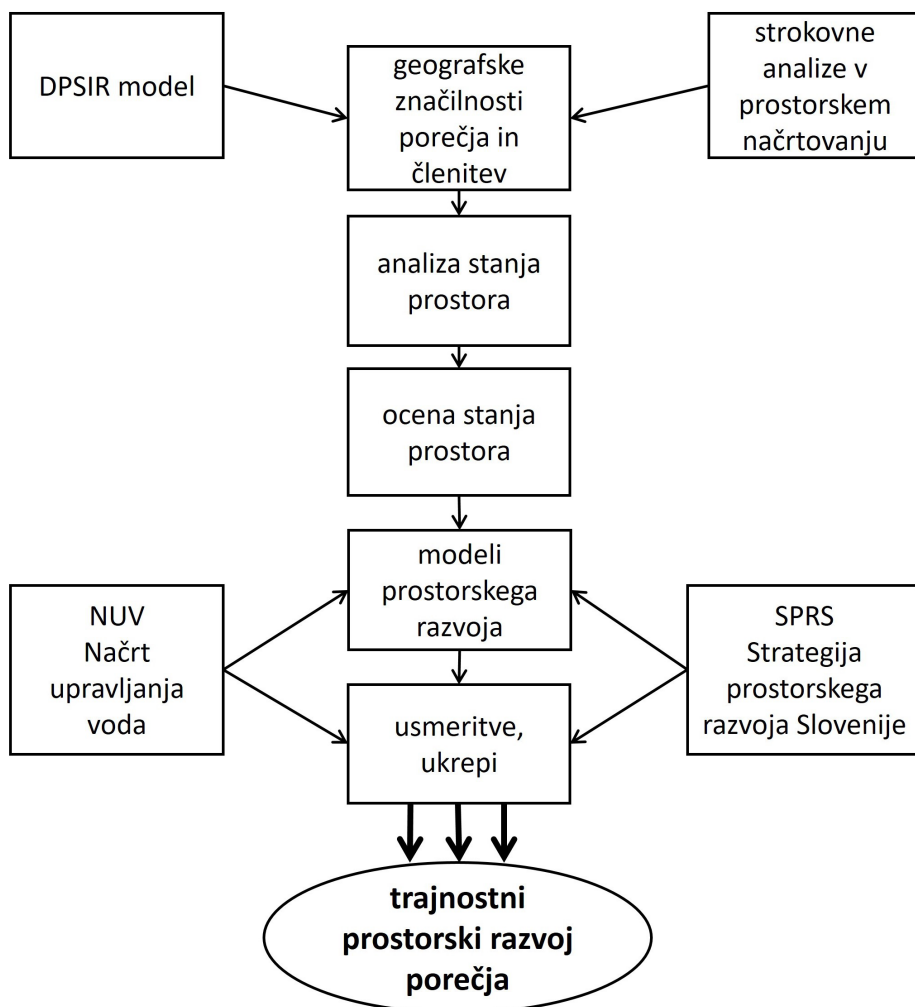
Prvi element geografskega pristopa k izdelavi strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v porečjih je **opredelitev geografskih značilnosti porečja**. Gre za opredelitev temeljnih naravnogeografskih (relief, podnebje, vode, prsti) in družbenogeografskih (prebivalstvo, gospodarska struktura, raba zemljišč, infrastruktura) značilnosti. Splet naravnogeografskih in družbenogeografskih elementov oblikuje porečje v celoto. Njihova povezanost in medsebojno součinkovanje ustvarjata specifike vsakega porečja, ki jih ne moremo neposredno prenesti v sosednje, še manj v oddaljeno porečje. Spoznanja o geografski strukturi porečja lahko po zgledu Praha (2012) zaradi notranje raznolikosti v prostorski strukturi in za večjo učinkovitost predlaganih razvojnih usmeritev in ukrepov vodijo do odločitve o **členitvi porečja na manjše prostorske enote**, ki služijo kot prostorsko-načrtovalske enote. Usmeritve in ukrepi so tako bolj prilagojeni specifičnim (sub)regionalnim razmeram. Ključni kriteriji za členitev porečja so hidrografske značilnosti in značilnosti poselitve.

Analiza stanja prostora je pomembna z vidika razumevanja aktualnih prostorskih procesov in problemov, ki izhajajo iz geografskih značilnosti. Analiza kaže obstoječe stanje prostorskih struktur in opozarja na prostorske probleme oziroma neželene razmere. Temelji na dejstvih o prostoru. Prostorski procesi in problemi (na primer razvoj naselij in infrastrukture, degradirana območja, poplave) oblikujejo trenutno stanje prostora in vplivajo na možnosti nadaljnjega razvoja porečja. Odvijajo se bodisi v celoti ali delno znotraj porečja bodisi zunaj njega, njihov potek pa vpliva na stanje prostora v porečju.

Z **oceno stanja prostora** se ovrednoti ugotovljeno stanje prostora. To pomeni opredelitev do trenutnih prostorskih procesov – ti so dobri oziroma negativni – ter relevantnost

Slika 1: Shema geografskega pristopa k izdelavi strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v porečjih za doseganje trajnostnega prostorskega razvoja v porečjih.

Figure 1: The structure of the geographical approach to professional analysis in river basin spatial planning.



prostorskih problemov za nadaljnji prostorski razvoj. Iz ocene stanja prostora izhaja odločitev o reševanju tistih prostorskih vprašanj, ki jih označimo kot ključna za doseganje trajnostnega prostorskega razvoja v porečjih.

Na **oblikovanje modela** ali več modelov **prostorskega razvoja** vplivajo pretekli, trenutni in predvideni prostorski procesi znotraj in zunaj porečja, pa tudi drugi dejavniki,

na primer družbene, gospodarske, socialne, institucionalne, pravno formalne razmere in zahteve (nadrejeni oziroma strateški razvojni dokumenti – v primeru obravnave porečij načrt upravljanja voda in Strategija prostorskega razvoja Slovenije, v prihodnosti tudi regionalni prostorski plani) ter tehnično-tehnološke možnosti. Modeli prikazujejo pričakovan prostorski razvoj glede na trenutno stanje ob upoštevanju prostorskih danosti ter omejitev. V viziji prostorskega razvoja predstavimo stanje prostora v prihodnosti, kakršnega želimo doseči v procesu prostorskega načrtovanja. Vizija kaže sliko glavnih prostorskih struktur porečja in njihovih medsebojnih razmerij z željo po trajnostnem prostorskem razvoju.

Zadnji element pristopa so **usmeritve in predlogi ukrepov**. Ti temeljijo na geografskih značilnostih, analizi in oceni stanja prostora ter prostorskih razvojnih možnostih porečja in opredeljujejo pot k trajnostnemu prostorskemu razvoju porečja. Nanašajo se na posamezne prostorske elemente in celotno porečje. Namenjeni so lažji pripravi in izvedbi konkretnih prostorsko načrtovalskih ukrepov in projektov v porečju, ki se lahko udeležijo v prostorskih načrtih na lokalni in regionalni ravni.

4 UPORABA GEOGRAFSKEGA PRISTOPA NA PRIMERU POREČJA KOKRE

Predlagani geografski pristop k izdelavi strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v porečjih smo uporabili na primeru porečja Kokre. Vsak element geografskega pristopa je v podpoglavjih vsebinsko nadgrajen in naslavlja aktualna prostorsko-razvojnna vprašanja porečja, v zadnjem podpoglavju pa so predlagane strateške usmeritve za doseganje trajnostnega prostorskega razvoja porečja Kokre.

4.1 Geografske značilnosti porečja Kokre in členitev na prostorsko-načrtovalske enote

Porečje Kokre in njegove naravnogeografske značilnosti so preučevali različni avtorji. Melik (1954, 1959) ga je obravnaval v monografijah o Sloveniji, pleistocensko poledenitev je preučil Meze (1999), Polajnar (1957) je opisal geografske značilnosti doline Kokre, Perko (1987a, 1987b, 1992) je obravnaval tipe pokrajin in prebivalstvo. Družbenogeografskim značilnostim porečja Kokre, zlasti Kranja z okolico, so se posvečali Pak (1995, 2005), Slavčeva (1997) in Rebernik (2013). Območje je doživelo geografsko obravnavo tudi na Zborovanju slovenskih geografov na Bledu leta 2013.

Porečje Kokre meri 224 km² in je sestavljeno iz dveh izrazitih delov. Zgornji ali alpski del (do Preddvora) je hribovit, spodnji del do izliva Kokre v Savo je ravninski. V zgornjem delu prevladuje erozijski tip rečnega reliefa, v spodnjem pa akumulacijski (Perko, 1992). Kokra je alpska reka z večinsko hudourniškim značajem, ki pri Kranju dobi glavni pritok Rupovščico. V prodnih in konglomeratnih terasah ravninskega dela porečja so večje količine talne vode. V hladni polovici leta je v ravninskem delu porečja pogost pojav temperaturne inverzije z radiacijsko meglo. Nasprotno ima termalni pas na prehodu v hriboviti del ugodnejše podnebne razmere z višjimi povprečnimi temperaturami, manjšo

temperaturno amplitudo in boljšo osončenostjo (Ogrin, Vysoudil, Ogrin, 2013; Ogrin, Koželj, Vysoudil, 2016). Naravna vegetacija je gozd, ki zavzema večino ozemlja v porečju. Porečje je razdeljeno med 7 občin: Jezersko, Preddvor, Kranj, Šenčur, Tržič, Naklo in Cerklje na Gorenjskem. V celoti je v porečju Kokre občina Jezersko, z veliko večino ozemlja tudi občina Preddvor. Ostale občine delno ležijo znotraj porečja Kokre: mestna občina Kranj s svojim severnim delom, občina Šenčur med naseljema Hotemaže in Milje, občina Naklo v delu Udin boršta, občini Tržič pripada skrajni zahodni del porečja, občini Cerklje na Gorenjskem pa le območje smučišča Krvavec. Leta 2017 je bilo v porečju 16.374 prebivalcev, upoštevajoč mesto Kranj, ki sicer ne leži v celoti v porečju Kokre, pa 53.927. Število prebivalcev se povečuje na račun spodnjega dela porečja. Gostota prebivalstva v porečju je leta 2017 znašala 73,1 prebivalca/km² (Draksler, 2015; SURS, 2018).

Porečje Kokre smo členili na prostorsko-načrtovalske enote (slika 2), ki delno sovpadajo s tipi pokrajin, ki jih je razločil Perko (1992) in so rezultat součinkovanja pokrajinskih sestavin porečja, vendar smo se pri členitvi na prostorsko-načrtovalske enote osredotočili predvsem na naslednje kriterije:

- intenzivnost rabe prostora (število prebivalcev in gostota poselitve, poselitveni vzorec);
- hidrografske značilnosti (tip vodotokov, vrste vodnih virov).

Razločili smo šest prostorsko-načrtovalskih enot:

1. Zgornji del porečja

Zajema povirni del Kokre s številnimi hudournišskimi pritoki in sega do konca doline pri Preddvoru. Značilna je razpršena poselitev v obliki samotnih kmetij in zaselkov in zelo nizka gostota poselitve (pod 10 prebivalcev/km²).

2. Pobočja Kriške gore, Storžiča in Srednjega vrha

Tu se nahajajo pomembni viri za oskrbo s pitno vodo (v Gozdu, nad Poveljami in Bašljem) ravninskega dela porečja in Srednje Gorenjske. Rečno mrežo večinoma sestavljajo povirni deli pritokov Rupovščice. Redka poseljena območja so v nižje ležečih delih na meji s termalnim pasom (naselje Gozd in posamezna počitniška bivališča), kjer se naklon površja nekoliko zmanjša.

3. Termalni pas

Termalni pas leži na prehodu hribovja v ravnino in ima najugodnejše podnebne razmere v porečju. Gre za območje z rastjo intenzitete rabe prostora in prebivalstva (več kot 180 prebivalcev/km²). Zgornji rob termalnega pasu sega do meje naselij, kot so Senično, Golnik, Goriče, Trstenik, Bašelj, Mače. Območje prečkajo številni potoki in svojem srednjem toku.

4. Konglomeratne terase in terciarno gričevje

Gre za ravninski del porečja z nižjimi nadmorskimi višinami in manjšimi nakloni od termalnega pasu. Ta prostorska enota je preprejena s spodnjimi deli pritokov Rupovščice. Mokrotni travniki so retencijske površine ter skupaj z zavarovanimi območji in gozdom (Udin boršt, Brdo) dejavnik nižje gostote poselitve (okrog 50 prebivalcev/km²) v sicer gručastih naseljih.

5. Območje ob Kokri od Preddvora do Milj

Enoto sestavljajo suburbana naselja ob glavni prometnici Kranj–Jezerško. Gre za ravninski svet vzdolž reke Kokre z visoko gostoto poselitve (več kot 500 prebivalcev/km²) in intenzivno rabo prostora (stanovanja, storitvena, obrtna in trgovska dejavnost).

6. Kranj s predmestnimi naselji

Je prostorska enota z največjo intenzivnostjo rabe prostora v porečju Kokre, največjim številom prebivalstva in gostoto poselitve (brez Kranja več kot 550 prebivalcev/km²). Glavne hidrografske značilnosti območja so spodnji tok Rupovščice in Kokre z njunim sotočjem ter podzemna voda na Kranjskem polju.

4.2 Analiza stanja in ocena stanja prostora

Pri analizi in oceni stanja prostora smo izpostavili prostorske probleme in procese, ki vplivajo na možnost doseganja trajnostnega prostorskega razvoja v porečju Kokre.

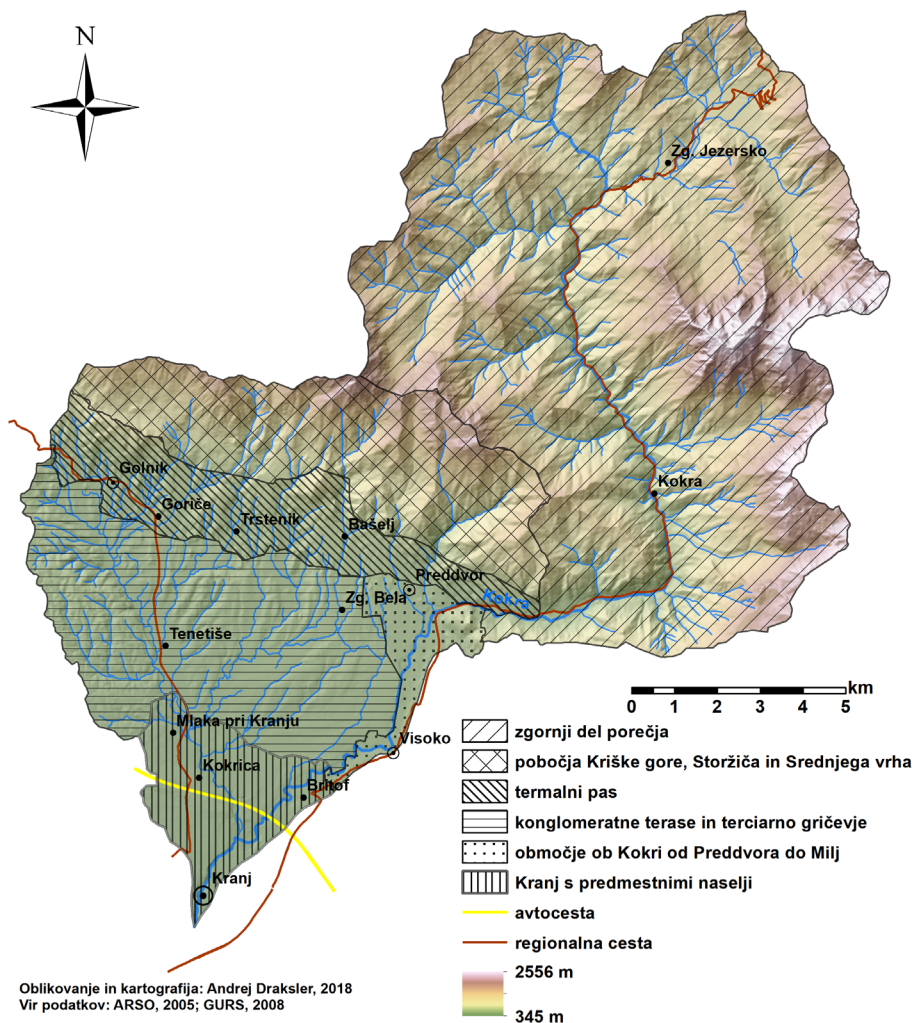
Suburbanizacija je eden glavnih procesov, ki je narekoval prostorski razvoj porečja Kokre v novejšem času. Pak (2005) postavlja začetek suburbanizacije v okolici Kranja v sedemdeseta in osemdeseta leta 20. stoletja, proces pa se nadaljuje še danes. Bivalna funkcija in druge dejavnosti se umikajo iz Kranja v obmestna naselja na njegovem ožjem vplivnem območju. Tam se povečuje število prebivalcev, površina pozidanih površin, spreminja se zaposlitvena struktura prebivalstva, povečuje se prometna obremenitev cest, ki povezujejo Kranj s sosednjimi naselji (Kerbler, Ravbar, 2013; Rus, Razpotnik Visković, Nared, 2013). Zgornjega dela porečja Kokre suburbanizacija, zaradi oddaljenosti, naravnogeografskih značilnosti in zmanjševanja tranzitnega pomena ceste, ni zajela. Prav tako ni opaznega povečanja dnevnega prometa, ki bi spremljal suburbanizacijo (Draksler, 2014; DRSC, 2018). Ohranja se avtohtona razpršena poselitev, sklenjeno zasnovano ohranja naselje Zgornje Jezerško. Cigale (2013) ugotavlja tudi zmanjšanje turističnega obiska na Jezerškem. Povsem drugačno dinamiko prostorskega razvoja doživlja t. i. termalni pas. Število prebivalcev se povečuje, naselja se širijo, prihaja do morfoloških in funkcijskih sprememb. Nekdaj kmetijska naselja postajajo spalna, prej zgoščena naselja z novogradnjami dobivajo razpršeno podobo, ponekod se pojavlja razpršena gradnja (Draksler, 2015).

Eden od prostorskih problemov v porečju je širjenje poselitve v nekaterih naseljih (Visoko, Hotemaže) na območjih poplavne nevarnosti. Na dveh tretjinah porečja je prisotna erozijska nevarnost. Intenzivnejši erozijski procesi se odvijajo v zgornjem delu porečja, deloma tudi v termalnem pasu. V Kranju je prisoten problem degradiranih urbanih območij. Nastala so po propadu nekaterih večjih industrijskih podjetij. Nekdanji industrijski kompleksi so opuščeni ali pa so se v njih delno umestile druge dejavnosti. Z okoljskega vidika je problematično nekdanje odlagališče odpadkov v Tenetišah, saj še ni sanirano (Kerbler, Ravbar, 2013). V raziskavi smo prav tako ugotovili, da prihaja do obremenjevanja vodnih virov porečja zaradi njihove pretirane rabe in onesnaževanja. Narašča poraba pitne vode (Ravbar, Kovačič, 2013), odvzem vode iz Kokre in pritokov za gospodarske potrebe (male hidroelektrarne, zasneževanje smučišča na Krvavcu) občasno povzroči, da je pretok pod ekološko sprejemljivo mejo. Porečje ima nepopolno

opremljenost s kanalizacijskim sistemom (do pred nekaj leti opremljenost nad 80 % le v Kranju, kjer je bila zgrajena tudi nova čistilna naprava), kar ogroža kakovost površinskih in podzemnih voda v porečju. Stanje na tem področju se izboljšuje, saj je bilo v okviru projekta GORKI zgrajeno kanalizacijsko omrežje v delu Kranja, na Kokrici, Hotemažah

Slika 2: Členitev porečja Kokre na prostorsko-načrtovalske enote.

Figure 2: Subdivision of the Kokra basin into smaller spatial planning units.



in Visokem, trenutno pa poteka gradnja še na Mlaki pri Kranju, v Britofu in Predosljah (Projekt GORKI ..., 2018). Prav tako je bilo v zadnjem obdobju zgrajeno kanalizacijsko omrežje na Zgornjem Jezerskem in nekaterih naseljih občine Preddvor. K večji zanesljivosti in učinkovitosti pri oskrbi s pitno vodo je pripomogel nov vodovod Bašelj–Kranj (Hanc, 2015). Površinske in podzemne vode so izpostavljene tudi kmetijskemu onesnaževanju in neprimernim posegom v vodotoke. V številnih naseljih so hiše locirane tik ob vodotokih, ki so na več mestih regulirani, struge pa obzidane. Pogosto je odlaganje odpadkov in različnega materiala v struge manjših vodotokov ali ob njih, vse to pa zmanjšuje retencijski potencial in povečuje poplavno ogroženost naselij. Splošno stanje vodnih virov v zgornjem delu porečja je boljše kot v drugih delih (Draksler, 2015).

4.3 Model prostorskega razvoja porečja Kokre

Glede na trenutne prostorske procese lahko pričakujemo, da se bo v zgornjem delu porečja ohranjala sedanja zasnova poselitve. Na ravninskih delih porečja vzdolž Kokre, na suburbanih območjih in v Kranju se nakazuje notranji razvoj naselij ali njihovo zaokroževanje. Tak razvoj je z vidika rabe prostora boljša rešitev od širjenja naselij na nove površine, ki ga lahko pričakujemo v naseljih termalnega pasu. Na tem območju se bo predvidoma nadaljevala gradnja enodružinskih hiš ter počitniških bivališč, ki se bodo delno preobrazala v stalna bivališča. V suburbanih naseljih ter lokalnih središčih (Golnik, Preddvor, Visoko) se bodo krepile središčne dejavnosti. Predvsem v termalnem pasu gre zaradi širjenja pozidave pričakovati povečanje erozijske ogroženosti in pritiskov na vodne vire, saj številna naselja, kljub napredku projekta GORKI in sorodnih projektov, še nimajo ustreznega upravljanja z odpadnimi vodami. Predvidoma se bo izboljšala oskrba s pitno vodo v spodnjem delu porečja z novim vodovodom Bašelj–Kranj ter zmanjšali pritiski na vodne vire po dokončanju kanalizacijskega sistema v večjih sklenjenih naseljih (Projekt GORKI ..., 2018), izboljšati pa bo treba upravljanje z odpadnimi vodami na območjih razpršene poselitve. Obremenitve zaradi rabe vode za gospodarske namene se bodo povečevale. Poplavna varnost se predvidoma ne bo spreminjala, saj je nadaljnja gradnja na območjih poplav prepovedana z veljavnimi prostorskimi akti občin (Draksler, 2015).

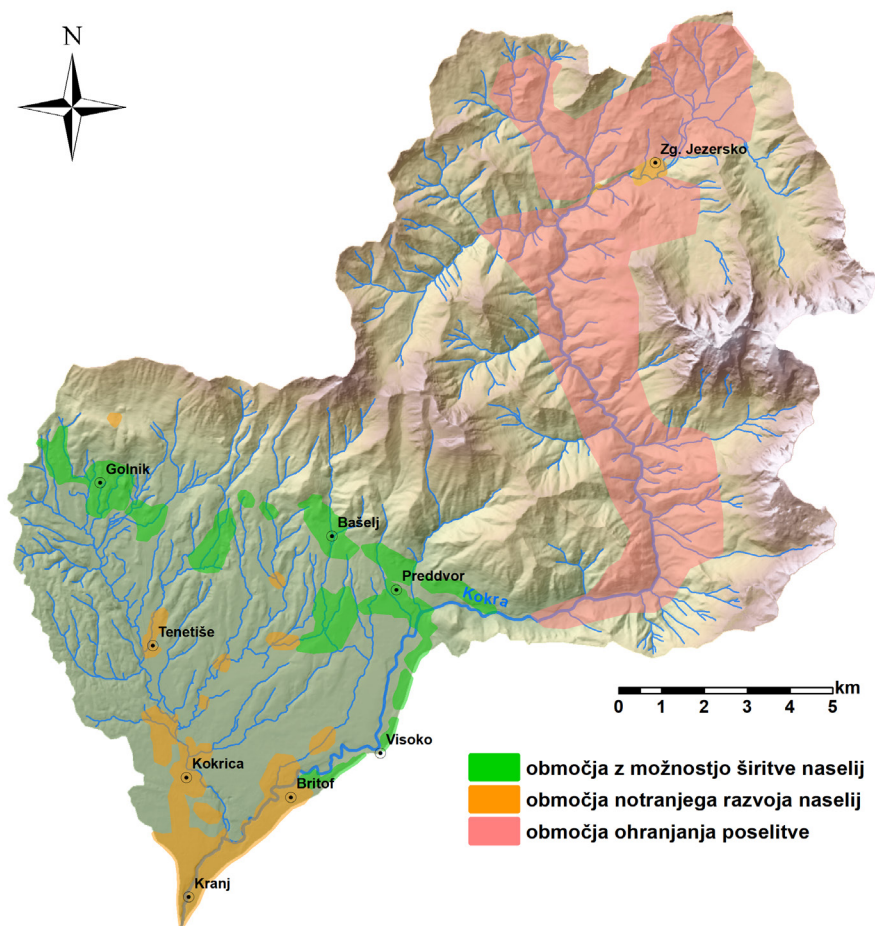
Predlagani model prostorskega razvoja porečja Kokre izhaja iz policentrične zasnove poselitvenega sistema s Kranjem kot glavnim prebivalstvenim in gospodarskim središčem z vplivnim območjem izven porečja Kokre. Dopolnjujejo ga naselja Golnik, Preddvor, Visoko in Zgornje Jezersko, ki imajo vlogo lokalnih zaposlitvenih središč tudi za okoliške prebivalce. Poselitev zgornjega dela porečja je redka, tamkajšnji prebivalci se delno zaposlujejo v Preddvoru. Gospodarski razvoj izhaja iz lokalnih naravnih virov: zlasti v zgornjem delu porečja je razvito gozdarstvo, kmetijstvo na samotnih kmetijah ter športnorekreacijski turizem. Naselja v porečju so kompaktna, med seboj so povezana z obstoječimi cestnimi povezavami. Naravno okolje je ohranjeno, vodni viri niso obremenjeni zaradi onesnaževanja ali prevelikega odvzema vode, vodotoki pa so sonaravno urejeni. Poselitev je odmaknjena od poplavno in erozijsko nevarnih ali plazljivih območij (Draksler, 2014).

4.4 Ključne usmeritve za nadaljnji trajnostni prostorski razvoj porečja Kokre

Ob upoštevanju geografskih značilnosti porečja Kokre, dosedanjega prostorskega razvoja in prostorskih teženj smo oblikovali usmeritve za nadaljnji trajnostni prostorski

Slika 3: Predlogi za razvoj poselitve v porečju Kokre.

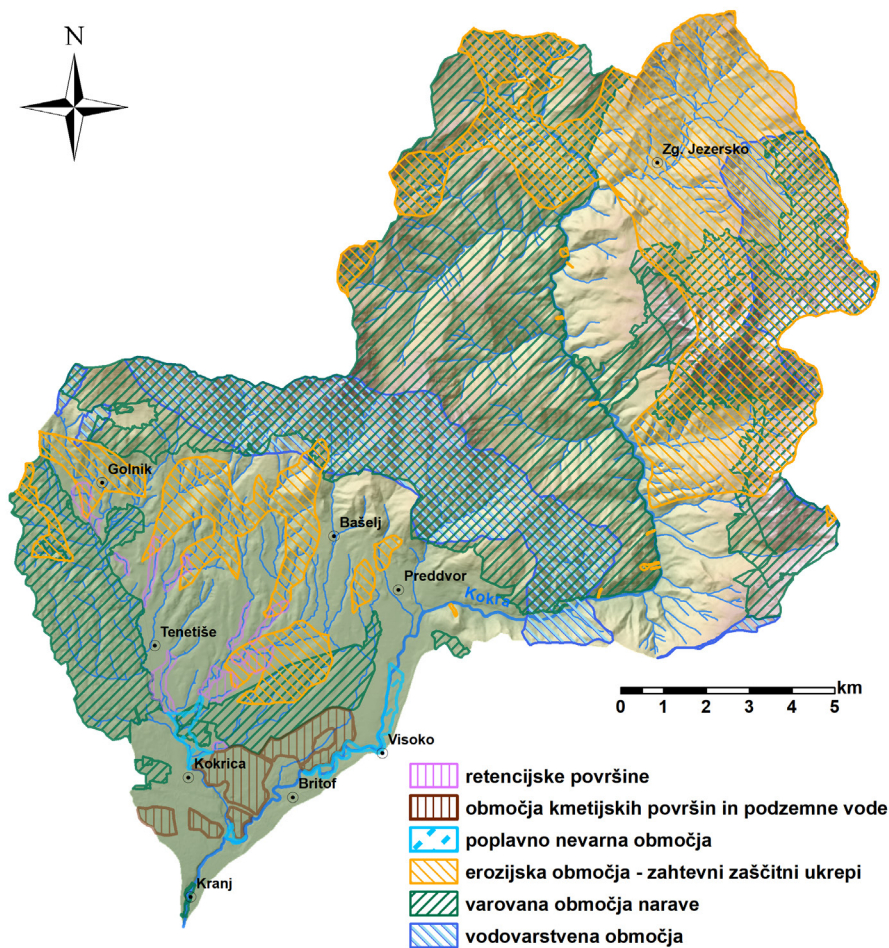
Figure 3: Proposed development of the settlement system in the Kokra Basin.



Oblikovanje in kartografija: Andrej Draksler, 2018
Vir podatkov: ARSO, 2005; GURS, 2008

razvoj. Pri tem smo v pomembni meri izhajali iz priporočil Strategije prostorskega razvoja Slovenije (2004) za razvoj prostorskih sistemov na regionalni in lokalni ravni, ki smo jih prilagodili specifičnim prostorskim izzivom v porečju Kokre. Predlagane usmeritve se nanašajo tudi na načrta upravljanja voda za obdobje 2016–2021 (Načrt upravljanja voda, 2018).

Slika 4: Možnosti nadaljnjega prostorskega razvoja v porečju Kokre – prostorske omejitve.
Figure 4: Possibilities for further spatial development in the Kokra Basin – spatial restrictions.



Oblikovanje in kartografija: Andrej Draksler, 2018
Vir podatkov: ARSO, 2005; GURS, 2008

Usmeritve s področja poselitve. Nova poselitev v porečju naj se umešča na že poseljena območja z zgoščeno poselitvijo. S tem se izboljša izkoristek prostora, zmanjša stroške gradnje in vzdrževanja infrastrukture, preprečuje razpršena gradnja in ohranja poseliteni vzorec. V Kranju in suburbanih območjih je zato smiselno zaokroževanje obstoječih naselij in njihov notranji razvoj. S tem se obenem ohranja kmetijska zemljišča na Kranjskem polju. V termalnem pasu ter vzdolž Kokre med Preddvorom in Miljami je možna širitev poselitve ob predpostavki, da se poselitev ne širi na erozijsko aktivna ali poplavna območja. Zaradi omejenih prostorskih možnosti je v sedanjem obsegu zlasti treba ohranjati poselitev zgornjega dela porečja (slika 3). Širitev tamkajšnjih naselij tudi ni upravičena zaradi oddaljenosti od središč, povečevanja pritiskov na vodne vire in večjih posegov v prostor, ki bi bili potrebni za zagotavljanje infrastrukturne opremljenosti novih poselitenih območij zgornjega dela porečja (slika 4).

Gospodarstvo naj se razvija na podlagi lokalnih naravnih virov. Lesne zaloge omogočajo ponoven razvoj gozdarstva in lesno-predelovalnih dejavnosti, vode pa so poleg pogonskega vira (žage) ali vira energije (hidroelektrarne) hkrati lahko turistični potencial. Prioritetnega pomena v porečju Kokre je sanacija degradiranih območij (v Kranju Savska cesta, Jelenčeva ulica, tovarna olj v Britofu), kamor se lahko s spremembo namenske rabe umesti nove dejavnosti, denimo trgovske ali druge storitvene dejavnosti, ki so v zadnjih letih v porastu. Povsod v porečju je nesprejemljivo širjenje naselij na poplavna, erozijska ali plazljiva območja.

Usmeritve s področja infrastrukture in krajine. Ohranjati je treba retencijsko vlogo mokrotnih travnikov ob pritokih Rupovščice (slika 4), ki so naravni zadrževalniki visokih voda in tako preprečujejo poplavljanje na območju Kranja. V porečju je potrebna nadaljnja celovita obravnava odpadnih voda (kanalizacijski sistem v gosteje poseljenem delu porečja, individualne čistilne naprave v zgornjem delu porečja), vzdrževanje in obnova vodovodnih sistemov ter ustrezno varovanje območij vodnih zajetij v naselju Gozd, nad Bašljem in Povljami. Pri rabi vode za gospodarske namene naj se zagotavlja zadostna količina vode za nemoteno ohranjanje vodnih habitatov in omogoči migracije rib po strugi, odvzeto vodo pa naj se čim hitreje vrne v vodotok. Nad odvzemom vode za male hidroelektrarne in napajanje ribnikov Brdo je zato potreben ustrezen nadzor.

5 SKLEP

V prispevku smo prikazali možen pristop za pripravo strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v okviru porečij, ki v primerjavi s pristopom, ki ga predvideva evropska Vodna direktiva, v večji meri upošteva širši prostorski vidik načrtovanja in ne zgolj okoljevarstvenega, vezanega na vodne vire. Z uporabljenim pristopom smo poskušali zajeti in upoštevati vse ključne prostorske elemente in dejavnike v porečju, kar je ključnega pomena za doseganje njegovega trajnostnega prostorskega razvoja.

Na podlagi teoretičnih izhodišč (porečje kot prostorska enota za prostorsko načrtovanje, upravljanje voda, izdelava strokovnih analiz v prostorskem načrtovanju) smo oblikovali pristop, ki združuje DPSIR model, uporabljen pri načrtovanju upravljanja voda, ter koncept strokovnih analiz v prostorskem načrtovanju. Pristop smo po zgledu Praha (2012)

zaradi celovitejše strokovne obravnave porečja (upoštevanja večjega števila prostorskih dejavnikov, a s poudarkom na ohranjanju vodnih virov), poimenovali »geografski pristop k izdelavi strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v porečjih«. Za testiranje pristopa smo izbrali porečje Kokre.

Prednost obravnave manjših porečij je v možnosti večje natančnosti in izvedljivosti predlaganih ukrepov in usmeritev za prihodnji razvoj v porečju, obenem pa se odražajo v širšem merilu, saj je tudi manjše porečje del povezanega sistema porečij različnih hierarhičnih stopenj.

V analizi stanja in oceni stanja porečja Kokre smo ugotovili različno dinamiko prostorskih procesov v posameznih delih porečja, zato je delitev na manjše prostorske enote nujni sestavni del pristopa. Največje prostorske spremembe z intenzivno prostorsko širitvijo naselij se namreč ne odvijajo na suburbanih območjih v okolici Kranja, temveč v enoti porečja, poimenovani Termalni pas.

Največji izziv predlaganega pristopa k načrtovanju trajnostnega prostorskega razvoja je njegova vključitev v normativni sistem prostorskega načrtovanja v Sloveniji. V primeru prostorskega načrtovanja v porečjih gre za regionalno raven načrtovanja. Kljub predvideni izdelavi regionalnih prostorskih planov za razvojne regije v Sloveniji (pa tudi zaradi njih), so potrebni inovativni pristopi, ki omogočajo strateški razvojni pogled na sklenjena problemska območja, ki združujejo večje število občin. Strateško prostorsko načrtovanje v okviru porečij zato vidimo kot priložnost za naslavljanje izzivov trajnostnega prostorskega razvoja, ki presegajo zmožnosti posameznih občin, pa tudi sklenjenih problemskih območij znotraj razvojnih regij. Pri tem je ključna interdisciplinarnost, široko družbeno, strokovno, medsektorsko soglasje in soglasje občin znotraj porečja, ki bi bile vključene v pripravo strategije ali strateškega prostorskega načrta porečja, občine pa bi prenesle dogovorjene usmeritve prostorskega razvoja porečja v lokalno okolje preko občinskih prostorskih načrtov in konkretnih prostorskih ukrepov oziroma ureditev. Da je to mogoče, dokazuje Svet za Vipavo, ki povezuje občine v porečju Vipave z namenom reševanja širših prostorskih izzivov.

Pri obravnavi prostorskih razvojnih vprašanj v porečjih mora sodelovati tudi širša zainteresirana javnost. Predlagani pristop je metodološko orodje za izdelavo strokovnih podlag, ki je osnova za vključevanje nosilcev urejanja prostora in javnosti v naslednjih fazah strateškega prostorskega načrtovanja v porečjih. Z upoštevanjem mnenj stroke, uporabnikov, upravljavcev, društev in posameznikov, ki poznajo dejansko stanje v prostoru, se lahko doseže višja stopnja konsenza s pripravljavci prostorskih dokumentov. V procesu načrtovanja ne sme manjkati ozaveščanje najširšega kroga prebivalcev, bodisi o pripravi posameznih ukrepov ali o širši problematiki prostorskega razvoja v porečju. Za doseganje trajnostnega prostorskega razvoja v prihodnosti morajo viziji trajnostnega prostorskega razvoja porečja slediti vsi prebivalci.

Predlagani pristop k izdelavi strokovnih podlag za prostorsko načrtovanje v porečjih je prenosljiv na druga večja ali manjša porečja. Uporabljeni pristop se namreč s preučitvijo prostorskih razmer in procesov prilagaja vsakemu porečju posebej.

Literatura in viri

- ARSO [Agencija Republike Slovenije za okolje]. 2005. Vodotoki Slovenije. Ljubljana. Arhiv Oddelka za geografijo.
- Bizjak, A., 2008. Vodno načrtovanje in načrti upravljanja voda. Dela, 30, str. 101–121.
- Brečko Grubar, V., 2006. Trajnostno sonaravno gospodarjenje z vodnimi viri v porečju Kamniške Bistrice. Doktorska disertacija. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 121 str.
- Bricelj, M., 2007. Geografske zasnove za upravljanje z vodnimi viri Slovenije. Doktorska disertacija. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 121 str.
- Carter, J. G., 2007. Spatial planning, water and the Water Framework Directive: insights from theory and practice. *The Geographical Journal*. 173, 4, str. 330–342. DOI: 10.1111/j.1475-4959.2007.00257.x.
- Cigale, D., 2013. Značilnosti turizma na Gorenjskem. V: Rogelj, B., Potočnik Slavič, I., Mrak, I. (ur.). *Gorenjska v obdobju globalizacije*. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, str. 239–252.
- Černe, A., 2004. Analiza pred planom. V: Prosen, A. (ur.). *Prostorske znanosti za 21. stoletje*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str. 31–40.
- Černe, A., 2005. Strokovne analize v prostorskem planiranju. Dela, 23, str. 115–166.
- Danube River Basin District Management Plan – Update 2015. 2015. Vienna, International Commission for the Protection of the Danube River, 164 str. URL: <https://www.icpdr.org/main/activities-projects/river-basin-management-plan-update-2015> (citirano 21. 10. 2018).
- Danube River Basin District Management Plan. 2009. Vienna, International Commission for the Protection of the Danube River, 91 str. URL: <http://www.icpdr.org/main/activities-projects/river-basin-management> (citirano 5. 2. 2014).
- Direktiva Evropskega parlamenta in sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. 2000. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060=20090625-&from-EN> (citirano 9. 5. 2014).
- Draksler, A., 2014. Usmeritve za prostorsko načrtovanje v porečju Kokre. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 111 str.
- Draksler, A., 2015. Aktualni prostorski procesi in problemi v porečju Kokre. *Geografski obzornik*, 62, 1, str. 26–34.
- DRSC. 2018. Podatki o prometu. Prometne obremenitve. Direkcija RS za ceste. URL: http://www.di.gov.si/si/delovna_podrocja_in_podatki/ceste_in_promet/podatki_o_prometu/ (citirano 27. 10. 2018).
- Frantar, P., 2011. Geoinformacijska zasnova preučevanja virov obremenjevanja porečij. Doktorska disertacija. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 278 str.
- Gardiner, J., Thompson, K., Newson, M., 1994. Integrated watershed/river catchment planning and management: a comparison of selected Canadian and United Kingdom experiences. *Journal of Environmental Planning and Management*, 37, 1, str. 53–67.

- GURS [Geodetska uprava Republike Slovenije]. 2008. Digitalni model nadmorskih višin 12,5 m. Ljubljana.
- Grindlay, A. L., Zamorano, M., Rodríguez, M. I., Molero, E., Urrea, M. A., 2011. Implementation of the European Water Framework Directive: Integration of hydrological and regional planning at the Segura River Basin, southeast Spain. *Land use policy*, 28, str. 242–256. DOI: 10.1016/j.landusepol.2010.06.005.
- Haggett, P., 1972. *Geography. A modern synthesis*. New York, Harper & Row, 483 str.
- Hanc, M., 2015. Magistralni vodovod Bašelj–Kranj že z vsemi dovoljenji. URL: <https://www.delo.si/novice/slovenija/magistralni-vodovod-baseljndash-kranj-ze-z-vsemi-dovoljenji.html> (citirano 27. 10. 2018).
- Howe, J., White, I., 2002. The potential implications of the European Union Water Framework Directive on domestic planning systems: a UK case study. *European Planning Studies*, 10, 8, str. 1027–1038.
- Jones, J., 1997. *Global hydrology. Processes, resources and environmental management*. Harlow, Longman, 399 str.
- Kerbler, B., Ravbar, N., 2013. Suburbanizacija na območju Udin boršta in potreba po spremljanju vplivov na okolje. V: Rogelj, B., Potočnik Slavič, I., Mrak, I. (ur.). *Gorenjska v obdobju globalizacije*. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, str. 141–150.
- Kidd, S., Shaw, D., 2007. Integrated water resource management and institutional integration: realising the potential of spatial planning in England. *The Geographical Journal*. 173, 4, str. 312–329.
- Kovač, N., Kušar, U., Rejec Brancelj, I. Kazalci okolja v Sloveniji. O kazalcih. ARSO. URL: <http://kazalci.arso.gov.si/?data=about> (citirano 13. 5. 2014).
- Kušar, S., 2006. The problem region as an instrument of regional policy: geographical perspectives. V: Henkel, R. (ur.): *South Eastern European countries on their way to Europe – geographical perspectives*. Leipzig, Leibniz-Institut Für Länderkunde (Heft 5), str. 111–124.
- Mather, A., Chapman, K., 1995. *Environmental resources*. Burnt Mill, Longman Scientific & Technical, 279 str.
- Melik, A., 1954. *Slovenija*. Knj. 1. Slovenski Alpski svet. Ljubljana, Slovenska matica, 606 str.
- Melik, A., 1959. *Slovenija*. Knj. 3. Posavska Slovenija. Ljubljana, Slovenska matica, 595 str.
- Meze, D., 1999. Sledi in učinki pleistocenske poledenitve v porečju Kokre. V: Roblek, T. (ur.). *Preddvor v času in prostoru*. Zbornik Občine Preddvor. Preddvor, Občina Preddvor, str. 33–41.
- Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2009–2015. 2011. Ministrstvo za okolje in prostor. 524 str. URL: http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/nuv_donava_jadran_2015/nacr_upravljanja_voda.pdf (citirano 15. 5. 2014).
- Načrt upravljanja voda. URL: http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/voda/nacr_upravljanja_voda/#c18223 (citirano 22. 2. 2018).
- Newson, M. D., 2009. *Land, water and development. Sustainable and adaptive management of rivers*. 3. izdaja. London, New York, Routledge, 441 str.

- Ogrin, D., Koželj, T., Vysoudil, M., 2016. Lokalno podnebje in topoklimatska karta Jezerškega Dela, 45, str. 5–30. DOI: 10.4312/dela.45.1.5-30.
- Ogrin, D., Vysoudil, M., Ogrin, M., 2013. Splošne podnebne razmere Gorenjske in lokalno podnebje Kamniške Bistrice. V: Rogelj, B., Potočnik Slavič, I., Mrak, I. (ur.). Gorenjska v obdobju glokalizacije. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, str. 9–30.
- Ožbot, A., 2015. Ko bo Vipava čista, bo spet zanimiva. URL: <http://www.primorske.si/Novice/Goriska/Ko-bo-Vipava-cista-bo-spet-zanimiva> (citirano 3. 8. 2017).
- Pak, M., 1995. Nekateri geografski elementi zgradbe Kranja. V: Sagadin, M. (ur.). Kranjski zbornik 1995. Kranj, Mestna občina Kranj, str. 149–159.
- Pak, M., 2005. Prostorski razvoj Kranja v 20. stoletju. V: Štefe, D. (ur.). Kranjski zbornik 2005. Kranj, Mestna občina Kranj, str. 115–121.
- Perko, D., 1987a. Pokrajina in raba tal v Pokoklju (primer računalniškega ugotavljanja povezanosti pokrajinskih prvin). Geografski zbornik, 27, str. 115–202.
- Perko, D., 1987b. Povezanost prebivalstva v Pokoklju z nadmorsko višino in naklonom. Geografski vestnik, 59, str. 91–99.
- Perko, D., 1992. Tipi pokrajin v porečju Kokre. Geografski obzornik, 39, 2, str. 25–32.
- Petts, G., Bravard, J., 1996. A drainage Basin Perspective. V: Petts, G., Amoros, C. (ur.). Fluvial hydrosystems. London, Chapman & Hall, 322 str.
- Plut, D., 1999. Regionalizacija Slovenije po sonaravnih kriterijih. Geografski vestnik, 71, str. 9–25.
- Polajnar, S., 1957. Dolina Kokre. Geografski vestnik, 27–28, str. 209–262.
- Poročilo o prostorskem razvoju. 2016. Miklavčič, T. (ur.). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Direktorat za prostor, graditev in stanovanja, 73 str.
- Prah, K., 2012. Opportunities for incorporating geography into the river basin management. Dela, 37, str. 27–43. DOI: 10.4312/dela.37.2.27-43.
- Projekt GORKI 2. sklop (2. faza) prinaša novo kanalizacijo na območja Mlake, Britofa in Predoselj. Gorenjski utrip. URL: <http://gorenjski-utrip.si/projekt-gorki-2-sklop-2-faza-prinasa-novo-kanalizacijo-na-obmocja-mlake-britofa-in-predoselj/> (citirano 27. 10. 2018).
- Prostorski planski inštrumenti – k učinkovitim rešitvam. 2002. Jančič, M. (ur.). Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Urad Republike Slovenije za prostorsko planiranje, 139 str.
- Ravbar, N., Kovačič, G., 2013. Viri pitne vode na Gorenjskem: pregled preskrbe z vodo in upravljanja. V: Rogelj, B., Potočnik Slavič, I., Mrak, I. (ur.). Gorenjska v obdobju glokalizacije. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, str. 165–174.
- Rebernik, D., 2013. Prostorska in funkcijska preobrazba mestnega središča ter analiza novih območij storitvenih dejavnosti v Kranju. V: Rogelj, B., Potočnik Slavič, I., Mrak, I. (ur.). Gorenjska v obdobju glokalizacije. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, str. 127–140.
- Rejec Brancelj, I., Dobnikar Tehovnik, M., Uhan, J., 2011. Bistvene značilnosti nacionalnega načrta upravljanja voda 2009–2015 in izvajanje vodne direktive. V: Volfand, J. (ur.). Upravljanje voda v Sloveniji. Celje, Fit media, str. 8–19.

- Rus, P., Razpotnik Visković, N., Nared, J., 2013. Upravljanje območij z vidika sprememb funkcijskih zaledij centralnih krajev: primer Gorenjske. V: Rogelj, B., Potočnik Slavič, I., Mrak, I. (ur.). Gorenjska v obdobju glokalizacije. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, str. 253–268.
- Siegel, H., Schabl, A., 2008. Integrated land use planning and river basin management (ILUP). URL: http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Ta-gungsbeitraege/2008_1_221.pdf (citirano 13. 10. 2016).
- Slavec, A., 1997. Geografija Kranja. Doktorska disertacija. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 374 str.
- Strategija prostorskega razvoja Slovenije. 2004. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Direktorat za prostor, Urad za prostorski razvoj, 75 str.
- SURS. Podatkovni portal SI-STAT. Demografsko in socialno področje. URL: https://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Dem_soc/Dem_soc.asp (citirano 27. 10. 2018).
- The DPSIR framework. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-059-6-sum/page002.html> (citirano 22. 2. 2018).
- Unwin, T., 1997. The place of geography. Harlow, Longman, 273 str.
- Vrišer, I., 1992. Uvod v geografijo. Ljubljana, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani, Oddelek za geografijo, 458 str.
- Woltjer, J., Al, N., 2007. Integrating Water Management and Spatial Planning. *Journal of the American Planning Association*, 73, 2, str. 211–222. DOI: 10.1080/01944360708976154.
- Zakon o vodah. 2002. Uradni list RS, 67, str. 7648–7680.
- Zakon o urejanju prostora (ZUreP-2). 2017. Uradni list RS, 61, str. 8255–8310.

CONCEPT OF THE GEOGRAPHICAL APPROACH TO PROFESSIONAL ANALYSIS IN RIVER BASIN SPATIAL PLANNING

Summary

Despite the approximation of water management and spatial planning in the Water Framework Directive, practice shows that water resources management takes place without due consideration of other elements in the area. Such an approach is problematic in terms of achieving sustainable spatial development of river basins, since it does not take into account that spatial processes in the river basin significantly affect the quantity and quality of water. In order to link the approaches of water management and spatial planning, we propose a more comprehensive – geographical approach to professional analysis relevant for river basin spatial planning. This approach combines the approach used in the water management planning (DPSIR model – analysis of driving forces, pressures, states, impacts and responses) and the professional analysis in spatial planning (analysis of the situation, assessment of the situation, development opportunities, spatial vision and variants of spatial development). In this way, we want, at the methodological level, to achieve a closer connection between the water management with a wider developmental aspect.

The basic elements of the proposed professional approach are description of the river basin basic geographical characteristics, subdivision of the river basin to smaller spatial planning units, regional analysis of the territory of the river basin, assessment of spatial processes and problems, design of territorial development models of the river basin, and guidelines proposal for development policies and measures.

The first element of the geographical approach to the development of expert bases for river basin spatial planning is the description of the geographical characteristics of the river basin. The description contains basic natural-geographical (relief, climate, waters, soils) and socio-geographical (population, economic structure, land use, infrastructure) characteristics of the river basin. Based on the results of the first step, the river basin can be divided into smaller territorial units due to internal diversity in the spatial structure and in order to achieve greater efficiency of the proposed development policies and measures. The key criteria for the subdivision of the river basin are its hydrographical characteristics and settlement structure. Regional analysis covers several sets of analysis to show the existing situation of spatial structures and draws attention to spatial problems. Then, possibilities of further spatial development and spatial restrictions are assessed. Spatial processes and problems defined in the analytical phase of the process are then evaluated from the viewpoint of achieving sustainable spatial development in the river basin

The territorial development models of the river basin are influenced by past, current and predicted spatial processes inside and outside the basin, as well as other factors, for example, social, institutional, legal and formal conditions and requirements (superior or strategic development documents – in case of river basin management, a water management plan and strategic spatial development documents on the national and regional level). Models show the desired spatial development in the river basin. The last element of the approach are guidelines for development policies and measures together with suggestions for action.

The proposed geographical approach is a methodological tool for the preparation of professional analysis, which is the starting point for the involvement of spatial planning stakeholders and the public in the subsequent phases of strategic spatial planning in the river basins. During the planning process, it is necessary to raise awareness of the population, either at suggesting development measures or at dealing with the wider spatial development issues in the river basin. In order to achieve sustainable spatial development in the future, the vision of the sustainable spatial development of the basin must be a consensus of all inhabitants.

The proposed geographical approach to professional analysis in river basin spatial planning is transferable to larger or smaller river basins by adapting to their spatial conditions and processes.

(Translated by the authors)

PRIMERJAVA 2D IN 3D GIS MODELA PRI NAČRTOVANJU ŠOLSKIH PREVOZOV

dr. Klemen Prah, dr. Tomaž Kramberger,
dr. Dejan Dragan

Fakulteta za logistiko, Univerza v Mariboru,
Mariborska cesta 7, SI-3000 Celje

e-pošta: klemen.prah@um.si, tomaz.kramberger@um.si, dejan.dragan@um.si



Izvirni znanstveni članek

COBISS 1.01

DOI: 10.4312/dela.49.61-74

Izvleček

V članku primerjamo dvodimenzionalni (2D) in tridimenzionalni (3D) model usmerjanja šolskih vozil na primeru občine Laško z vidika dolžine prepeljanih kilometrov in porabljenega potovalnega časa. Pri 3D modelu je cestna mreža položena preko digitalnega modela višin 12,5 metrov, kar daje modelu večjo podobnost z realnostjo. Za uspešno rešitev je v obeh modelih potrebnih 23 kombijev. V 3D modelu je dolžina vseh opravljenih poti za 45,58 kilometrov večja kot v 2D modelu, skupni potovalni čas pa daljši za 1 uro in 14 minut. Ugotovljena razlika je pomembna pri odločanju za izbiro enega ali drugega modela pri reševanju problemov usmerjanja šolskih vozil.

Gljučne besede: geografski informacijski sistemi, problem usmerjanja šolskih vozil, dvodimenzionalni model transportne mreže, tridimenzionalni model transportne mreže, občina Laško

COMPARISON OF 2D AND 3D GIS MODEL FOR SCHOOL VEHICLES ROUTING

Abstract

In the article we compare the two-dimensional (2D) and the three-dimensional (3D) model of school vehicles routing on the example of the Laško municipality. We compare both models in terms of the length of kilometres travelled and the travel time spent. In the 3D model, the road network is laid over a digital model of elevation cell size 12.5 times 12.5 meters, which gives the model more resemblance to reality. For a successful solution, 23 vans are needed in each model. In the 3D model, the length of all routes is 45.58 kilometres higher than in the 2D model, while the total travel time is longer for 1 hour and 14 minutes. The difference found is important when deciding on the choice of one or another model in solving problems of school vehicles routing.

Keywords: geographic information systems, school-bus routing problem, two-dimensional model of transportation network, three-dimensional model of transportation network, Laško municipality

I UVOD

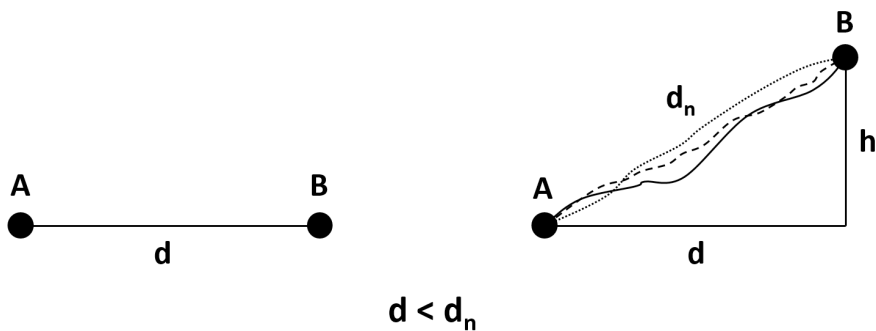
Načrtovanje usmerjanja šolskih vozil je pomembno vsaj s treh vidikov: ekonomskega, okoljskega in socialnega. Številne šole in občine se soočajo z velikimi finančnimi stroški, ki so povezani s šolskimi prevozi. Ti mnogokrat niso optimalno urejeni. Postajališča niso optimalno razporejena in poti niso optimalno izpeljane, zaradi česar nastajajo dodatni kilometri, ki terjajo več vozil. Vse to vpliva na povečane količine izpušnih plinov, eventualno pa tudi na daljši potovalni čas, ki ga učenci prebijejo v vozilih.

Pri optimizaciji šolskih prevozov si lahko pomagamo z geografskimi informacijskimi sistemi (GIS-i). Uporaba GIS sistemov je v raziskavah še vedno prevladujoča v dvodimenzionalni (2D) obliki (Heywood, Cornelius, Carver, 2011) in takšno smo tudi uporabili pri dosedanjih optimizacijah šolskih prevozov (Dragan, Kramberger, Lipičnik, 2011; Dragan in sod., 2011). Pri 2D GIS-ih je transportna mreža, v našem primeru ceste s postajališči, postavljena v ravnino, zaradi česar se pri optimizaciji poti ne upošteva razgibanosti reliefa. Ker pa je relief pomemben dejavnik, ki vpliva na dostopnost, na dolžino poti, na značilnosti vožnje vozila, kot so hitrost, poraba goriva, emisije ipd., ga je nedvomno smiselno vključiti v optimizacijo poti. Takšen model bi bil tridimenzionalen (3D) in ga v primerjavi z 2D modelom obravnavamo kot bolj realnega.

Cilj raziskave je primerjati 2D in 3D model usmerjanja šolskih vozil z vidika dolžine prepeljanih kilometrov in porabljenega potovalnega časa, pri čemer se osredotočamo na občino Laško. Pri tem upoštevamo postajališča, ki so bila določena že v eni od prejšnjih raziskav (Dragan, Kramberger, Lipičnik, 2011). V kolikor so razlike glede prepeljanih kilometrov in potovalnega časa med obema modeloma občutne, je pri nadaljnjih projektih usmerjanja šolskih vozil smiselno izbrati 3D model, ki bolj realistično obravnava pokrajino.

Namreč, v 3D okolju pot med dvema točkama (A in B) ne poteka več v ravnini, zaradi česar je pot daljša ($d < d_n$) (slika 1). Predpostavljamo torej, da 3D model usmerjanja šolskih vozil v primerjavi z 2D modelom poda rešitev, kjer je skupna dolžina prepeljanih

Slika 1: Obravnavanje poti med dvema istima točkama A in B v ravnini in v 3D prostoru.
Figure 1: Path between two same points A and B in a plane and 3D space.



poti večja, skupni potovalni čas pa daljši. Ocenjujemo, da je razlika v obeh rešitvah s stališča ekonomike občutna, če znaša vsaj 3–5 %. Kot namreč kažejo raziskave (npr. Yun 2012; Wood in sod., 2014), že majhen odstotek povečanja naklona posameznih cest poveča ne le število prevoženih kilometrov, pač pa zlasti skupno povprečno porabo goriva vozil. Ta se namreč pri povečanih naklonih cest (npr. za od 4 % do 8 %) v povprečju skoraj podvoji glede na ceste z neznatnim oz. ničelnim naklonom.

V nadaljevanju je članek organiziran na sledeč način. V poglavju 2 so predstavljene dosedanje raziskave usmerjanja šolskih vozil, predvsem razvoj, ki je vodil do reševanja problema s 3D modelom. V poglavju 3 je predstavljena metodologija raziskovanja, ta pa je v naši raziskavi povezana pretežno z GIS-i. V poglavju 4 na kratko predstavimo tiste značilnosti občine Laško, ki lahko vplivajo na značilnosti transporta. V poglavju 5 uporabimo in testiramo oba modela (2D in 3D model) na primeru občine Laško ter primerjamo rezultate, v poglavju 6 pa podamo nekaj zaključkov.

2 DOSEDANJE RAZISKAVE

Obstajajo številni znanstveni članki, ki obravnavajo optimizacijo šolskih prevozov. V enem izmed prvih sta Newton in Thomas (Newton, Thomas, 1974) predstavila model, ki minimizira dvoje – skupni čas, potreben za dokončanje vseh poti, in število poti, potrebnih za servisiranje vseh postajališč, povezanih s šolo.

Tradicionalni problem usmerjanja vozil, angleško imenovan *Vehicle Routing Problem* (VRP) stremi h generiranju učinkovitih poti za množico vozil z namenom dostave tovora iz zbirnih centrov (t. i. depojev) ali zbiranja tovora v slednjih za množico strank (Laporte, 1992). Kasneje so bile razvite številne različice začetnega problema, ki vsebujejo različne omejitve. Ena od teh različic je problem usmerjanja vozil s časovnimi okni, angleško *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) (Cordeau in sod., 2000). Ta problem imenujemo z drugim izrazom Problem usmerjanja šolskih vozil, angleško *School Bus Routing Problem* (SBRP). Njegov namen je načrtovati učinkovite urnike za množico šolskih vozil, pri čemer je potrebno učence prepeljati v šolo in iz nje ter pri tem zadostiti različnim omejitvam, kot so maksimalna kapaciteta vozila, maksimalni potovalni čas učenca ter časovne omejitve šole (Park, Kim, 2010). Problem usmerjanja šolskih vozil je možno reševati s petimi koraki: priprava podatkov, določitev avtobusnih postajališč, določitev avtobusnih poti, prilagoditev šolskega zvonca in časovni načrt voženj (Desrosiers in sod., 1986b). Kasneje so bile razvite številne različice Problema usmerjanja šolskih vozil.

Že sredi devetdesetih let prejšnjega stoletja je Pollitt s sodelavci (Pollitt, 1995; Eklund, Kirkby, Pollitt, 1996) razvil pristop usmerjanja vozil, ki temelji na 3D prostorskem informacijskem sistemu. Pristop, ki uporablja ravninsko transportno mrežo, upošteva vrednosti dolžine cestnih segmentov v 3D prostoru, pridobljene na osnovi digitalnega modela višin. Vendar pa so pomanjkljivosti ravninskega modela, kot je na primer nezmožnost križanja dveh povezav brez prisotnosti vozlišča, spodbudile zanimanje za razvoj modela neravninske transportne mreže (Fischer, 2004), ki pa je bil še vedno implementiran v 2D prostoru. Nadaljnji korak je bil narejen, ko je skupina avtorjev (Zhu, Li, Tor, 2008)

razvila model neravninskega transportnega omrežja v 3D prostoru, ki izboljšuje sposobnost prikaza zapletene transportne strukture ter zagotavlja vključitev večdimenzionalnih podatkov neposredno v model. Po našem mnenju bi prišel takšen model posebej do izraza v urbani regiji, kjer je prisotnih veliko nadvozov in podvozov in kjer morajo potujoči zaradi visokih zgradb opravljati precejšen delež poti pri premiku iz visokega nadstropja v pritličje in obratno.

Naša raziskava je posebna v tem, da primerjamo ravninska 2D in 3D modela usmerjanja šolskih vozil. Zanima nas predvsem razlika med obema modeloma glede skupne dolžine vseh prepeljanih poti in posledično skupnega potovalnega časa.

3 METODE DELA

Pri delu smo si pomagali z računalniškim programom ArcGIS for Desktop, različico 10.2.2 in s programsko razširitvijo Network Analyst (ESRI, 2014). Slednja zagotavlja orodja za mrežne prostorske analize, s katerimi lahko rešujemo kompleksne probleme usmerjanja.

V našem primeru sta 2D model in 3D model transportne mreže ravninska in sta postavljena v ravninski koordinatni sistem D48/GK. Cestna mreža pri obeh modelih je predstavljena z vektorskim podatkovnim slojem in je bila pridobljena od podjetja NAVTEQ (NAVTEQ, 2008a). Opremljena je s številnimi atributi, kot so na primer kategorija ceste, hitrostna kategorija, smer potovanja, prepoved za avtomobile, dolžina cestnega odseka, višinski nivo ceste ipd. Iz podatkovnega sloja za ceste smo ustvarili mrežno podatkovno bazo, sestavljeno iz povezav in vozlišč. Vsaka povezava ima določene lastnosti, opredeljene z vrednostmi posameznih atributov in je povezana z dvema vozliščema na svojih krajiščih.

Opredelili smo upoštevanje globalnih zavijanj, kar pomeni, da smo časovno ovrednotili vsako zavijanje, za kar se upošteva vsak prehod med dvema sosednjima povezavama. Pri tem smo uporabili privzete nastavitve (ESRI, 2014), pri katerih se najmanj časa (le 0,5 sekunde) porabi pri vožnji naravnost za prehod s sekundarne ceste na sekundarno cesto, pri čemer se prečka lokalna cesta. Največ časa, in sicer 15 sekund, pa se porabi pri polkrožnem zavoju z lokalne na sekundarno cesto.

Pri opredelitvi načina povezljivosti v modelu cestne mreže smo uporabili povezljivost krajišč, ki določa, da se lahko dve povezavi združita le na sovpadajočem krajišču. Na ta način smo preprečili zavijanja, ki v naravi niso možna, na primer direktni preskok z nadvoza na spodaj speljano cesto.

Za opredeljevanje višinskih nivojev smo v modelu uporabili višinski atribut. Namreč uporabljeni podatkovni sloj cest vsebuje atribut Z-Level, ki opredeljuje relativni vertikalni položaj vsakega vozlišča (NAVTEQ, 2008b). Uporablja se za opredelitev nadvozov in podvozov v omrežju. Enako kot zgoraj omenjen način povezljivosti tudi višinski atribut preprečuje tista zavijanja, ki v naravi niso možna.

V okviru modela smo uporabili posebne attribute, poimenovane Metri, Minute, Hierarhija in Enosmerna cesta. Z atributom Metri smo opredelili dolžino vsake cestne povezave v metrih. Z atributom Minute smo opredelili čas vožnje v minutah za vsako povezavo

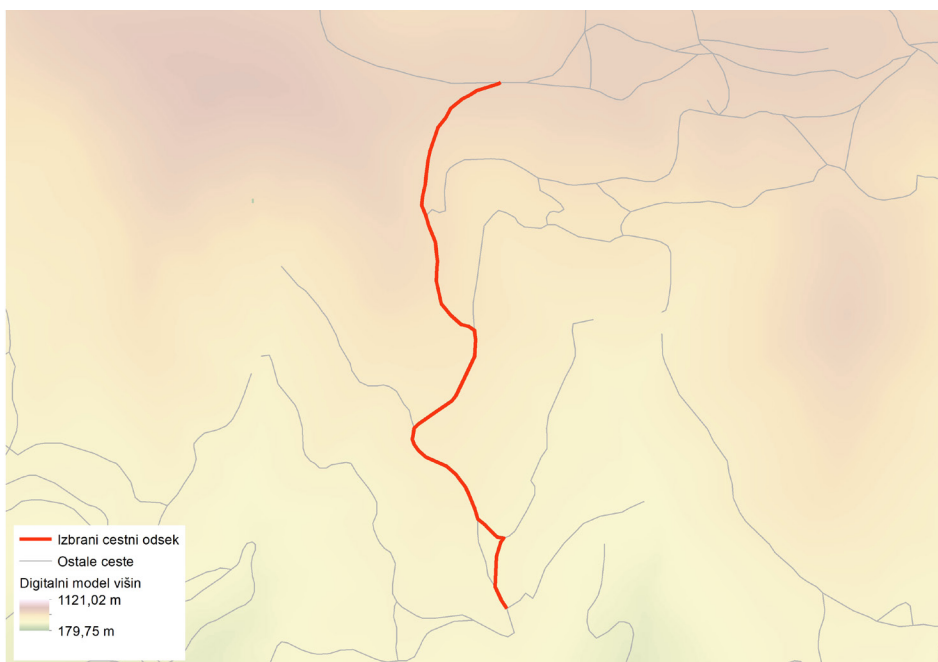
cestnega omrežja. Vrednosti za atribut Minute smo izpeljali iz dveh atributov, in sicer iz atributa Metri in iz atributa, ki opredeljuje povprečno hitrost vožnje za vsako cestno povezavo. Povprečno hitrost vožnje za vsako povezavo smo izpeljali iz obstoječega atributa Hitrostna kategorija, in sicer tako, da smo vzeli najmanjšo vrednost v razponu, ki ga opredeljuje posamezna hitrostna kategorija.

Z atributom Hierarhija smo na osnovi obstoječega atributa za kategorije cest oblikovali tri razrede: primarne ceste, sekundarne ceste in lokalne ceste. Kasneje smo pri transportni mrežni analizi uporabili ta atribut na način, da vgrajeni algoritem, ki rešuje problem usmerjanja množice vozil, teži v prvi vrsti k uporabi primarnih cest, nato sekundarnih in nazadnje lokalnih.

V našem primeru se 3D model razlikuje od 2D modela v tem, da je pri prvem podatkovni sloj cestnega omrežja položen preko digitalnega modela višin DMV 12.5 (GURS, 2018). Na ta način smo pridobili realnejše vrednosti za dolžino vseh cestnih odsekov, ki tvorijo model transportne mreže. Tako ima primer cestnega odseka, ki je prikazan na karti (slika 2) in je položen preko digitalnega modela višin, dolžino 1444,22 m, medtem ko v 2D modelu ta znaša le 1405,77 m. Razlika je torej 38,45 m. Graf prikazuje pogled na izbrani cestni odsek s strani, pri čemer vodoravna os prikazuje dolžino, navpična os pa nadmorsko višino (slika 3). Vidimo, da pot ni ravna črta, ampak krivulja, katere potek je odvisen od reliefa.

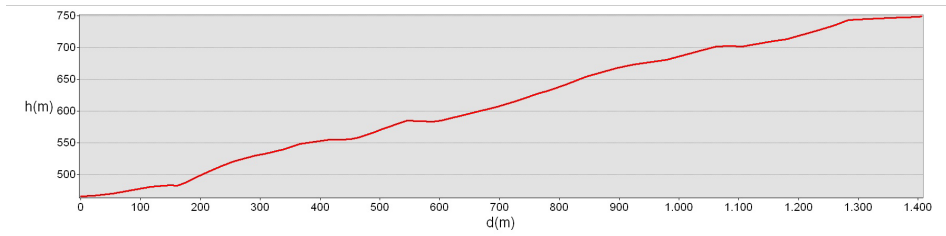
Slika 2: Izbrani cestni odsek položen preko digitalnega modela višin.

Figure 2: Selected road section placed on the digital height model.



Slika 3: Pogled na izbrani cestni odsek s strani, pri čemer vodoravna os prikazuje dolžino, navpična os pa nadmorsko višino odseka.

Figure 3: View at the selected road section from the side (horizontal axis shows length, vertical axis shows altitude of the section)



Reševanja problema usmerjanja šolskih vozil smo se lotili po zgoraj omenjenem zgledu SBRP. V okviru priprave podatkov smo ustvarili transportno mrežno podatkovno bazo, kot opisano zgoraj. Poleg tega smo pripravili podatke o učencih, šolah in vozilih. Podatki o učencih obsegajo domač naslov in ustrezno šolo. Podatki o šolah obsegajo informacijo o lokaciji šol, o najzgodnejšem in najkasnejšem možnem prihodu učencev v šolo ter o maksimalnem času, ki ga učenec lahko preživi v avtobusu. Podatki o vozilih obsegajo startno lokacijo vozila in vrsto vozila, pri čemer je najpomembnejša kapaciteta vozila.

Kot omenjeno, avtobusnih postajališč nismo določili na novo, ampak smo uporabili postajališča, določena v predhodni raziskavi (Dragan, Kramberger, Lipičnik, 2011). Ker je občina Laško pretežno ruralna, bi morda celo pričakovali, da bodo vozila pobirala učence kar na njihovih domovih (Park, Kim, 2010), vendar bi to pomenilo daljše poti vozil in daljše potovalne čase ter posledično višje finančne stroške. Določitev poti vozil temelji na zgoraj omenjenem problemu VRPTW (Desrosiers in sod., 1986a), ki je nadgradnja problema trgovskega potnika (Lawler in sod., 1985).

Prilagoditev šolskega zvonca pomeni določitev začetka in konca pouka. Ker se v raziskavi osredotočamo le na prevoz učencev v šolo, je pomemben le čas začetka pouka. Časovni načrt voženj predstavlja končno rešitev problema. Za vsako vozilo dobimo natančen startni in končni čas ter zaporedje poti.

V raziskavi je problem usmerjanja šolskih vozil v obeh modelih – 2D in 3D – zasnovan enako. To pomeni, da so podatki o učencih, šolah, vozilih, avtobusnih postajališčih in začetku pouka enaki v obeh modelih. Razlika je le v tem, da je v 3D modelu transportno omrežje postavljeno v tridimenzionalni prostor, ki ga ponazarja digitalni model višin DMV 12.5.

Namen primerjave obeh modelov je ponuditi informacijo, v kolikšni meri se razlikujejo rezultati izvedenega postopka usmerjanja šolskih vozil med obema modeloma. 3D model smatramo kot realnejši, 2D model pa kot enostavnejši za pripravo in za uporabo in s tem lažje dostopen uporabnikom. S ponujenimi informacijami se bodo organizatorji šolskih prevozov morebiti lažje odločili za uporabo enega od modelov. Lažje bodo presodili, ali je smiselno vložiti več truda in časa (pridobitev in priprava podatkov DMV, uporaba GIS orodij za tridimenzionalne mrežne analize) za realnejšo rešitev, ali pa se zadovoljiti z nekoliko enostavnejšo, vendar še vedno dobro rešitvijo v 2D modelu.

4 PREDSTAVITEV OBRAVNAVANEGA OBMOČJA

V raziskavi se osredotočamo na občino Laško, ki spada v Posavsko hribovje. Zanj je značilna močna razčlenjenost površja z dolinami in grapami (Hrvatina, 2001). S 198 km² površine in približno 13.300 prebivalci spada občina med srednje velike slovenske občine. Gostota prebivalstva znaša 67 prebivalcev na km², kar je le 65,5 % slovenskega povprečja (Laško – Slovenske regije in občine v številkah, 2014).

Najnižja točka v občini se nahaja na 190 metrih, najvišja pa na 984 metrih nadmorske višine (GURS, 2018). V dolini ob spodnjem toku reke Savinje je osrednji kraj Laško, gručasto mestno naselje. Za višje predele v občini so značilna razložena naselja in samotne domačije (Hrvatina, 2001).

Učenci v občini Laško obiskujejo 11 šol. Od tega sta šoli Primoža Trubarja v Laškem in Antona Aškercarja v Rimskih Toplicah matični šoli, ostale pa so podružnične. Najnižje ležeča šola v občini je na nadmorski višini 215 metrov – to je podružnična šola v Zidanem mostu, najvišje ležeča pa na 570 metrov – podružnična šola Šentrupert. Štiri šole v občini Laško, ki se nahajajo v dolini Savinje, ležijo na nadmorski višini do 300 metrov, tri šole med 300 in 400 metrov, dve šoli med 400 in 500 metrov ter dve šoli nad 500 metrov.

Zaradi reliefne razčlenjenosti je Posavsko hribovje težko prehodno (Hrvatina, 2001). Občina Laško ima eno najbolj razvejanih občinskih cestnih omrežij v državi, saj pripada na prebivalca občine kar 30 m cest, slovensko povprečje pa je 7 m (Kovač, 2006). Veliko število naselij, razgibanost območja občine, konfiguracija terena, slaba poseljenost, veliko število posameznih cestnih odsekov, nezadosten nivo vzdrževanja in slaba kvaliteta gradnje imajo za posledico slabšanje stanja občinske cestne infrastrukture (Salobir, 2005). JP Komunala Laško izvaja redno letno in zimsko vzdrževanje lokalnih cest, kjer se odvija organiziran prevoz otrok v šolo (Salobir, 2005).

5 APLIKACIJA PREDLAGANIH MODELOV

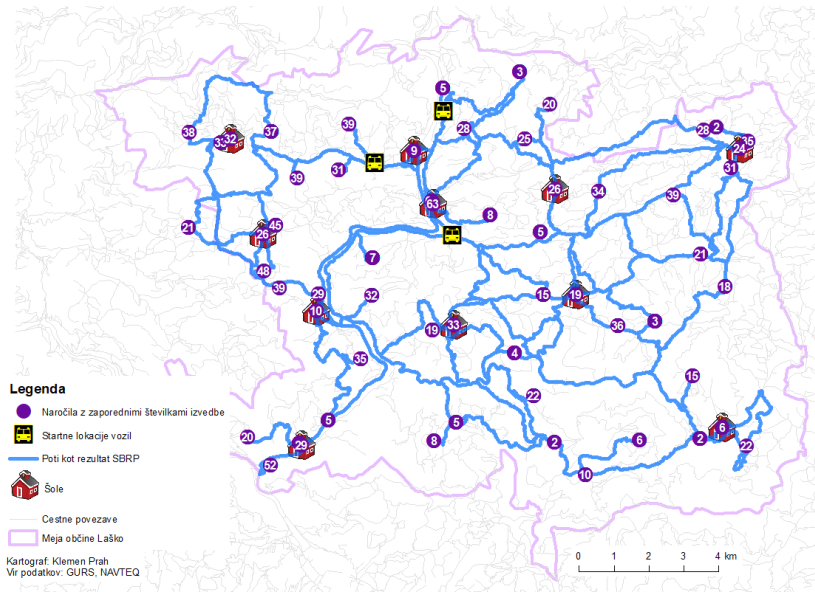
V raziskavo smo zajeli tistih 554 učencev, za katere smo s strani Občine Laško dobili podatke, da se v šolo vozijo s šolskim prevozom. Učenci so razpršeni po vsej občini, od tega jih 19 živi na nadmorski višini med 600 in 715 metri. Postavili smo časovni okvir, da lahko učenci prispejo v šolo najbolj zgodaj ob 6. uri in 40 minut, najkasneje pa ob 8. uri in 10 minut. Učenec lahko preživi v vozilu maksimalno 60 minut.

Načrtovali smo, da vse učence vozijo v šolo kombiji, pri čemer lahko vsak kombi pelje največ osem učencev naenkrat. Kombiji začnejo voziti s treh različnih lokacij, kjer so parkirani. Za vkrcanje oziroma izkrcanje enega učenca v vozilo oziroma iz vozila smo predvideli 8 sekund časa.

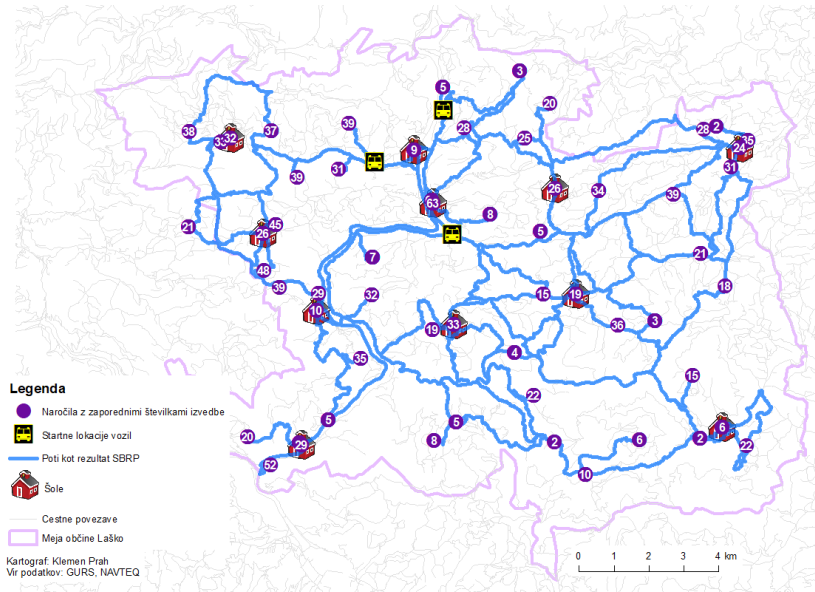
Dolžina vseh cest v občini Laško znaša v 2D modelu 960,54 kilometrov, v 3D modelu pa 970,88 kilometrov. V slednjem modelu je torej dolžina cest večja za 10,34 kilometrov oziroma za 1,07 %.

Za uspešno rešitev problema usmerjanja šolskih vozil v občini Laško je potrebnih 23 kombijev. Rešitev v 2D modelu (slika 4) nam da rezultat za skupno prepotovano razdaljo vseh poti 1349,59 kilometrov, za kar je potrebnih 41 ur in 37 minut potovalnega časa. Rešitev v

Slika 4: Prikaz rešitve problema usmerjanja šolskih vozil, dobljene v 2D modelu.
Figure 4: Solution of the problem of routing school vehicles as obtained by 2D model.



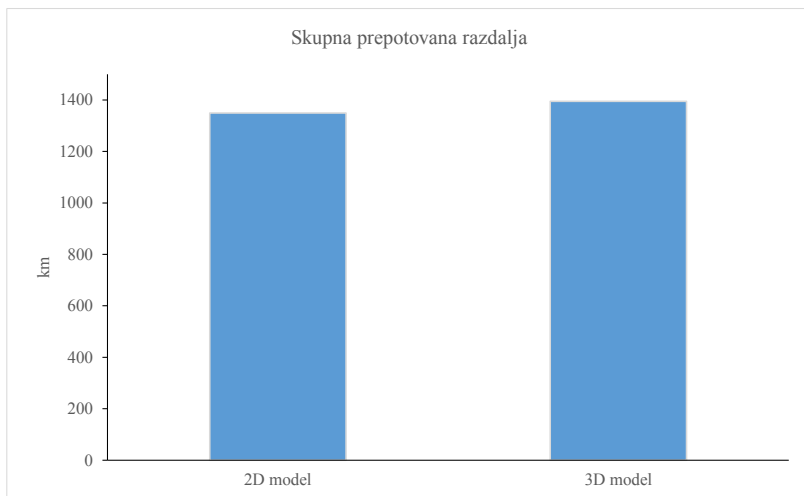
Slika 5: Prikaz rešitve problema usmerjanja šolskih vozil, dobljene v 3D modelu.
Figure 5: Solution of the problem of routing school vehicles as obtained by 3D model.



3D modelu (slika 5) pa nam da rezultat za skupno prepotovano razdaljo vseh poti 1395,17 kilometrov, za kar je potrebnih 42 ur in 51 minut potovalnega časa. V 3D modelu potrebujemo torej za rešitev istega problema usmerjanja šolskih vozil 1 uro in 14 minut več časa (slika 7) oziroma znaša prepotovana razdalja vseh poti za 45,58 kilometrov več (slika 6).

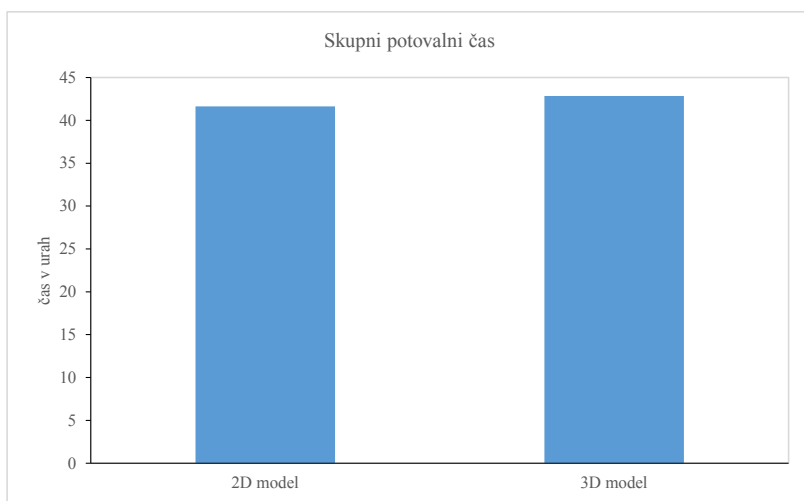
Slika 6: Primerjava skupne prepotovane razdalje v 2D in 3D modelu.

Figure 6: Comparison of total travel distance in 2D and 3D models.



Slika 7: Primerjava skupnega potovalnega časa v 2D in 3D modelu.

Figure 7: Comparison of total travel time in 2D and 3D models.



6 ZAKLJUČEK

V članku smo primerjali reševanje problema usmerjanja šolskih vozil v občini Laško z 2D in 3D modelom. V 3D modelu je cestna mreža položena preko digitalnega modela višin, kar daje modelu večjo podobnost z realnim svetom. V 3D modelu je dolžina vseh opravljenih poti za 45,58 kilometrov oziroma 3,27 % večja kot v 2D modelu. Temu ustrezno je v 3D modelu daljši skupni potovalni čas, in sicer za 1 uro in 14 minut oziroma za 2,9 %. Razlika med 2D in 3D modelom ni tolikšna, da bi morali pri 3D modelu uvesti dodatni kombi.

Razliko med obema rešitvama lahko ocenimo tudi s finančnega vidika, pri čemer je treba upoštevati, da se višina stroška na kilometer prevožene razdalje s šolskim kombijem razlikuje od primera do primera oziroma od občine do občine. Vzemimo, da stane 1 prevožen kilometer s kombijem, ki ima kapaciteto 8+1 potnikov, 3 EUR (vključno z dddv) (Stopar, 2017). Potemtakem nanese dodatnih 45,58 kilometrov 136,74 EUR stroškov na dan. V enem mesecu to pomeni 2.734,8 EUR, v enem letu pa 27.348 EUR stroškov. S finančnega vidika je torej razlika med obema rešitvama (2D in 3D) pomembna. Ta razlika postane še bolj občutna, če upoštevamo dejstvo, da se že pri rahlo povečanih naklonih cest (3D primer) poraba goriva v povprečju občutno poveča ali celo podvoji glede na ceste z neznatnim oz. ničelnim naklonom (2D primer).

Na kakšen način bi bilo smiselno nadaljevati z raziskavo oz. jo nadgraditi? Ker pride 3D model posebej do izraza na reliefno razgibanih območjih, ga smatramo za pomembnejšega pri načrtovanju šolskih prevozov v reliefno razgibanih občinah. Menimo pa, da bi bilo smiselno narediti primerjavo med 2D in 3D modelom tudi v kateri izmed ravninskih ali mestnih občin.

V članku omenjamo, da je možno problem usmerjanja šolskih vozil reševati celovito po principu SBPRP, ki sestoji iz petih podproblemov. Menimo, da bi bilo smiselno 3D pristop uvesti pri vseh podproblemih, kjer je to možno. Še posebej pa bi bilo smiselno na osnovi 3D prostora določili optimalne lokacije postajališč.

Korak naprej bi pomenila tudi uporaba neravninskega 3D modela transportne mreže, saj bi ta še izpopolnil prikaz transportne strukture ter omogočil vključitev večdimenzionalnih podatkov neposredno v model. Vendar menimo, da je neravninski model pomembnejši na urbanih območjih, kjer je veliko nadvozov in podvozov ter visokih zgradb, pri katerih predstavlja znaten del poti premik iz visokega nadstropja v pritličje in obratno.

Literatura in viri

- Cordeau, J. F., Desaulniers, G., Desrosiers, J., Solomon, M. M., Soumis, F., 2000. The VRP with time windows. *Les Cahiers du GERAD*, G-99-13. URL: <https://www.gerad.ca/en/papers/G-99-13> (citirano 26. 6. 2018).
- Desrosiers, J., Soumis, F., Desrochers, M., Sauvé, M., 1986a. Vehicle routing and scheduling with time windows. V: Gallo, G., Sandi, C. (ur.). *Netflow at Pisa. Mathematical Programming Studies*, 26, str. 249–251. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/BFb0121107.

- Desrosiers, J., Soumis, F., Desrochers, M., SauveGerad, M., 1986b. Methods for routing with time windows. *European Journal of Operational Research*, 23, str. 236–245. DOI: 10.1016/0377-2217(86)90243-2.
- Dragan, D., Kramberger, T., Lipičnik, M., 2011. Monte Carlo simulation-based approach to optimal bus stops allocation in the Municipality of Laško. *PROMET - Traffic&Transportation*, 23, str. 265–278. DOI: 10.7307/ptt.v23i4.129.
- Dragan, D., Kramberger, T., Lisec, A., Intihar, M., Prah, K., 2011. Using GIS for the optimization of pupils transportation: The case of Laško Municipality. *Logistics & sustainable transport*, 2, str. 35–51.
- Eklund, P., Kirkby, S., Pollitt, S., 1996. A dynamic multi-source Dijkstra's algorithm for vehicle routing. V: Narasimhan, V. L., Jain, L. C. (ur.). *Australian-New Zealand Conference on Intelligent Information Systems*. Adelaide, str. 329–333. DOI: 10.1109/ANZIIS.1996.573976.
- ESRI. 2014. ArcGIS for Desktop 10.2.2. Redlands, Environmental Systems Research Institute.
- Fischer, M., 2004. GIS and network analysis. *ERSA conference papers ersa03p433*, str. 391–408. URL: <https://ideas.repec.org/p/wiw/wiwsa/ersa03p433.html> (citirano 20. 5. 2018).
- GURS. Digitalni modeli višin. Geodetska uprava RS. URL: <http://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/topografski-in-kartografski-podatki/digitalni-model-visin/> (citirano 19. 5. 2018).
- Heywood, I., Cornelius, S., Carver, S., 2011. *An introduction to geographical information systems*. 4th ed. Harlow, Pearson, 446 str.
- Hrvatini, M., 2001. *Posavsko hribovje*. V: Perko, D., Orožen Adamič, M. (ur.). *Slovenija – pokrajine in ljudje*. Ljubljana, Mladinska knjiga, str. 178–190.
- Kovač, P., 2006. *Geografija občine Laško*. Diplomsko delo. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 185 str. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=17089&lang=slv&prip=dkum:19878:d5> (citirano 31. 7. 2018).
- Laporte, G., 1992. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, str. 345–358. DOI: 10.1016/0377-2217(92)90192-C.
- Laško – Slovenske regije in občine v številkah. 2014. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije. URL: <http://www.stat.si/obcine/sl/2014/Municip/Index/78> (citirano 1. 8. 2018).
- Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G., Shmoys, D. B. (ur.), 1985. *The traveling salesman problem*. Chichester, John Wiley & Sons, 463 str.
- NAVTEQ. 2008a. NAVTEQ NAVSTREETS street data. Chicago.
- NAVTEQ. 2008b. NAVTEQ's NAVSTREETS street data, reference manual v 3.0. Chicago.
- Newton, R. M., Thomas, W. H., 1974. Bus routing in a multi-school system. *Computers & Operations Research*, 1, str. 213–222. DOI: 10.1016/0305-0548(74)90047-1.
- Park, J., Kim, B. I., 2010. The school bus routing problem: A review. *European Journal of Operational Research*, 202, str. 311–319. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.05.017.

- Pollitt, S., 1995. A 3-D spatial information system for emergency routing in Okayama City. Diplomsko delo. Adelaide, Department of Computer Science, 81 str.
- Salobir, M., 2005. Vzdrževanje in investicijska dela na občinskih cestah. V: Klepec, J. (ur.). Bilten občine Laško. Občina Laško, str. 18–19.
- Stopar, A., 2017. Planiranje razvoza otrok na primeru osnovne šole Poljčane. Diplomsko delo. Celje, Fakulteta za logistiko, 103 str. URL: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=67184&lang=slv> (citirano 27. 7. 2018).
- Yun, J., 2012. Study of the driving cycle for heavy duty trucks in hilly terrain and its effect on calculated emissions, and comparison of two mobile emission models. PhD dissertation. University of Tennessee.
- Wood, E., Burton, E., Duran, A., Gonder, J., 2014. Contribution of road grade to the energy use of modern automobiles across large datasets of real-world drive cycles: Preprint. United States. DOI: 10.4271/2014-01-1789.
- Zhu, Q., Li, Y., Tor, Y. K., 2008. Multidimensional and dynamic vehicle emergency routing algorithm based on 3D GIS. V: Zlatanova, S., Li, J. (ur.). Geospatial Information Technology for Emergency Response. London, CRC Press. URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780203928813/chapters/10.4324%2F9780203928813-18> (citirano 19. 6. 2018).

COMPARISON OF 2D AND 3D GIS MODEL FOR SCHOOL VEHICLES ROUTING

Summary

The well-known school bus routing problem (SBRP) still represents a big challenge for the researchers in the field of operations research and optimal designing of the adequate school transport. The planning of the routing of school vehicles is important at least from three aspects: economic, environmental and social. Many schools and municipalities are faced with high financial costs associated with school transportation of pupils. The latter is often not optimally organized. The bus stops are not optimally settled, and the routes are not optimally designed, resulting in unnecessary additional kilometers that require more vehicles. All of this affects the increased exhaust emissions, and possibly also the longer travel time that pupils must spend traveling in the vehicles.

When optimizing a school transport, the geographic information systems (GISs) might be of essential matter. The use of GIS systems is still predominant in the two-dimensional (2D) form without taking into account the relief and terrain elevation. However, the relief is an important factor considering accessibility, the length of the journey, the characteristics of driving of the vehicles, such as speed, fuel consumption, and emissions, and so on. Thus, it is certainly worthwhile to include a third dimension in the vehicles' routing optimization. Such a model would be three-dimensional (3D) GIS model and might be treated as a more realistic compared to its 2D model counterpart.

The research reported in this paper is a logical continuation of our previous work regarding the optimization of school transport (Dragan, Kramberger, Lipičnik, 2011; Dragan et al., 2011). In the former research applied with the 2D GIS system, the transport network, the corresponding roads, and calculated bus stops, were positioned in the pure plane, which means that optimization of the routes did not take into account the diversity of the terrain.

The research aims to compare the 2D and 3D model of the routing of school vehicles in terms of the length of total kilometers traveled and the travel time spent, focusing on the municipality of Laško. We take into account the optimal allocation of the bus stops, which were computed in one of our previous studies (Dragan, Kramberger, Lipičnik, 2011) by means of Monte Carlo simulation based optimization procedure. The main motive for the research was to verify whether there are any significant differences in total mileage and travel time between the 2D and 3D models. If this assumption would have been confirmed, it is logical to choose a 3D models instead of 2D models in the future projects related to the optimization of school transport, since they more realistically deal with the diverse landscape and hilly terrain. We, therefore, assume that the 3D model, compared to the 2D model, provides a solution where the total length of the traveled routes is greater and the total travel time is longer.

We estimate that the difference in both solutions is significant from the economic point of view if it takes at least 3 to 5%. Specifically, according to a research of some other authors (e. g., Yun 2012; Wood et al., 2014), a small percentage increase in the inclination of individual roads increases not only the number of kilometers traveled but in particular the overall average fuel consumption (FC) of vehicles. Namely, in these studies, it was shown that increased road slopes (e. g., by 4% to 8%), on average, cause almost doubled FC with respect to roads with only a slight or zero slope.

The research was conducted by means of the ArcGIS for Desktop, version 10.2.2 and the Network Analyst software extension (ESRI, 2014). The latter provides tools for spatial network analysis, which can solve complex routing problems. The road network for both models is represented by a Vector Data Layer and obtained from NAVTEQ (NAVTEQ, 2008a). It is equipped with a number of attributes such as road category, speed category, the direction of travel, road section length, altitude road level, etc. From the data layer for roads, we have created a network database consisting of links and nodes.

In order to define altitude levels, we have used a height attribute in the model. Namely, the used data road layer contains the Z-Level attribute, which defines the relative vertical position of each node (NAVTEQ, 2008b). It is used to define overpasses and underpasses in the network. With the attribute of Hierarchy, three classes have been developed based on the existing attribute for road categories: primary roads, secondary roads, and local roads. Later, in the transport network analysis, this attribute was used in such a way that the built-in algorithm that solves the problem of routing the vehicles is primarily aimed at the use of primary roads, then secondary and, finally, local ones.

In our case, the 3D model differs from the 2D model in that the first data layer of the road network is laid over the digital height model of elevation cell size 12.5 times 12.5 meters. In this way, we have obtained more realistic values for the length of all road

sections that form the transport network model. Consequently, the routes are not straight lines anymore, but the curves, for which the course depends on the relief.

The research has covered 554 pupils dispersed throughout the municipality, who were traveling to their schools by using school transport. For the successful solution of the problem of school vehicles' routing, 23 vans had been needed. The solution of the 2D model gives the result 1349.59 kilometers for a total distance traveled, which takes 41 hours and 37 minutes of travel time. Conversely, the solution of the 3D model gives the result 1395.17 kilometers for a total distance traveled, which takes 42 hours and 51 minutes of travel time. In the 3D model, we, therefore, need 1 hour and 14 minutes more time (2.9%), or the distance traveled by 45.58 kilometers (3.27%) more to solve the same problem.

The difference between the two solutions can also be assessed from a financial point of view representing the annual amount of EUR 27.348 more costs when a 3D solution is considered. This difference becomes even more significant if we take into account the fact that, at slightly increased road slopes (3D case), the fuel consumption is actually significantly bigger, i.e., maybe even doubled with respect to roads with a slight or zero slope (2D case).

(Translated by the authors)

RAZVOJ GEOGRAFIJE V SREDNJEM VEKU

dr. Darko Ogrin

Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 2, SI-1000 Ljubljana
e-pošta: darko.ogrin@ff.uni-lj.si



Strokovni članek

COBISS 1.04

DOI: 10.4312/dela.49.75-94

Izvleček

V prispevku je prikazana zgodovina geografije v srednjem veku s pomočjo spoznanj iz domače in tuje strokovne literature. Srednji vek ni enotno obdobje v razvoju geografije. Zgodnjega označuje na eni strani zaton antičnih tradicij v krščanskem delu Evrope, na drugi strani pa njihov prevzem in nadgradnja v islamskem svetu. V visokem srednjem veku so bila islamska spoznanja med osnovami za geografsko in kartografsko renesanso ter za razvoj v naslednjih stoletjih.

Ključne besede: zgodovina geografije, razvoj geografske misli, zgodnji srednji vek, visoki srednji vek, renesansa

DEVELOPMENT OF GEOGRAPHY IN THE MIDDLE AGES

Abstract

The paper presents the history of geography in the Middle Ages through the findings in Slovenian and foreign literature. The Middle Ages were not a uniform period as regards the development of geography. The Early Middle Ages were marked by the decline of Classical Antiquity traditions in the Christian part of Europe on the one hand, but on the other hand they were accepted and upgraded in the Islamic world. In the High Middle Ages, Islamic findings formed the basis for geographic and cartographic renaissance and for the development in the following centuries.

Key words: history of geography, development of geographic thought, Early Middle Ages, High Middle Ages, renaissance

I UVOD

Srednji vek je bil obdobje velikih sprememb. Temeljito se je spremenila politična slika sveta, stari imperiji so propadli, nastali so novi. Spremenile so se družbene in gospodarske razmere, še posebej v Evropi. Zgodovinsko se je začel s propadom zahodnega rimskega cesarstva konec 5. stoletja in je v Evropi trajal do konca 15. stoletja oziroma odkritja Amerike. Z vidika zgodovine geografije nekateri avtorji podaljšujejo srednji vek do industrijske revolucije sredi 18. stoletja (npr. Rana, 2008), kar sovпада s prvimi zametki moderne geografije. Druge členitve zgodovine geografije vključujejo v srednjeveške preglede geografske misli čas od propada zahodnega rimskega cesarstva do okoli leta 1400 (npr. Vresk, 1997), ko je začel razpadati arabski imperij, oziroma do velikih odkritij in odkritja Amerike (npr. Vrišer, 2002; Burke, 2016). Tedaj se je začelo obdobje velikih geografskih odkritij, ki je pomenilo izredno razširitev geografskega obzorja in razcvet geografskega znanja. Po Evropi sta se razširili kulturni gibanji humanizem in renesansa in v ospredje namesto boga postavili človeka in čutno dojemanje sveta. Zaradi podobnosti renesančne miselnosti z antično je v tem času naraslo zanimanje za antično kulturo in znanost, tudi za geografijo. Ker je znanje postajalo vse bolj cenjeno, sta humanizem in renesansa postavila tudi temelje znanstveni revoluciji.

Kot srednjeveški razvoj geografije obravnavamo v prispevku čas od konca 5. stoletja do odkritja Amerike leta 1492. Zaradi izjemnega pomena velikih geografskih odkritij za razvoj geografskega znanja in geografije kot znanstvene vede izdvajamo čas med koncem 15. in koncem 18. stoletja kot posebno obdobje v njeni zgodovini.

Pregled razvoja geografije v srednjem veku temelji na kombiniranju spoznanj iz strokovne literature. Med tujimi so osnovo predstavljala dela Martina in Jamesa (1993), Rane (2008), Holt-Jensena (2009) in Cresswella (2013), od domačih smo uporabili neobjavljen Ilešičev tipkopis (Ilešič, 1950), na katerem temelji tudi pregled zgodovine geografije v Vrišerjevem Uvodu v geografijo (Vrišer, 2002). Vsako od uporabljenih del na svoj način, s svojega zornega kota in družbenega konteksta, osvetljuje to oddaljeno obdobje geografske zgodovine. Opazno je, da so nekateri pregledi napisani izrazito (zahodno)evropocentrično, drugi, predvsem avtorji, ki ne izhajajo iz zahodnoevropskega ali angloameriškega prostora (npr. Rana, 2008), pa skušajo bolj uravnoteženo prikazati tudi geografske dosežke v neevropskih (nekrščanskih) deželah, kot na primer arabskih in kitajskih. Nekateri vključujejo tudi dosežke Normanov (npr. Holt-Jensen, 2009) in Rusov (Nikolić, 1977), ki so pogosto spregledani. Nekateri pregledi se bolj osredotočajo na razvoj družbene geografije (Burke, 2016), drugi so z vidika geografske stroke bolj celostno zasnovani (Martin, James, 1993; Rana, 2008). Prikaz v nadaljevanju je samo eden od možnih pogledov na razvoj geografije v srednjem veku, kjer sem na osnovi različnega gradiva poskušal narediti uravnoteženo sintezo različnih interpretacij razvoja geografije v srednjem veku v evropskem prostoru.

2 ZGODNJI SREDNJI VEK

Zgodnji srednji vek je čas od propada centralistično urejenega Rimskega imperija in vpadov barbarskih ljudstev do okoli leta 1100. Na družbeni, gospodarski in kulturni

Slika 1: Rekonstrukcija karte sveta Pomponija Mele (Millerjeva rekonstrukcija ..., 2018).
 Figure 1: Reconstruction of Pomponius Mela's world map (Millerjeva rekonstrukcija ..., 2018).



razvoj ter način mišljenja je imelo velik vpliv krščanstvo, ki so ga postopoma prevzeli tudi tako imenovani barbari. Za ta čas je značilna pozaba večine antičnih kulturnih in znanstvenih pogledov na svet in v geografiji njihova zamenjava z nekritičnimi kozmografijami (splošnimi opisi vesolja, vključno z Zemljo), ki so večinoma temeljile na svetih spisih. Potovanj in raziskovanj je bilo zaradi politične nestabilnosti zelo malo. Krščanstvo plovbe ni spodbujalo, saj starozavezno izročilo morju ni bilo naklonjeno, prav tako ne »narodom z morja« (Matvejević, 2008). Še največ so k poznavanju značilnosti posameznih dežel in narodov prispevala misijonarska potovanja zaradi širjenja krščanstva in romanja v svete kraje.

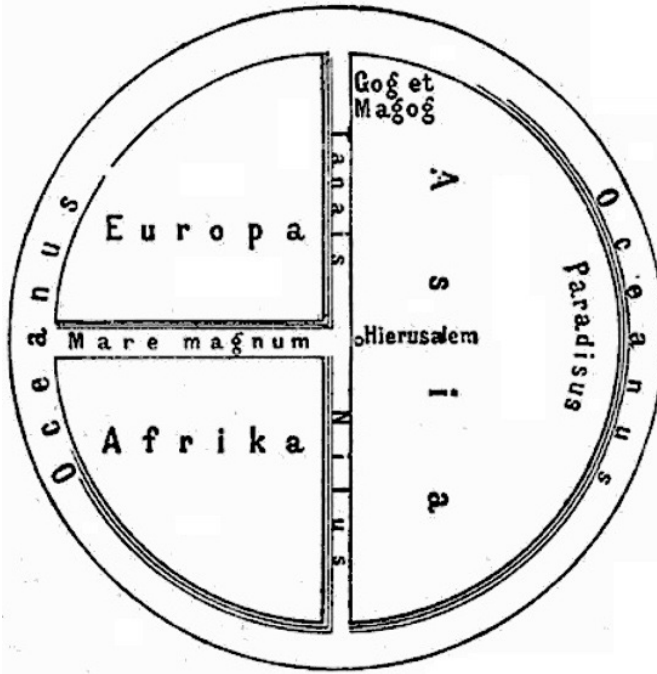
Največ intelektualnega življenja je bilo za samostanskimi zidovi. Učenjaki v samostanih niso raziskovali Zemlje s pomočjo neposrednih opazovanj ali eksperimentiranja, ampak so zbirali informacije iz različnih pisnih virov. Glavni cilj njihovega dela je bil uskladiti geografske ideje iz teh virov z zapisi v Svetem pismu, še posebej v Genezi. Vsebine, ki se niso skladale s Svetim pismom, so bile prezrte. V zgodnjem srednjem veku so imeli evropski učenjaki dostop le do latinskih virov, kasneje se jih je nekaj naučilo tudi arabsko. Grški viri, ki dotlej niso bili prevedeni, so bili nepoznani.

Le maloštevilni geografski viri so bili dostopni v latinščini. Martin in James (1993) omenjata **Pomponija Melo** (lat. Pomponius Mela, ? – ok. 45 n. št.) in **Plinija Starejšega** (lat. Gaius Plinius Maior, ok. 23/24–79 n. št.) iz 1. stol. n. št. Oba sta v svojih delih uporabljala tudi grške vire, tako da so imeli srednjeveški učenjaki posredno vpogled tudi v nekatera grška razmišljanja. Po mnenju Hriberška (2013) je Plinijevo Naravoslovje kot znanstveni priročnik doseglo v srednjem veku svoj vrhunec in zasenčilo vse druge antične enciklopedije. Bilo je del meniške kulture, vsi pomembnejši samostani so imeli vsaj eno knjigo. V skriptorijih so ga redno prepisovali, bilo je vir idej za ilustracije in iluminacije ter osnova za srednjeveške opise sveta (kozmozografije).

Srednjeveško intelektualno okolje ni bilo naklonjeno kritičnemu znanstvenemu delu. **Marcijan Kapela** (lat. Martianus Capella, 360–428) in **Ambrozij Teodozij Makrobij** (lat. Ambrosius Theodosius Macrobius, 370–430) sta sicer že v 5. stoletju prevedla Platona v latinščino, tako da so imeli učenjaki vpogled tudi v grška razmišljanja o okrogli obliki Zemlje, vendar je prevladalo naziranje o ravni Zemlji (Martin, James, 1993). Antične predstave o svetu so bile preoblikovane v skladu s cerkvenim naukom. Zemljo so razumeli kot okrogel disk z Jeruzalemom v središču. Tako razmišljanje ni bilo vzpodbudno za razvoj kartografije. Antična tradicija izdelovanja zemljevidov je zamrla. Risali so estetske, vendar nestrokovno izdelane karte. Najbolj razširjen tip zemljevida tistega časa so bile t. i. **orbis-terrarum karte** oziroma O–T (tudi T–O) karte. Upodabljanje Zemlje, dejansko Sredozemlja s sosednjimi območji, kot svetovnega kolesa je prevladovalo vse do renesanse. »O« pri tovrstnih zemljevidih ponazarja ocean, ki obliva kopno, »T« pa morje, kjer je deblo T-ja Sredozemsko morje, zgornji del pa Črno morje z reko Don in na drugi strani Nil. V središču karte in hkrati poseljenega sveta je bil Jeruzalem, na vzhodu, na skrajnem robu poseljenega sveta, pa raj (Rana, 2008; Burke, 2016).

Slika 2: Rekonstrukcija srednjeveške O–T karte sveta (O–T karta sveta, 2018).

Figure 2: Reconstruction of mediaeval T-and-O world map (O–T karta sveta, 2018).



2.1 Geografsko obzorje v zgodnjem srednjem veku

Za stare Grke je geografsko obzorje (meje sveta, ki so bile poznane vsaj učenjakom in trgovcem) segalo od reke Ind na vzhodu do Atlantskega oceana na zahodu, na severu od step severno od Črnega morja do Etiopije na jugu. Za Rimljane je obsegalo vsa območja, ki so bila pod njihovo upravo. Po propadu imperija se je močno skrčilo. Večinoma so bila ljudem znana le območja in kraji v njihovi neposredni okolici. Svet onstran teh meja je bil po njihovem prepričanju poseljen z različnimi prikaznimi, ki so si jih izmislili brez realnih osnov. V krščanskem delu Evrope je v tem času beseda geografija izginila iz besednjaka (Martin, James, 1993). Ni pa popolnoma izginilo geografsko udejstvovanje v najširšem pomenu te besede.

Krščanski del Evrope je imel v tem času pomanjkljive predstave o svetu z veliko nejasnostmi o obsegu sveta in razdaljami med kraji. Potovanje in plovba je bilo malo, tisti, ki so jih zanimala dimenzije geografskega obzorja in svet okoli njih, pa po mnenju Martina in Jamesa (1993) niso imeli teoretičnega znanja, s katerim bi si pomagali pri razlaganju naravnih in družbenih pojavov. Zato so tudi opisi teh potovanj brez večje strokovne teže. Tak je na primer zapis potovanja **sv. Silvije iz Akvitanije** (lat. S. Silvia Aquitana, 330–406), ki je po kopnem potovala v Jeruzalem, nato še v Egipt, Arabijo in

Mezopotamijo. Zaradi opisa romanja v svete dežele, ki je nastal okoli leta 385, lahko štejemo Silvijo iz Akvitanije za eno prvih geografinj. Ker je število romarjev v svete kraje naraščalo, so izdelovali vodnike, s katerimi so si romarji pomagali na poti. To so bili predhodniki današnjih turističnih vodnikov, ki so v širšem smislu tudi del geografske strokovne literature.

Zaradi muslimanske zasedbe so v 9. stoletju postajale ustaljene poti romarjev do Jeruzalema prek današnje Turčije in Sirije vse bolj težavne in nevarne. Zaradi preprečitve širjenja islamskega vpliva, gospodarskih razlogov in tudi povrnitve nadzora nad Sveto deželo je krščanska Evropa organizirala niz vojaških pohodov. Med letoma 1096 in 1270 je bilo osem križarskih pohodov; nekateri so potekali po kopnem, drugi po morju. Ob osmih uradnih pohodih so bile še številne druge vojaške akcije. Med eno od njih je leta 1365 ponovno pogorela Aleksandrijska knjižnica, ki je od ustanovitve v začetku 3. stol. pr. n. št. doživela več požarov in delnih uničenj, med katerimi je bilo izgubljenih veliko del grških učenjakov. Križarski pohodi so vplivali tako na krščanski kot muslimanski svet. V Evropo so prihajale informacije o deželah na vzhodu, tudi razburljive zgodbe o nenavadnih ljudeh in pokrajinah onstran evropskega geografskega obzorja. Križarji so prinašali razno blago in inovacije, ena od njih je bila na primer mlin na veter (Martin, James, 1993). Muslimani so kmalu po osvojitvi Bližnjega vzhoda zaprli trgovske poti, po katerih so beneški in genovski trgovci vzdrževali stike z vzhodom, ter postali monopolistični posredniki in s tem bogato služili.

Širok geografski horizont so imela v srednjem veku ljudstva na severu Evrope. Normani niso poznali ne arabskih, ne grških mislecev, prav tako niso vedeli, da so veljale njihove dežele že od antičnih časov naprej kot neprimerne za poselitev. Normanske raziskovalne, roparske in trgovske ekspedicije so segale daleč na vzhod v osrednji del današnje Rusije, čez Rusijo so prišli tudi do Bizanca, ki pa ga niso osvojili. Bili so pogumni pomorščaki, ki so se uspešno spopadali z Atlantikom. Ugodne podnebne in oceanografske razmere v tako imenovanem srednjeveškem toplem obdobju (Ogrin, 2005) so jim omogočile raziskovalne in kolonizacijske plovbe po severnem Atlantiku. Naselili so se na Irskem, kjer so prej že živeli Irci, kot prvi pa so poselili Islandijo, okoli leta 1000 so pripluli do Grenlandije in, kakor kaže, tudi do Severne Amerike. Sage o teh dosežkih so se prenašale z ustnim izročilom, zapisane so bile šele 100–200 let po teh dogodkih na od Evrope izolirani Islandiji. Da so bili Normani v Ameriki več kot 400 let pred Kolumbom, so dokazala arheološka raziskovanja na Novi Fundlandiji (Holt-Jensen, 2009). Normanška kolonizacija na Novi Fundlandiji se ni obdržala, prav tako ne na Grenlandiji, saj jo je po 500 letih prekinila mala ledena doba z zelo ostrim podnebjem in epidemijo kuge.

Medtem ko je učenost v srednjeveški Evropi stagnirala, je cvetela na Kitajskem. Med 2. stol. pr. n. št. in 15. stoletjem je bila Kitajska kulturno zelo napredna država. Znanost je bila visoko razvita, Kitajci so izstopali po uporabi strokovnih spoznanj v praktične namene. Tudi njihova geografija je bila precej bolj razvita od evropske. Kitajci so raziskali Evropo in Indijo davno preden so Evropejci spoznali vzhod. Izdelovali so precej natančne zemljevide svoje države in sosednjih dežel, pri čemer so uporabljali geografske koordinate, pri merjenju razdalj pa so si pomagali z metodo triangulacije. Ko je Marco Polo (1254–1322) opisal svojo pot in bivanje na Kitajskem, kjer je predstavil tudi visoko

raven kitajske učenosti, velik del Evrope njegovim zapisom ni verjel in jih je dojemal kot izmišljeno avanturo.

3 VZPON ISLAMSKIH ZNANSTVENIH SREDIŠČ IN VISOKI SREDNJI VEK

3.1 Geografija v islamskem svetu

Medtem ko je Evropa intelektualno stagnirala, je velik napredek naredil islamski svet, ki je postal most med antično civilizacijo in modernim svetom. Islamska civilizacija je cenila ustvarjanje in širjenje znanja, kar je pripeljalo do pomembnih znanstvenih dosežkov. Vzpon islamskih znanstvenih središč je pomenil konec recesije znanosti in ponovni razvoj znanstvenih pristopov v geografiji.

Islam je nastal v 7. stoletju na Arabskem polotoku. Nova religija je v kratkem času združila pred tem sovražna arabska plemena in nastal je velik imperij s civilizacijo, ki je bila med najnaprednejšimi v tistem času. Novo religijo je sprejel skoraj ves tedanji arabski svet in postal enotna država še pred smrtjo ustanovitelja islama, preroka Mohameda leta 632. Mohameda so nasledili kalifi, ki so osvojili in islamizirali Sirijo, Iran, del osrednje Azije in Egipt, pozneje še Severno Afriko in večji del Španije (Svetovna zgodovina ..., 1976). Ob širitvi imperija v Sirijo, Perzijo in Baktrijo, antično pokrajino v osrednji Aziji med Hindukušem in zgornjim tokom Amu Darje, so prišli tudi v neposreden stik z grško kulturo, ki je tu še živela, in prevzeli njene dosežke.

Arabci v obdobju pred islamizacijo niso imeli razvite pisave, prav tako ne znanosti in umetnosti. Razvoj se je začel vzporedno z islamom. Znanje so iskali povsod, kjer so ga lahko dobili. Leta 762 je dinastija Abasidov ustanovila Bagdad, ki je za več kot 100 let postal intelektualno središče sveta. Ustanovljena je bila tudi univerza, ki je vabila učenjake z vsega sveta, da bi poučevali in pomagali arabskim učenjakom pri prevajanju grških, latinskih, perzijskih in sanskrtskih del v arabščino. Islamski svet je prevzel grške, rimske, perzijske in indijske geografske ideje ter na njihovi osnovi začel z lastnimi opazovanji in raziskovanji. Razvili so nove teorije in koncepte, napisali veliko knjig z različnih področij geografije in sorodnih ved ter razširili to znanje do dežel ob obalah Atlantika in Indijskega oceana.

Ustanovitev obsežnega imperija je omogočila združitev intelektualnih in znanstvenih tradicij različnih civilizacij, od vzhodnih do zahodnih. Razen Bagdada so postala pomembna intelektualna središča islamskega sveta še Jeruzalem, Kairo, Damask, Širaz v Perziji, Fez v Maroku, Timbuktu v Maliju in Toledo v Španiji. K razvoju geografskega znanja v velikem in raznolikem imperiju, ki je komuniciral po dobro razvitem cestnem omrežju kot dediščini Rimskega imperija, je veliko pripomogla tudi dobro razvita trgovina. Islamski trgovci so trgovali s številnimi deželami in prinašali informacije, s katerimi so dopolnjevali antična znanja, tudi Ptolemajeve zemljevide.

Prispevek islamskih učenjakov k razvoju geografije je zelo velik in sega na različna področja; od planetarne, fizične, družbene in regionalne geografije do kartografije.

Povzetek islamskega prispevka k napredku geografije je narejen po Rani (2008). Osnovna **planetarna in matematičnogeografska znanja** so prevzeli od starih Grkov, predvsem iz del Aristotela in Ptolemaja. Sprejeli in nadgradili so grška spoznanja o obliki in velikosti Zemlje. V zgodnjem obdobju so razlagali, da je Zemlja središče vesolja in okoli nje kroži sedem planetov. Vsak planet naj bi imel svojo sfero (nebo), zvezde pa naj bi sestavljale osmo, najvišjo sfero. Večkrat so izračunali obseg Zemlje, npr. **Al Batani** (858–929; Abū ‘Abd Allāh Muḥammad ibn Jābir ibn Sinān al-Raqqī al-Ḥarrānī aṣ-Šābi’ al-Battānī), ki je naračunal višjo vrednost kot Ptolemaj. Al Batani je zelo natančno določil nagnjenost ekliptične ravnine, dolžino letnih časov in Sončevega leta. Njegovo astronomsko in matematično znanje je bilo v renesančni Evropi zelo vplivno. Eratostenovo metodo izračuna obsega Zemlje je izpopolnil **Al Biruni** (973–1048; Abū Rayḥān Muḥammad ibn Aḥmad Al-Bīrūnī). Njegov izračun, 39.833 km (Eratosten: 39.672 km), je bil v zahodnem svetu izboljššan šele v 16. stoletju.

Dobro matematično znanje, vpeljava indijskih števil (danes jih poznamo kot arabske, saj so jih Arabci razširili po svetu) in števila 0 ter izpopolnjena trigonometrija so omogočili tudi lažje in natančnejše računanje dimenzij na Zemljinem površju. Niso pa Arabci bistveno nadgradili antičnega kartografskega znanja in tehnik izdelovanja zemljevidov. Pomorske in druge zemljevide so izdelovali s pomočjo valjnih (cilindričnih) projekcij. Verjetno najbolj poznan arabski kartografski izdelek je **Tabula Rogeriana**, zemljevid sveta, ki ga je leta 1154 izdelal **Al Idrisi** (1100–1165 ali 1166; Abū ‘abd Allāh Muḥammad Ibn Muḥammad Ibn ‘abd Allāh Ibn Idrīs Al-ḥammūdī Al-ḥasanī Al-idrīsī; latinizirano: Dreses) za Rogerja II., normanskega kralja Sicilije. Zemljevid je kar tri stoletja veljal za najbolj natančno karto sveta. Na njem je 2500 geografskih imen, prikazuje Evropo, Azijo in severni del Afrike, orientiran pa je tako, da je sever spodaj.

Slika 3: Al Idrisijeva Tabula Rogeriana (kartofilska zbirka: D. Ogrin).

Figure 3: Al-Idrisi's Tabula Rogeriana (cartophilic collection: D. Ogrin).



Na področju **fizične geografije** je arabska geografija zelo napredovala pri poznavanju geomorfoloških, oceanografskih in še posebej klimatoloških pojavov in procesov. **Ibn Sina** (okoli 980–1037; Abu Ali Husain ibn Abdullah Ibn-e Sina; latinizirano: Avicenna) je raziskoval preoblikovalne procese Zemljinega površja, erozijo in denudacijo. Postavil je tezo, da reke znižujejo gorovja in da so najvišji vrhovi zgrajeni iz erozijsko bolj odpornih kamnin. S fluvialnimi procesi in procesi odlaganja sedimentov se je na primeru Himalaje ukvarjal Al Biruni. Študiral je zaobljenost prodnikov in jo razlagal kot posledico rečnega transporta. Ugotovil je, da je gradivo, ki ga reke odložijo bližje gorovjem, bolj grobo od gradiva, ki ga odložijo dlje od povirnih delov.

Različni islamski učenjaki in pomorci so se ukvarjali s plimovanjem. Razlagali so ga z gravitacijskim delovanjem Sonca in Lune. Al Idrisi je popravil napačne predstave o Indijskem oceanu in Kaspijskem morju. Dokazoval je, da je Indijski ocean odprto morje, Kaspijsko morje pa jezero.

Največji napredek so naredili islamski učenjaki pri proučevanju podnebja. Razložili so periodičnost monsunske cirkulacije in vpeljali termin monsun (*mausim*). Indijski monsun je podrobno proučeval **Al Masudi** (888–957; Abu al-Hasan Ali ibn al-Husajn al-Masudi). **Al Balkhi** (850–934; Abu Zayd Ahmed ibn Sahl Balkhi) je leta 921 izdelal prvi klimatski atlas sveta (*Kitabul Ashkal*). Klimatske podatke zanj je zbral s pomočjo islamskih popotnikov in trgovcev. Leta 985 je **Al Maqdisi** (946–991; tudi Al Muqaddasi, El Mukaddasi; Muḥammad ibn Aḥmad Shams al-Dīn al-Maqdisī) svet razdelil na 14 podnebnih območij. Trdil je, da se podnebje spreminja z geografsko širino in tudi v smeri vzhod–zahod ter da so podnebne razlike med severno in južno poloblo posledica večjega deleža kopna na severni polobli.

Druženogeografske vsebine so prisotne predvsem v delih **Ibn Khalduna** (1332–1406; Abū Zayd ‘Abd ar-Raḥmān ibn Muḥammad ibn Khaldūn al-Ḥaḍramī), ki ga štejejo za predhodnika sodobnega zgodovinarja, sociologije, ekonomije in demografije. V delu *Muqaddimah* (Uvod) je opisal človeško družbo z več plati. Na znanstven način je poskušal razložiti tudi odnos med človekom in njegovim okoljem. Opiral se je na klimatski determinizem. Trdil je, da ima podnebje zelo velik vpliv na značaj ljudi, na barvo kože in značilnosti človeških bivališč.

Zelo velik je arabski prispevek k poznavanju sveta. Izstopajo dela Al Idrisija in Ibn Battute (1304–1378; ‘Abū ‘Abd al-Lāh Muḥammad ibn ‘Abd al-Lāh l-Lawātī ṭ-Ṭanḡī ibn Baṭūṭah). Al Idrisi je bil eden vodilnih učenjakov 12. stoletja, ki je deloval v Cordobi in govoril arabsko, perzijsko, latinsko, grško in špansko. Prepotoval je Španijo, Portugalsko, Francijo, Anglijo, Sicilijo, Maroko, Sirijo, Malo Azijo in tudi nekatere dežele v notranjosti Afrike. V knjigi *Kitab nuzhat al-mushtaq fi’l-khtiraq al-’afaq* (Knjiga prijetnih potovanj v oddaljene dežele), v literaturi je omenjena tudi kot **Al-Kitab al-Rujari** (Rogerjeva knjiga), je opisal svet v luči naravnih, gospodarskih in kulturnih razmer. Uporabil je antične in arabske vire, za Severno Evropo pa tudi informacije, ki jih je na Siciliji dobil od Normanov. Delo je geografska enciklopedija tedaj poznanege sveta, ki je na zahod segal do Atlantika, na vzhod do Japonske, na sever do Sibirije, na jug pa južno od ekvatorja v Afriki. Knjiga je bila prevedena v latinščino in bila zelo vplivna več stoletij.

Za enega največjih popotnikov vseh časov velja **Ibn Battuta**, ki je prepotoval večji del južne in osrednje Azije ter domnevno obiskal Kitajsko 60 let pred Marcom Polom. Prepotoval je saharski del Afrike, plul po Indijskem oceanu in ob vzhodni obali Afrike prišel do 10° južne geografske širine. Ugotovil je, da ob ekvatorju živijo številna ljudstva in tako ovrgel antično teorijo, da je ob ekvatorju prevroče, da bi lahko tam živeli ljudje. Poročilo o njegovem več kot 30-letnem potovanju po svetu je strnjeno v delu **Rihla (Popotovanje)**, natančen prevod knjige je *Poklon tistim, ki preudarjajo čudeže dežel in čudovitih potovanj* (slovenska izdaja oziroma izbor besedil: Ibn Battuta, 2016). Knjiga, ki jo je po zaključku potovanj po takratnem islamskem svetu in sosednjih deželah narekoval po spominu, predstavlja pomemben vir informacij o večjem delu sveta v srednjem veku. Motivi za Battutova potovanja so bili trije: romanje v sveto mesto Meka, želja po spoznavanju novih krajev in dežel ter neizpodbitna želja po znanju (Ibn Battuta, 2016, str. 16).

Slika 4: Dežele, ki jih je prepotoval Ibn Battuta (prirejeno po: Ibn Battuta, 2011; *Travels of Ibn Battuta, WorldMap, 2015*).

Figure 4: Countries travelled by Ibn Battuta (adapted from: Ibn Battuta, 2011; *Travels of Ibn Battuta, WorldMap, 2015*).



Čeprav je okoli leta 1400 začel islamski imperij razpadati in z njim tudi islamska znanstvena misel, je bilo delo islamskih učenjakov zelo pomembno za razvoj evropske znanosti in tudi geografije. Pri življenju so obdržali grške znanstvene dosežke, ki so z

njihovo pomočjo prišli v Evropo in postali ena od osnov renesanse. Arabski učenjaki so veliko prispevali k boljšemu poznavanju in razumevanju številnih fizično- in družbenogeografskih pojavov na Zemljinem površju in pripomogli k bolj realistični podobi sveta. Napisali so obsežna dela o tedaj poznanem svetu, ki so postala zelo pomemben vir informacij v času velikih geografskih odkritij.

3.2 Geografija v krščanskem delu Evrope v visokem srednjem veku

V visokem srednjem veku se je avtoriteta Cerkve v znanosti začela krhati. Zamajali so jo učenjaki, ki so zbrali dovolj poguma za soočanje znanstvenih argumentov z argumenti cerkvenih avtoritet. Trdili so, da če nam je Bog dal razum, ni nobenega razloga, da ga ne bi tudi uporabljali. Eden prvih, ki je trdil, da svet urejajo naravni zakoni in ne božja volja, je bil **Viljem iz Conchisa** (lat. Guillelmus de Conchis, fr. Guillaume de Conches; ok. 1090–ok. 1154). Njegovo delo *De philosophia mundi* sestavljajo štiri knjige, ki pokrivajo fiziko, astronomijo, geografijo, meteorologijo in medicino. Med drugim je avtor ideje, da se ozračje ogreva od površja in da oblaki nastanejo z ohlajanjem zraka.

Tudi znotraj cerkve so se začeli uveljavljati naprednejši znanstveni nazori. Angleški škof **Robert Grosseteste** (ok. 1175–1253), ki se je naučil arabščine in imel zato dostop do večjega števila virov kakor njegovi sodobniki, ki so obvladali samo latinščino, je zaslužen za negiranje antične trditve, da je vroči pas ob ekvatorju neprimeren za poselitev. Grosseteste je bil učitelj **Rogerja Bacona** (ok. 1214–1294), začetnika angleške znanosti, ki se je v svojem delu *Opus Majus (Glavno delo)* ukvarja tudi z geografijo. V glavnem je prevzemal antične poglede, nekatere tudi nekritično nadgradil, npr. o simetričnosti severne in južne poloble in do katere geografske dolžine sega Azija. Trdil je, da je Zemlja okrogla in da jo je možno objadrati (Ilešič, 1950). Njegova dela je papež prepovedal, sam pa je bil leta 1278 obsojen na dolgoletno ječo.

Glavna avtoriteta glede astronomskih znanj je bil v srednjem veku *Ptolemaj*. Njegovo delo *Megale Syntaxis* (v arabščini *Almagest, veliko delo o astronomiji*) je bilo iz arabščine prevedeno v latinščino leta 1175. Pod vplivom Almagesta je geocentrična razlaga vesolja obveljala za več stoletij.

V 12. stoletju so bila v latinščino prevedena tudi Aristotelova dela. Z njimi je prišel v Evropo koncept okoljskega determinizma. V srednjeveški miselnosti so se zelo uveljavile grške ideje o spreminjanju značilnosti poselitve z geografsko širino, tudi ideja, da so ljudje, ki živijo na meji poselitve v vročem pasu, temnopolti, če pa se preselijo v zmerno topli pas, pa sčasoma dobijo svetlo polt. Pri prevajanju in razlagi antičnih del o spreminjanju površja so v srednjem veku zelo poudarjali pomen naravnih katastrof, kot so potresi, poplave in vulkanski izbruhi, zanemarjali ali povsem izpustili so razlage spreminjanja površja s počasnimi in manj opaznimi procesi, kot sta rečna erozija in akumulacija gradiva (Martin, James, 1993).

Velikega pomena za razvoj znanosti in tudi geografije proti koncu srednjega veka sta bili kulturni gibanji **humanizem** in **renesansa**. Humanizem je kulturno-idejna smer, ki je v ospredje postavljala človeka in ne Boga, ki ga je poudarjal srednji vek. Začel

se je v mestih severne Italije in Flandrije, kjer so se oblikovale nove, merkantilistične oblike družbenih odnosov, ki so temeljili na trgovanju. Trgovali so predvsem z luksuznimi dobrinami, kot so svila in začimbe, in vzpostavili povezave med mesti, kot sta Amsterdam in Benetke, z Jugovzhodno Azijo. Nastal je močan družbeni razred trgovcev-meščanov, ki je razpolagal s kapitalom in bil pretežno neodvisen od cerkvenih struktur. Humanisti so se zgledovali po antiki, ki je prav tako poudarjala individualizem, senzualizem (čutno dojetanje sveta), esteticizem (poudarjanje lepote) in cenila znanje. Zelo se je povečalo zanimanje za kulturo starih Grkov in Rimljanov, ponovno je bila odkrita antična znanost, tudi zato, ker se je ohranila v islamskem svetu (Svetovna zgodovina, 1976).

Z vidika razvoja geografije sta pomembni leti 1410, ko so bile v latinščino prevedene kopije Ptolemajeve geografije, in 1450, ko je bila po ukazu papeža v latinščino prevedena Strabonova geografija. Znanje ter poznavanje sveta in vesolja, zaobjeto v teh delih, je bilo po Creswellu (2013) tudi eden od temeljev humanizma. Oba prevoda sta povečala zanimanje za geografijo, geografsko znanje pa je veliko pripomoglo k raziskovanju in izkoriščanju novih in manj poznanih ozemelj. Meščanstvo je geografska znanja potrebovalo za uspešno trgovanje, za spoznavanje dežel, s katerimi so trgovali, in obvladovanje kolonij, potrebovalo je izpopolnjena znanja o navigaciji in natančne zemljevide. Začele so nastajati izpopolnjene verzije Ptolemajevih kart, kasneje tudi karte z izboljšanimi kartografskimi projekcijami in koordinatnim sistemom. Pod vplivom Ptolemaja, ki je za del geografije štel tudi **horografijo**, to je opise in upodobitve (vključno s kartografskimi) krajev in mest, je renesansa vzpodbujala nastanek tudi tovrstnih del. Še pred tem, ob koncu 13. stoletja, so začeli nastajati tudi prvi **izolarji** (ital. isola – otok), dela, ki združujejo geografske, zgodovinske, kulturološke, kartografske, slikarske ipd. predstavitve otokov, ki so bili pomorcem v pomoč pri plovmi (Matvejevič, 2008).

Velik vpliv na geografska odkritja, ki so se začela v drugi polovici 15. stoletja, je imel francoski kardinal **Pierre d'Ailly** (1351–1420). Čeprav je uporabljal samo latinske vire, predstavlja njegova kozmografija *Tractatus de Imagine Mundi* (*Podoba sveta*) kakovosten zbirnik spoznanj o svetu v njegovem času. Bil je med prvimi, ki je v drugi izdaji knjige iz leta 1414 uporabil spoznanja iz latinskega prevoda Ptolemajeve geografije (izšel 1410), ko je izšla tudi prva izdaja *Imaga Mundi*. V delu povzema različna mnenja o možnosti življenja v vročem pasu, oporeka Ptolemajevemu stališču, da je Indijski ocean zaprto morje in se sklicuje na več poročil, ki trdijo, da ima Indijski ocean ob južnemu delu Afrike stik z Atlantikom. Te trditve so imele velik vpliv na portugalske geografe in pomorščake, ki so kmalu začeli iskati morsko pot v Indijo okoli Afrike, da bi se izognili islamskim ozemljem. D'Ailly je prevzel tudi zmoto o manjšem obsegu Zemlje in je bil med prvimi, ki je trdil, da je mogoče priti v Indijo s plovmbo proti zahodu, kar je vplivalo na Kolumbovo odločitev. Kozmografija *Tractatus de Imagine Mundi* je bila v 15. stoletju zelo popularno in razširjeno delo, tudi po zaslugi iznajdbe tiska sredi stoletja (Martin, James, 1993). V 15. stoletju je k boljšemu poznavanju sveta prispeval tudi papež Pij II. (Aeneas Silvius), ki je med leti 1458 in 1464 napisal knjigo o Evropi in Aziji.

Slika 5: Kardinal Pierre D'Ailly (kartofilska zbirka: D. Ogrin).
Figure 5: Cardinal Pierre D'Ailly (cartophilic collection: D. Ogrin).



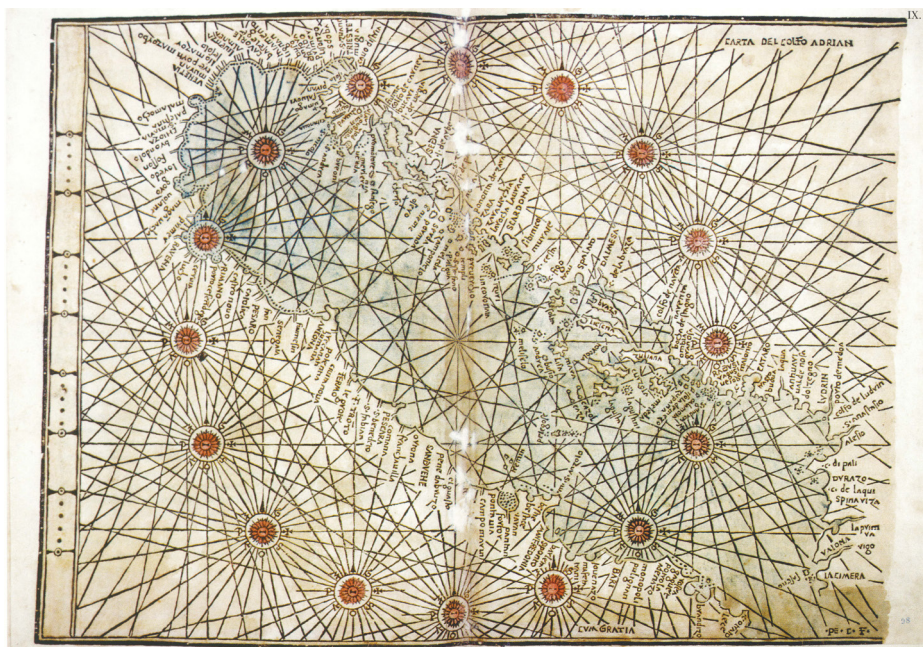
3.3 Napredek v navigaciji, kartografiji in poznavanju sveta

V visokem srednjem veku je prišlo do več izboljšav na področju navigacije in pomorstva. Nekatere od njih so izhajale z univerze v Palermu, kjer je s podporo normanskega kralja Sicilije Rogerja II. arabski geograf Al Idrisi med drugim poučeval tudi plovo po odprtem morju. Kot pripomoček pri orientaciji na morju so začeli uporabljati magnetni kompas. Prva omemba kompasa v krščanskem delu Evrope je s konca 12. stoletja, do 15. stoletja je prišel v splošno uporabo in postal nepogrešljiv pripomoček za plovo po odprtem morju. V tem času so izboljšali tudi astrolab, napravo za natančnejše določanje višine Severnice nad horizontom in s tem geografske širine.

Konec 14. stoletja je prišlo do opaznega napredka pri izdelavi kart. Za potrebe pomorstva so začeli izdelovati t. i. **portolane** (lat. *portus*, it. *porto* – pristanišče). Prvi so bili izdelani okoli leta 1300, v naslednjih stoletjih so postali nepogrešljiv del opreme kapitanov. V portolanih je bila namesto geografske koordinatne mreže vrisana mreža križajočih se linij, ki so izhajale iz več središč in kazale smer plovbe iz ključnih točk. Linije so sovpadale z 8 ali 16 smermi neba. Kot pomoč pri plovi so mornarji te linije uskladili s smermi neba na kompasu. Zaradi uporabe kompasa so začeli iz praktičnih razlogov karte risati tako, da je bil sever zgoraj (Matvejević, 2008).

Slika 6: Portolan Jadranskega morja izolskega kartografa in horografa Pietra Coppe (1469 ali 1470–1555 ali 1556) (Pietrus Coppus Fecit, 2001, str. 57).

Figure 6: Portolan chart of the Adriatic Sea by cartographer and chorograph Pietro Coppo of Izola (1469 or 1470–1555 or 1556) (Pietrus Coppus Fecit, 2001, p. 57).



Leta 1375 so na osnovi velikega števila portolanov izdelali zelo znano **Katalonsko karto sveta** (tudi Katalonski atlas). Na njej je prikazana tudi zahodna obala Afrike južno od Rta Bajador, ki ga evropski morjeplovci v tem času še niso dosegli. Prikazuje tudi Vzhodno in Jugovzhodno Azijo, osnova za ta prikaz so bila poročila Marca Pola. Katalonska karta sveta je prvi zemljevid, na katerem sta verodostojno prikazana Cejlon in Dekanski polotok.

V 14. stoletju je začelo prihajati do razkoraka med poznavanjem sveta in njegovim kartografskim upodabljanjem. Na eni strani so delovali učenjaki v samostanih, ki so informacije večinoma črpali iz literature, na drugi praktiki, ki so zemljevide izdelovali za trgovce in pomorščake, ki so bili hkrati odličen vir novih informacij o svetu. Sklepamo lahko, da praktični uporabniki geografskega znanja niso bili seznanjeni z razpravami, ki so potekale za samostanskimi zidovi, do učenjakov za njimi pa so zelo počasi prodirale novice o svetu. Do združitve znanstvenih in pomorskih del je po mnenju Matvejevića (2008) prišlo v Španiji v času velikih odkritij; primer je delo *Suma de geographia* Martina Hernándezza de Encisa iz leta 1519, v katerem v španščini poroča o odkritjih v Novem svetu.

Osrednja osebnost, ki je krščansko Evropo seznanila z deželami na Daljnem vzhodu, je bil **Marco Polo** (1254–1324). Družina Polo iz Benetk je bila ena od trgovskih družin, ki je kljub temu, da so bile poti proti vzhodu blokirane, vzdrževala stike s Kitajsko po poteh severneje od ozemelj pod nadzorom muslimanov. Teh poti so se ob trgovcih posluževali tudi misijonarji. Leta 1271, ko je bil Marco star 17 let, je šel z očetom in stricem na pot proti Kitajski. Brata Polo sta pred tem obiskala Kitajsko med letoma 1260 in 1269. Potovanje je trajalo štiri leta, družina Polo je na Kitajskem ostala 17 let. Marco je kot ambasador kitajskega dvora služboval v različnih kitajskih pokrajinah in ga zastopal v upravnih zadevah ter podrobno spoznal deželo in njeno kulturo. Leta 1292 je mongolski vladar Kitajske in večine Daljnega vzhoda dovolil družini Polo vrnitev v domovino, proti kateri so odpluli s 14 ladjami in 600 možmi iz južne Kitajske, preko Jave, Sumatre, Cejlona in južne Indije do Hormuza v Perzijskem zalivu. Večino ladij in posadke so na poti izgubili. Od tam je do Črnega morja Polo potoval po kopnem, nato po morju do Benetk, kamor so Polovi prispeli po 25-letni odsotnosti leta 1295.

Po vrnitvi v domovino je Marco Polo pogosto pripovedoval o svojih potovanjih in nenavadnih ter čudnih stvareh, ki jih je doživel v neznanih deželah. Ogromnost razdalj in velika števila, ki jih je omenjal, so bila vzrok, da je dobil vzdevek »milijonar«, njegova hiša pa »dvor milijonov«. Kljub vabilom, da svoja potovanja opiše, je do zapisa prišlo šele, ko je bil kot genovski ujetnik v ječi. Pripoved, tudi na podlagi zapisov, ki jih je naredil na Kitajskem, je zapisal njegov sojetnik, pisatelj Rustichello da Pisi v knjigi *Il Millione (Milijon)*. Knjiga se je s prepisovanjem kmalu razširila po vsej Evropi in postala znana kot Potovanja Marca Pola (slovenska izdaja: Potovanja Marka Pola, 1954). Vsebinska knjige je bila za takratno Evropo zanimiva, vendar zelo nenavadna, zato ji niso verjeli in so jo imeli za plod domišljije.

Potopis Marca Pola je dal leta 1559 natisniti Giovanni Battista Ramusio. Do takrat so začeli tudi na podlagi poročil drugih popotnikov in raziskovalcev vsebini knjige počasi verjeti. Ker so v visokem srednjem veku potopis Marca Pola zavračali, ni imel izrazitejšega vpliva na tedanje geografske predstave o svetu in na izdelovanje zemljevidov. Danes

štejemo njegovo delo za enega pomembnejših zapisov o velikih geografskih potovanjih, saj je prvi opisal srednjeazijske puščave in življenje ljudstev na Kitajskem in Tibetu, prvi je omenjal skrivnostno Sibirijo, govoril o psih, ki vlečejo sani, poročal o strašni indijski vročini in opisal kamen, ki se drobi in gori (premog) itd. Upošteval ga je tudi Krištof Kolumb, ki je imel kopijo knjige, v katero je pisal svoje pripombe (Martin, James, 1993). Ker Polo ni imel geografskega predznanja, se ni spuščal v takrat aktualne akademske razprave (npr. ali je ob ekvatorju prevročje za življenje), tudi ni razpravljal o obsegu Zemlje, ni poznal trditve, da je Indijski ocean zaprto morje, ni dokazov, da je razmišljal o geografski širini in dolžini krajev, ki jih je obiskal. V njegovem potopisu tudi ni komentarjev predhodnih geografskih del.

Slika 7: Marco Polo po sliki holandskega slikarja Jana van Grevenbroecka (po razglednici, zbirka: D. Ogrin).

Figure 7: Marco Polo, after the image by the Dutch painter Jan van Grevenbroeck (from a picture postcard; collection: D. Ogrin).



Pri širjenju geografskega horizonta proti vzhodu in severu so odigrali v visokem srednjem veku pomembno vlogo Rusi. Nestorjev letopis iz obdobja 1114–1116 vsebuje opise krajev in dogodkov v Vzhodni in Severni Evropi ter Aziji, domnevno na temelju normanskih informacij tudi krajev v Zahodni Evropi. Na osnovi potovanj, ki so bila versko, trgovsko in deloma tudi znanstveno motivirana, so nastali spisi potopisnega značaja, imenovani **hodženija**. V njih so opisana potovanja v Srednjo Azijo, jugozahodno Sibirijo, Indijo, Kitajsko in Sveto deželo. Posebno vlogo je pri raziskovanju težko dostopnih in neznanih pokrajin na severu in severovzhodu ter plovbah ob obalah Skandinavije in Sibirije odigral veliki ruski trgovski center Novgorod. Na žalost se nam podrobni podatki o tem niso ohranili, poročal pa je o teh potovanjih in odkritjih Vipavčan Žiga (Sigismund) Herberstein v svojem delu *Rerum moscoviticarum commentarii* iz leta 1549 (slovenski prevod: Moskovski zapiski, Herberstein, 1951; 2001). To kaže, da so imeli Rusi pri odkrivanju dežel dolgo tradicijo in bili zelo aktivni, še preden so do njih prispela prva poročila o velikih geografskih odkritjih na zahodu (Ilešič, 1950).

4 SKLEP

Srednji vek v razvoju geografije ne predstavlja enotnega obdobja, tudi ne mračnega, kakor se ga pogosto označuje. Oznaka 'mračno' v določeni meri velja le za zgodnji srednji vek v krščanskem delu Evrope, kjer Cerkev sprva ni kazala večjega posluha za znanstvena dognanja in je antična geografska tradicija večinoma šla v pozabo ter z njo tudi termin geografija.

Drugače je bilo v islamskem svetu, ki je imel nekaj več posluha za znanost in je vložil veliko napora v vzpostavitev stika z antičnimi dognanji in dognanji drugih razvitih civilizacij. Na prevzetih temeljih so zgradili lastno znanstveno in geografsko tradicijo. Po zaslugi islamske civilizacije in tudi Bizantincev, pri katerih je antična znanost tudi deloma preživela, je v visokem srednjem veku, ko je cerkveni dogmatizem popustil in je tudi Cerkev začela kazati večje zanimanje za znanost, prišlo do renesanse antičnih spoznanj in gledanja na svet. Postavljeni so bili temelji za nov znanstveni in družbeni razvoj v naslednjih stoletjih.

Nosilec novih idej in napredka je bilo meščanstvo, ki je v ospredje postavljalo človekove vrednote in je znanje potrebovalo za gospodarski napredek. S področja geografije so postale cenjene natančne karte kot pripomoček pri plovi in informacije o deželah in morjih, s katerimi so trgovali in po katerih so pluli. Znotraj starega in utečenega se je porajalo novo. Stanje geografije pred začetkom velikih geografskih odkritij v 15. in 16. stoletju nazorno ilustrirajo Ilešičeve besede: »Vsa ta geografska in kartografska renesansa od 12. do 15. stoletja je v znaku silne neenakomernosti, neskladnosti v razvoju. Na eni strani meniške karte, na drugi portulanske, na eni strani dobro poznavanje novih odkritij na zapadu in vzhodu, drugje v tem pogledu absolutne vrzeli, ki pričajo, kako težko je v tedanji dobi brez hitrih prometnih sredstev in brez tiskanih knjig novo znanje prodiralo v svet« (Ilešič, 1950, str. 26).

Literatura in viri

- Burke, P., 2016. Where Geography Came From. V: Agnew J. A., Duncan J. S. (ur.). The Wiley Blackwell Companion to Human Geography, Chichester, Wiley Blackwell, str. 12–22.
- Cresswell, T., 2013. Geographic Thought: a Critical Introduction. Chichester, Wiley-Blackwell, 290 str.
- Herberstein, Ž., 1951. Moskovski zapiski. Ljubljana, Državna založba Slovenije, 277 str.
- Herberstein, Ž., 2001. Moskovski zapiski. Ljubljana, Slovenska matica, 290 str.
- Holt-Jensen, A., 2009. Geography, its History and Concepts: A Student Guide. Los Angeles, Sage, 264 str.
- Hriberšek, M., 2013. Po Plinijevem nebu in zemlji. Komentar h knjigam 1–6 Plinijevega Naravoslovja. Ljubljana, Založba ZRC, 806 str.
- Ibn Battuta. 2011. URL: http://content.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,2084273_2084272_2084270,00.html (citirano 3. 9. 2018).
- Ibn Battuta, 2016. Veliko popotovanje. Ljubljana, Založba FDV, 215 str.
- Ilešič, S., 1950. Zgodovina geografije [Tipkopolis]. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Prirodoslovno matematična fakulteta, Oddelek za geografijo, 80 str.
- Martin, G. J., James, P. E., 1993. All Possible Worlds: a History of Geographical Ideas. New York, John Wiley and Sons, 585 str.
- Matvejević, P., 2008. Mediteranski brevir. Ljubljana, Založba V.B.Z., 243 str.
- Millerjeva rekonstrukcija karte sveta Pomponiusa Mele iz leta 1898, 2016. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/Karte_Pomponius_Mela.jpg (citirano 12. 8. 2018).
- Nikolić, S. M., 1977. Uvod u geografiju – istorija geografije i geografskih otkrića. Beograd, Naučna knjiga, 316 str.
- Ogrin, D., 2005. Spreminjanje podnebnja v holocenu. Geografski vestnik, 77, 1, str. 57–66.
- O–T karta sveta. 2018. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/T_and_O_map#/media/File:Radkarte_MKL1888.png (citirano 12. 8. 2018).
- Pietrus Cippus Fecit: De summa totius orbis (razstavni katalog), 2001. Piran, Galerija Hermana Pečariča, 60 str.
- Potovanja Marka Pola. 1954. Ljubljana, Mladinska knjiga, 244 str.
- Rana, L., 2008. Geographical Thought – A Systematic Record of Evolution. New Delhi, Concept Publishing Company, 495 str.
- Svetovna zgodovina od začetkov do danes. 1976. Ljubljana, Cankarjeva založba, 687 str.
- Travels of Ibn Battuta, WorldMap. 2015. URL: https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/4nksvv/the_voyages_of_ibn_battuta_the_most_well_traveled (citirano 20. 8. 2018).
- Vresk, M., 1997. Uvod u geografiju, razvoj, struktura, metodologija. Zagreb, Školska knjiga, 304 str.
- Vrišer, I., 2002. Uvod v geografijo. Ljubljana, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, 414 str.

DEVELOPMENT OF GEOGRAPHY IN THE MIDDLE AGES

Summary

Social and economic situation changed in the Middle Ages, particularly in Europe. Historically, the Middle Ages began with the fall of the Western Roman Empire at the end of the 5th century and lasted in Europe until the end of the 15th century, more precisely until the discovery of America. In the Early Middle Ages, that is until around the year 1100, Christianity exerted profound influence on the social, economic and cultural development and way of thinking. It is characteristic of that time that the majority of cultural and scientific views of Classical Antiquity fell into oblivion; in geography they were replaced by uncritical cosmographies, mostly based on sacred writings. Travels and researches were very few because of political instability. Most of the intellectual life was going on behind the walls of monasteries, where scholars collected information from a variety of written sources, mainly Latin, and reconciled them with the facts as presented in the Bible. The contents which did not agree with the Bible were ignored. Classical ideas about the world were transformed to fit the Church doctrine. The Earth was understood as a disk, with Jerusalem in the centre. The Classical tradition of map-making declined. The maps that were drawn were indeed aesthetic, but unprofessional. The most widely spread type of maps of that time were represented by the so-called *orbis-terrarum* or T-and-O (or O-T or T-O) maps.

After the fall of the Western Roman Empire, the geographical horizon was drastically reduced. People were mostly familiar only with the areas and places in their immediate vicinity. At that time, the Christian part of Europe had inadequate ideas of the world, with a lot of vagueness about the size of the world and distances between places. While Europe was stagnating intellectually, remarkable progress was made by the Arab world which accepted the Classical knowledge and upgraded it. The rise of Arab scientific centres meant the end of the recession of science and the re-development of scientific approaches in geography.

The contribution of Arab scholars to the development of geography was huge and reaches to various fields, from physical, human and regional geography to cartography. They took the basic astronomic and mathematical-geographic knowledge from the ancient Greeks, in the first place from the works by Aristotle and Ptolemy. In the field of physical geography, Arab geography made great progress in the knowledge of geomorphological, oceanographic and, in particular, climate phenomena and processes. Human-geography contents can be found especially in the works by Ibn Khaldun, who is regarded as a forerunner of modern historiography, sociology, economy, and demography. Very great is Arab contribution to the knowledge of the world. Outstanding are the works by Al-Idrisi and Ibn Battuta. Al-Idrisi's book *Al-Kitab al-Rujari (Roger's Book)* is a geographic encyclopaedia of the world known at that time. Ibn Battuta is considered one of the greatest travellers of all time; he travelled the major part of south and central Asia and visited China sixty years before Marco Polo. He travelled the Saharan Africa, sailed the Indian Ocean, and along the eastern coast of Africa he reached the geodetic latitude of 10° S.

In the High Middle Ages the authority of the Church over science slowly began to wane. It was shattered by scholars, also those inside the Church itself, who were brave enough to

put scientific arguments against the arguments of Church authorities. In the Middle Ages, Ptolemy was the principal authority in astronomic knowledge. His work that explains the influence of celestial bodies on the humans was translated from Arabian into Latin in 1138, and *Almagest*, the great work on astronomy, in 1175. Under the influence of the latter study the geocentric explanation of the universe was accepted for several centuries.

Towards the end of the Middle Ages, the cultural movements of Humanism and the Renaissance were of great importance for the development of science, including geography. The Humanists modelled their activities on Classical Antiquity, so the interest in the culture and science of the old Greeks and Romans was steadily revived. The contact with the Antiquity was possible also thanks to the Arabs who had carried on Classical scientific traditions. Relevant for the development of geography were the years 1410, when copies of *Geography* by Ptolemy were translated into Latin, and 1450, when *Geography* by Strabo was translated. The knowledge about the world and universe, contained in these two works, was one of the bases of Humanism. Translations of Ptolemy's and Strabo's works increased the interest in geography and, in turn, geographical knowledge contributed considerably to the discovery and economic exploitation of new and less known territories, which was led by the rising class of bourgeoisie, merchants in particular. The bourgeoisie needed geographical knowledge to foster trade, travels and voyages, and to learn about the countries with which they had established trade, and to maintain control over the colonies. Improved variants of Ptolemy's maps began to emerge, later also maps with improved map projections and coordinate system.

A great influence on geographic discoveries that started in the second half of the 15th century was also exerted by the cosmography *Tractatus de imagine mundi* by Cardinal Pierre d'Ailly. The book is a quality compendium of the knowledge about the world in his time and is one of the first to include the findings from the Latin translation of Ptolemy's *Geography*.

In the High Middle Ages, several improvements were introduced in the fields of navigation, seafaring and cartography. Magnetic compass began to be used as an aid in the orientation on the sea, the astrolabe was also improved, which rendered possible to determine the latitude more accurately. For the needs of seafaring the so-called portolan charts were made, i.e. maps with precisely drawn coastlines and ports and a compass network for easier navigation.

Marco Polo was the central figure to acquaint the Christian Europe with the lands of the Far East. Because in the High Middle Ages his travel journal was rejected, it did not influence the geographic ideas of the world and map-making of the time as much as we might expect. Nowadays, however, Polo's work is considered one of the more important records of great geographic travels, for he was the first to describe the deserts of Persia and the life of the peoples of China and Tibet, the first to mention the mysterious Siberia, or reported on the fierce heat in India, etc.

(Translated into English by Branka Klemenc)

CAVES, DENUDED CAVES AND COLLAPSE DOLINES AS PAST HYDROLOGICAL PATTERN INDICATORS OF THE GRABOVICA PLATEAU, THE DINARIC KARST (BOSNIA AND HERZEGOVINA)

Uroš Stepišnik*, PhD., Aleš Grlj**

*Department of Geography, Faculty of Arts, University of Ljubljana,
Aškerčeva 2, 1000 Ljubljana

** Institute of Anthropological and Spatial Studies, ZRC SAZU,
Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana
e-mail: uros.stepisnik@ff.uni-lj.si, ales.grlj@space.si



Original scientific article

COBISS 1.01

DOI: 10.4312/dela.49.95-111

Abstract

The Grabovica Plateau is a corrosion plain in southern Bosnia and Herzegovina. The whole area is characterised by a through-flow karst system, where subsurface streams submerging at Duvanjsko polje are directed towards springs at Livanjsko polje. In this study, we conducted morphographic and morphometric investigation of surface and subsurface features, especially collapse dolines, denuded caves along with active and inactive cave systems. We interpreted morphogenesis and past hydrologic pattern within the area.

Keywords: collapse doline, denuded cave, geomorphology, speleology, hydrology

JAME, DENUDIRANE JAME IN UDORNICE KOT KAZALNIKI NEKDANJEGA HIDROLOŠKEGA DELOVANJA PLANOTE GRABOVICA (BOSNIA IN HERCEGOVINA)

Izvleček

Planota Grabovica je korozijska uravnava v južnem delu Bosne in Hercegovine. Za celotno območje je značilen pretočni kras, kjer podzemni tokovi, ki ponikajo na Duvanjskem polju, odtekajo v smeri izvirov na Livanjskem polju. V tej raziskavi smo izdelali morfografske in morfometrične analize površinskih in podzemskih oblik, predvsem udornic, denudiranih jam ter aktivnih in reliktnih jamskih sistemov. Interpretirali smo morfogenezo in preteklo hidrološko delovanje proučevanega območja.

Ključne besede: udornica, denudirana jama, geomorfologija, speleologija, hidrologija

I INTRODUCTION

The Dinaric Alps are located in the western Balkan Peninsula almost parallel to the eastern Adriatic coast. They are a large contiguous mountain range elongated in the north-west-southeast direction, with a total length of 645 km and a width of approximately 150 km. The Dinaric Alps are divided into distinct stripes where surface morphology as well as hydrology are significantly influenced by local lithological settings. Fluvial relief on non-carbonate rocks prevails in the inland and towards the east while central and western parts of the Dinaric Alps typically host karstified carbonate bedrock. The part of the Dinaric Alps that exhibits well-developed karst is usually referred to as the Dinaric Karst (Mihevc, Prelovšek, 2010). Characteristic features associated with the Dinaric Karst are extensive mountain ranges, large corrosion plains and intramontane basins that host karst poljes (Bognar, 1992; Bonacci, 2004; Bognar, 2006; Mihevc, 2010; Pahernik, 2012; Bonacci, 2013). Surface is dissected by middle and small-scale karst features such as dolines, collapse dolines, uvalas, denuded caves, canyons and dry valleys.

The Grabovica Plateau is situated within the Dinaric Karst between Livanjsko and Duvanjsko Polje in the southern Bosnia and Herzegovina. It is expressed as a levelled corrosion plain built of karstified carbonate bedrock with surface positioned high above the watertable level and as such differentiated from the surrounding landscape. Bulk of waters from Duvanjsko Polje in the east are submerging into one ponor and are flowing in the subsurface westwards towards the springs in a wide steephead valley on the southern part of Livanjsko Polje. Therefore the area is an example of through-flow karst.

The Grabovica Plateau is well recognised within the Dinaric Karst for its high density of large collapse dolines that are erratically dispersed upon the plateau. Those huge collapse dolines are locally known as *samogradi* (singular: *samograd*; plural: *samogradi*). Up to now some speleological investigations regarding collapse dolines, ponors and spring cave systems were conducted in this area (Malez, 1964; Božičević, 1971; Božičević, 1985; Kovačević, 2013; Ozimec, 2015). However, none of them has applied an integral approach to study these features as palaeoenvironmental indicators.

During systematic geomorphologic investigation, we encountered a series of extensive denuded cave systems on roughly planated surface of the Grabovica Plateau. Those systems are among the longest identified denuded cave systems within the Dinaric Karst so far. Denuded caves, active and inactive cave systems and collapse dolines are direct indicators of past and present hydrologic function of the areas with developed subsurface drainage, especially the areas of through-flow karst. Together with previously provided morphochronological (Mandić et al., 2013) and speleological data (Šumanović, Buntić, 2013; Marković, Ozimec, 2017) it is conceivable to reconstruct geomorphologic dynamics along with hydrologic functioning of the area. This reconstruction is the main aim of our research and we successfully achieved this through systematic morphographic, morphometric and morphostructural analysis of subsurface cave systems, collapse dolines and denuded cave systems on the surface.

2 STUDY AREA

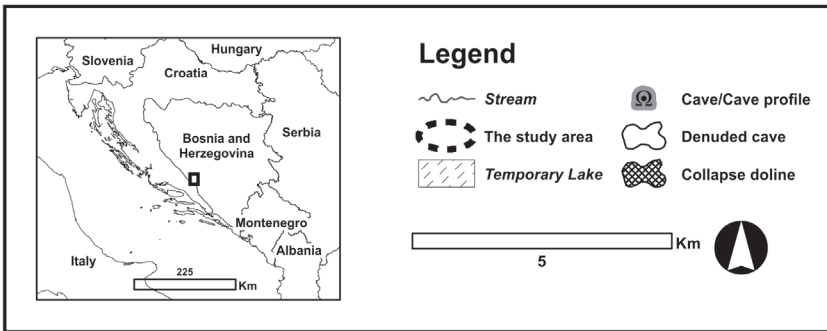
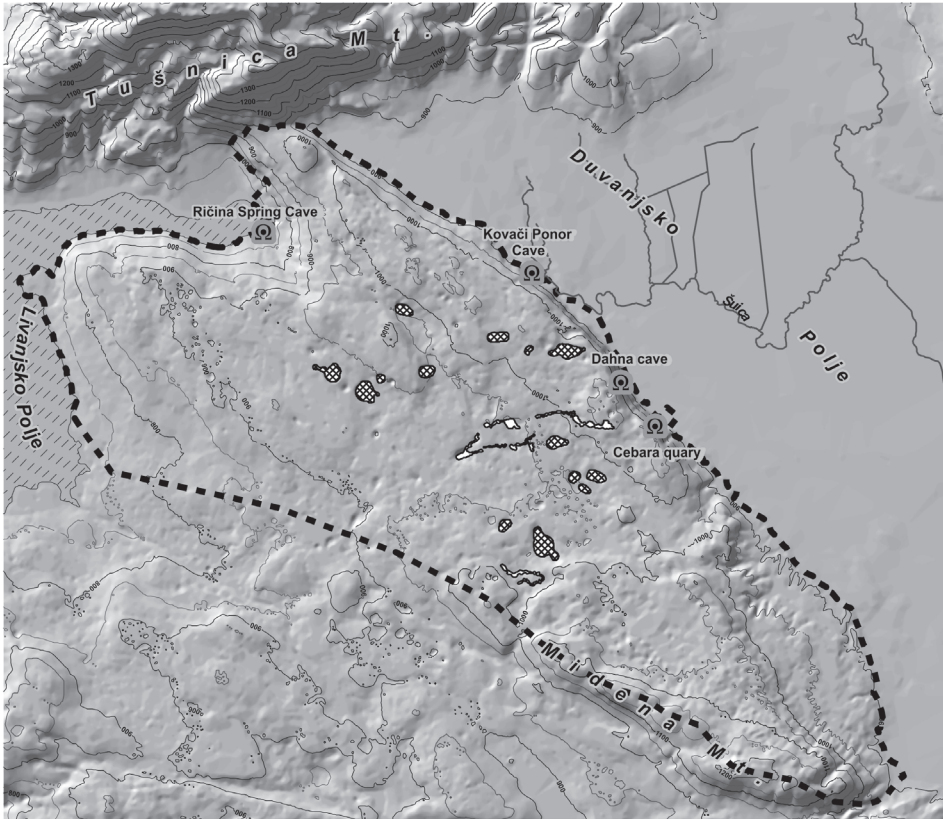
The Grabovica Plateau is a well-confined levelled karst area between two poljes: Duvanjsko polje towards northeast and east and Livanjsko polje on the west (Figure 1). The southeastern part of Livanjsko Polje, which runs along the Grabovica plateau, is inundated by artificial lake named Buško Blato. The plateau is elongated in the northwest-southeast direction, having a longer axis of ≈ 18 km and shorter of ≈ 8 km. It covers an area of ≈ 125 km². Eastern limit of the plateau towards Duvanjsko polje is at the elevation of ≈ 860 m. Just above the eastern edge, there is a 200 meter-high structural escarpment rising steeply to the highest section of the plateau at 1060 m a.s.l. The other areas of the plateau are roughly levelled and slightly inclined towards western limits at Buško Blato where elevations are ≈ 700 m.

Lithological setting of the Grabovica Plateau is rather uniform. The whole area is a syncline with dip of the axis towards northwest. As a result, the youngest bedrock is Paleogene limestone exposed as a narrow strip at northwest perimeter. The Paleogene bedrock is delimited by bedded and massive limestone of Upper Cretaceous age. Majority of the plateau is built of a well-bedded Upper Cretaceous limestone underlying the Lower Cretaceous beds. The latter that are built of dolostone and dolomitized limestone are located in a narrow strip close to the southeastern margin of the area. Majority of the tectonic unconformities are orientated in the northwest-southeast direction. The most expressed tectonic disconformity is running along a steep escarpment on the verge of Duvanjsko Polje, separating the plateau from Duvanjsko polje. The floor of Duvanjsko polje consists of marl and sand of Pliocene and Miocene age as well as Quaternary alluvium (Raić, Papeš, 1968; Raić et al., 1976).

Direction of subsurface flow within the karstified plateau is from east and southeast towards the west (Roglić, 1940). The most dominant ponor in the area is Kovači located at the edge of Duvanjsko Polje where Šuica River is submerging. The river is discharging majority of waters from Duvanjsko Polje towards spring at the western edge of the plateau. The main spring named Vrilo is located at the end of extensive steephead valley on the northwestern border of the Grabovica Plateau. The spring is annually flooded due to oscillation of water within the reservoir.

The majority of the Grabovica Plateau is poorly vegetated therefore great variety of small-scale karst features are exposed to the surface with a number of dolines, collapse dolines and other non-rounded karst depressions of various origins. First geomorphological literature about the area was provided by Roglić (1940) who interpreted the area of Duvanjsko polje as a result of Pliocene inundation. He interpreted steep escarpments alongside the polje as abrasion terraces. Succeeding research was focused on hydrological settings of the area (Malez, 1964; Božičević, 1971; Kovačević, 2013; Ozimec, 2015; Marković, Ozimec, 2017) for purposes of a water reservoir construction in the area of the Buško Blato. Following research was focused on the morphometry and morphogenesis of some local collapse dolines (Božičević, 1985). The last geomorphological research of the area comprises a detailed morphometric description of a wider area of Duvanjsko polje (Radoš et al., 2012; Radoš, Magaš, 2012).

Figure 1: Map of the Grabovica plateau.
Slika 1: Karta planote Grabovica.



3 MATERIALS AND METHODS

Analytical geomorphologic approach (Pavlopoulos et al., 2009) was applied to study the Grabovica Plateau. Basic morphographic analysis was focused on collapse dolines and denuded cave sections, because these features are direct karst surface indicators of the past and present hydrologic setting of the area (Mihevc, 1998; Mihevc, 2001; Šušteršič, 2006; Mihevc, 2010; Waltham et al., 2010; Gabrovšek, Stepišnik, 2011). Extensive field mapping in the area was supported by remote sensing data and preceding geomorphologic and geologic literature. The study of collapse dolines was focused on slope morphology and sediment infills. Detail morphometric analysis was performed by means of spatial analysis performed in ArcGIS 10.3.1 using a 20 m resolution digital elevation model (DEM). First, contour lines of different equidistance, slope angle and shaded relief were extracted from the DEM. Polygons of all detected collapse dolines and denuded caves were drawn using a combination of different topographic layers and taking into account the data collected in the field. Finally, the statistics of extracted polygons were calculated using the *Zonal Statistics as Table* and *Polygon Volume* tools.

Additionally a speleologic study of important cave systems was performed in the field and supported by results of previous researches (Mandić et al., 2013; Šumanović, Buntić, 2013; Marković, Ozimec, 2017). Speleologic investigation was focused on small-scale features on the cave walls and ceilings, sediment fills as well as analysis of cave system long profiles, which indicate speleogenetic environments (Mihevc, 2001; Šušteršič, Šušteršič, Stepišnik, 2003; Ford, Williams, 2007).

4 RESULTS

Majority of the study area is functioning as well-developed karst due to dominance of limestone lithology. Karst surface of the plateau is roughly levelled and covered by karren, dolines, sporadic conical hills, denuded cave passages and a number of collapse dolines. The latter two are the most essential surface karst features for reconstructing past and present hydrological functioning of the area (Mihevc, 2001; Šušteršič, 2006; Waltham et al., 2010; Gabrovšek, Stepišnik, 2011; Kaufmann, 2014).

A number of denuded cave passages were identified on the surface. Their morphology resembles non-active fluvial channels with floors usually covered by non-carbonate alluvium derived from Duvanjsko polje and its hydrologic hinterland. Within a fine grained cover a large number of quartz pebbles and flowstone chunks are exposed on the surface. Even though they are river channel-like forms, their association with fluvial morphogenesis is negligible while in well-developed karst entire drainage system is diverted into a subsurface. Additional evidence of their subsurface origin are flowstone deposits that are exclusively subsurface cave precipitates.

Two grouping of denuded cave passages were identified in the study area (Figure 2). The northern denuded cave system ≈ 3 km south of Kovači Ponor is composed of interconnected dolines and elongated depressions, which are up to 30 m wide and 20 m deep. Common length of denuded cave passages is ≈ 4.5 km. The whole system is located on

a levelled surface, which is slightly inclined towards west. Eastern sections of denuded passages are positioned at an elevation of 1030 m while the elevations at its westernmost stretches are ≈ 900 m. Majority of the denuded cave system floors are covered by clayey sediment with fine sand. In some sections quartz pebbles and large pieces of flowstone are to be found.

Figure 2: Part of the northern denuded cave system (A) with chunks of flowstone (B) and quartz pebbles (C) (photo: M. Žebre).

Slika 2: Del severnega sistema denudiranih jam (A) s kosi sige (B) in kremenovimi prodniki (C) (foto: M. Žebre).



The southern denuded cave system is a rather uniform 1.6 km long channel-like depression. It is positioned roughly 2.5 km towards southwards of the northern denuded cave system. Well-expressed corridor within steep rocky sides has elevations ranging between 1000 and 960 m a.s.l. It is positioned within levelled surface that is slightly dipping towards west. Dimensions of its cross-section are up to 40 m wide and 15 m deep. Same deposits cover the floors of corridors as in the northern system.

In the area of the Grabovica Plateau there are 14 large collapse dolines. They are irregularly distributed across the central part of the plateau. Their volumes vary from ≈ 0.5 up to ≈ 4 Mm³. The origin of small-sized collapse dolines is a result of the collapse of the cave chambers that are positioned close to the surface. Some smaller collapses even have continuation into cave chambers at their lower sections (Šumanović, Buntić, 2013; Marković, Ozimec, 2017). Large-volume collapse dolines are a result of undermining by subsurface flow along tectonically unstable zones (Šušteršič, 2003; Waltham et al., 2005; Šušteršič, 2006; Gabrovšek, Stepišnik, 2011). Their sizes are not a result of cave chamber volumes but rather dynamics and period of subsurface undermining.

Collapse dolines of the Grabovica Plateau can be divided into two types due to their morphology. A group of four northernmost collapse dolines that are positioned

Figure 3: A collapse doline Veliki Samograd with steep rocky slopes (photo: U. Stepišnik).

Slika 3: Udornica Veliki Samograd s stenastimi pobočji (foto: U. Stepišnik).



close to the trough-flow corridor between Kovači Ponor and Vrilo Spring have common steep rocky slopes with extensive scree underneath that are reaching their floors (Figure 3). Some of the floors are covered by small patches of fine grained residual from the slopes. The northernmost collapse doline has a funnel-shaped depression within its floor indicating ongoing undermining in a subsurface. According to the morphographic classification (Waltham, et al., 2005; Ford, Williams, 2007) they can be defined as young collapse dolines.

All other collapse dolines in the area have mostly balanced slopes (Kaufmann, 2009; Stepišnik, Kosec, 2011) that are dissected by scarce rocky walls and patches of sediment. Floors are gentle and flattened by fine grained slope material. They can be classified as a mature-type collapse dolines (Waltham, Bell, Culshaw, 2005; Ford, Williams; 2007).

The area is a trough-flow karst as waters are submerging on the western side and emerging in springs on the eastern side of the Grabovica Plateau. Surface and subsurface karst that is significantly modified by point recharge and point discharge processes is referred to as contact karst (Mihevc, 1991; Mihevc; 2001). The entire north-eastern stretch of the Grabovica Plateau along Duvanjsko Polje is a geologic contact between karstified carbonate and non-carbonate lithology, therefore it is a ponor type of contact karst. The main discharge point from Duvanjsko Polje is at Kovači Ponor where Šuica River is submerging at the end of small blind valley at ≈ 850 m a.s.l. Kovači Ponor is ≈ 2 km long hydrologically active cave system, which is conducting waters in northwest direction towards Ričina Spring. The whole cave system is subhorizontal, positioned entirely in epiphreatic zone. Majority of the explored stretch of the cave system has floor filled with fine grained alluvium and limestone pebbles and there are no accessible phreatic loops (Kovačević, 2013; Šumanović, Buntić, 2013; Marković, Ozimec, 2017). Hydrologic function, position on the contact karst and organization of cave passages suggest that whole system is of paragenetic origin.

Another extensive cave system named Dahna is located ≈ 3 km southeast of the Kovači Ponor. The entrance to the cave is at an elevation of ≈ 940 m, ≈ 80 m above the polje floor and the whole length of explored passages is about 1100 m (Šumanović, Buntić, 2013). The entire stretch of explored cave system is positioned completely within a vadose zone. Majority of cave passages are horizontal to subhorizontal and of various dimensions oriented regularly towards the west. Some vadose zone shafts and collapse chambers are dissecting the system. The floor along the entire stretch of the system is covered with alluvium and flowstone deposits. Position and orientation of the passages with sediments within suggest that the cave is of paragenetic origin which was later modified by collapsing and vertical seepage processes in vadose zone.

An important speleogenetic object is exposed within a quarry on a steep slope ≈ 80 m above the polje floor, close to the village Cebara. It is positioned ≈ 800 m southeast of the cave system Dahna. The whole object is an exposed cross profile of a cave passage which is completely infilled by alluvium and flowstone. The profile is 20 m high and 17 m wide with lower section on elevation ≈ 940 m. The infill is composed of upward coarsening succession of flowstones, clays, fluvial gravels and block-breccia. The latter consists of collapse boulders reaching up to 5 m in diameter. The gravely beds contain an operculi

Figure 4: Aerial photograph of the steephead valley of Ričina Spring (photo: U. Stepišnik).
 Slika 4: Zračni posnetek zatrepne doline izvira Ričine (foto: U. Stepišnik).



accumulations of freshwater snail *Bythinia* (Mandić et al., 2013), backing an evidence of riverine or lacustrine origin of the sediment (Mandić et al., 2013). Lower section of a profile encompasses 1.5 m thick bone bed interval containing fossil bones, tusks and teeth. They were classified as *Anancus arvernensis* (Mandić et al., 2013), which had a peak distribution in Europe in the Late Pliocene and the stratigraphic range from the Late Miocene to the Early Pleistocene (Mandić et al., 2013).

A spring type of contact karst is positioned on the north-west limit of the Grabovica Plateau, where subsurface streams emerge on the surface, (Mihevc, 1991; Mihevc, 1998). Subsurface streams are focused at Vrilo Spring which is positioned at head of 1 km wide and more than 4 km long steephead valley. The cave system of Vrilo Spring is a main drainage spot of the Grabovica Plateau. The entrance is at an elevation of ≈ 710 m and it consists of up to 30 m wide and 15 m high horizontal passages with a total length of $\approx 2,500$ m explored passages. A direction of the system is oriented towards the east (Šumanović, Buntić, 2013; Marković, Ozimec, 2017). The cave system is roughly horizontal, positioned mainly within epiphreatic zone, having sections which are permanently inundated. Some of the passages are modified by collapsing.

5 DISCUSSION

The Grabovica Plateau is situated in the Dinaric Karst in-between Duvanjsko and Livanjsko Polje. The whole plateau is well karstified, where subsurface streams are discharging in the direction from Duvanjsko towards Livanjsko Polje (Roglić, 1940).

Therefore, the area can be characterized as a through-flow karst. Converged streams from Duvanjsko Polje are submerging at Kovači Ponor. Subsurface flow is oriented towards the west where it re-emerges at the Vrilo Spring that is located 5 km away and 150 m lower than the ponor, therefore an average gradient of the subsurface flow is 3 %. The Kovači Ponor cave system is a hydrologically active cave of paragenetic origin (Ford, Williams, 2007). It is located approximately at the local watertable level owing to strong influx of a non-soluble allogenic detritus from the polje. Located some 80 m higher and about 3 km towards southeast along the polje edge is Dahna cave system. More than a kilometre long system of horizontal passages with abundance of allogenic sediment covering the floor resembles the speleogenetic settings of Kovači Ponor cave system. Dahna cave system is a non-active cave system of paragenetic origin due to its position above the local watertable level. The cave passage cross section at Cebara quarry is of the same origin. Both Cebara and Dahna have had a function of ponor cave systems while being active within epiphreatic zone. The spatial distribution and especially altitudinal position of the three caves indicate the northwestward migration of the ponor zone along the edge of Duvanjsko Polje. Caves as these are typical for a ponor type of the contact karst along with strong detritus influx. They can be defined as a multi-phase paragenetic cave system (Ford, Williams, 2007), which is organized on various elevation levels (Gams, 1966; Gospodarič, 1976). These findings argue previous assumptions that the initial ponor area of the polje was situated in the northwest followed by migration towards southeast to the present position of the Kovači Ponor (Roglić, 1940).

Important indicator for a speleogenetic interpretation of the area is also the cave system of Ričina Spring. The horizontal cave passages at the end of the steephead valley are positioned within epiphreatic zone. There is no evidence of any lower phreatic tubes within the cave system, thus it is likely the cave system in the hinterland of the spring is also a result of paragenesis. Similar examples of extensive paragenetic modification of cave systems are known from the northwestern part of the Dinaric Alps (Gospodarič, 1976; Mihevc, 2001; Gams, 2003). A strong influx of allogenic non-soluble detritus in the ponor zone is supported by autogenic collapse material which can result in a complete remodelling of extensive through-flow cave systems from the ponors to the springs (Gams, 1965; Gospodarič, 1976; Šušteršič, Šušteršič, 2003; Šušteršič et al., 2003). Results of such remodelling are large horizontal cave systems in epiphreatic zone that are intersected by collapse structures and sumps.

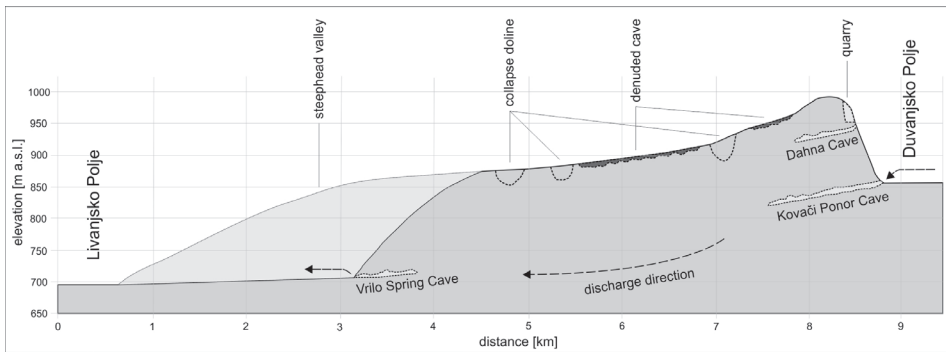
Denuded cave systems which were identified on the Grabovica Plateau are the longest sections of denuded caves documented so far in the whole Dinaric Alps and on the global scale. Sediment deposits in the denuded caves corridors exhibit the same hydrological function and sediment influx as of the recent conditions within active systems Kovači Ponor - Vrilo Spring.

The speleological and topographic setting of the Grabovica Plateau is favourable for development of a long and non-disturbed denuded cave system. The entire plateau is slightly inclined toward the west, having a gradient between 2.2% and 2.5% in the central part, where majority of denuded cave sections are positioned. The gradient is nearly

identical to the gradient of recent paragenetic passages, calculated to 3%. Almost identical gradient of the surface and paragenetic cave systems allowed the entire cave systems to be exposed on the surface due to chemical denudation of the surface (Figure 5). Same hydraulic gradient also suggests that hydrologic and speleologic conditions in the area of the Grabovica Plateau did not change in a longer speleogenetic period.

Figure 5: A cross section sketch of the Grabovica Plateau indicating positions of active, inactive and denuded cave systems and collapse dolines.

Slika 5: Skica podolžnega prereza planote Grabovica z označenimi aktivnimi, neaktivnimi in denudiranimi jamskimi sistemi ter udornicami.



The exposed cross profile of a cave passage in the Cebara quarry, containing remains of the *Anancus arvernensis* (Mandić et al., 2013), is located between 940 m and 960 m a.s.l. About 2 km westward lies a part of the northern denuded cave system at an elevation span between 900 m and 920 m. The average gradient between the two speleogenetic objects is $\approx 2.5\%$, indicating the chronologically related speleogenesis. Stratigraphic range of fauna (from Late Miocene to the Early Pleistocene) found within the cave passage in the Cebara quarry suggests that the same speleological conditions are present in the study area for at least 1.8 Ma (Mandić et al., 2013). Collapse dolines in the area are elongated in the NW-SE direction, which is the general direction of faults in the area (Raić et al., 1976). Fault lines regularly represent less permeable zones within the karst aquifer (Šušteršič, 2006) forcing a concentration of subsurface streams which is favourable for formation of collapse dolines (Gabrovšek, Stepišnik, 2011). Only the floor of the northernmost collapse doline exhibits a funnel shaped depression, which indicates the ongoing undermining in the subsurface. Majority of collapse dolines on the northern side of the plateau also displays active slopes, which are a result of continuous stabilization due to mass removal. On the contrary, the southern collapse dolines have mainly balanced slopes with no evidence of active undermining of their floor. A difference in morphology between the northern and southern collapse dolines additionally points to the migration of subsurface drainage towards the north.

6 CONCLUSION

The Grabovica Plateau is a corrosion plain situated between Livanjsko and Duvanjsko Polje in the southern Bosnia and Herzegovina. Karstified carbonate bedrock prevail where surface is positioned high above the local watertable level. Direction of subsurface flow within the karstified plateau is oriented towards the west. The major ponor at Duvanjsko Polje is Kovači Ponor from where subsurface flow is directed towards the edge of the plateau at Livanjsko Polje where Vrilo Spring is positioned.

Surface of the Grabovica Plateau is covered by a number of collapse dolines; additionally we managed to identify large sections of denuded cave systems which are the most extensive of its kind within Dinaric Alps. These surface karst features are in combination with active and non-active cave systems the main indicators of past hydrologic pattern within the area. The aim of the article was to analyse geomorphologic and speleologic settings indicated by the above mentioned features of the area and to provide its past and present hydrologic functioning.

Methods involved morphographic analysis of the surface karst features that included extensive field mapping supported by remote sensing data. Field survey included detailed collapse doline slopes analysis and examination of alluvial deposits within collapse dolines as well as denuded cave systems. Study of subsurface cave systems included field examination of cave features and sediments combined with the data collected within previous speleological research (Mandić et al., 2013; Šumanović, Buntić, 2013; Marković, Ozimec, 2017). The area of the Grabovica Plateau is an exemplar case of trough-flow karst within the whole Dinaric Karst. The cave systems at the inflow part of the plateau exhibit paragenetic speleogenesis which is typical for contact karst cave systems. Strong influx of a non-soluble allogenic detritus into karst resulted in the formation of long sub-horizontal cave passages located along the local watertable level. Active and non-active cave systems along the contact exhibit similar morphological and sedimentological settings. Their topographic position along the Duvanjsko polje is a result of gradual migration of the main discharge point towards the northwest while their distribution in distinct elevation levels is typical for multi-phase paragenesis with strong injection of allogenic detritus (Gospodarič, 1976; Ford, Williams, 2007).

Important indicator for speleogenetic interpretation is also position and spatial distribution of the cave system of Ričina Spring. Horizontal passages along with sediment fill in epiphreatic and shallow phreatic zone indicate the ongoing paragenesis also on the outflow section of Grabovica Plateau. The cave system is not remodelled solely by non-soluble allogenic debris that originates from Duvanjsko polje but also form carbonate debris deriving from local cave chamber breakdowns and collapse dolines. Correspondent cases of paragenetic effect escalation by locally derived material were documented in multiple cases from northern Dinaric Karst (Gams, 1965; Gospodarič, 1976; Šušteršič, Šušteršič, 2003; Šušteršič et al., 2003).

Collapse dolines distributed along the plateau exhibit typical morphographic pattern. Majority of collapse dolines in central and southern section of the plateau exhibits typical mature stage of development with balanced slopes and almost complete absence of steep

rocky slopes. On the other hand northern group of collapse dolines is of young development stage with the prevalence of steep rocky slopes and scree underneath them. Some of them have a funnel shaped depressions within their floors as a result of ongoing undermining due to the presence of active subsurface flow. Morphographic differences exhibit gradual migration of subsurface discharge towards the north.

Denuded cave passages on the surface of the Grabovica Plateau are common. Among them two extensive cave systems were recognised by means of remote sensing, fieldwork mapping and sediment analysis. Identified denuded cave systems are the most extensive of its kind on the Dinaric Karst documented so far. Due to the fact that surface of the Grabovica plateau has roughly the same inclination as hydraulic gradient in the subsurface, extended and undisturbed sections of denuded caves are possible. Topographic position of denuded cave systems along with their sediments and inclinations suggest that speleogenetic conditions did not alter since the time of their formation. The latter can be deduced on the basis of paleontological data from Cebara quarry cross profile. Stratigraphic range of fauna found within the profile has a span from the Late Miocene to the Early Pleistocene (Mandić et al., 2013) therefore the age of the cave passage formation can be assessed to at least 1.8 Ma. About 2 km westward lies a part of the northern denuded cave system within the same paragenetic level elevation span as exposed cave passage profile within the quarry. It indicates the same morphochronology of both speleogenetic objects. We can conclude that the speleogenetic conditions did not alter for at least 1.8 Ma.

We conclude that the Grabovica Plateau represents a perfect polygon for future studies of contact karst and paragenetic cave systems, which are completely dissecting subsurface aquifer. All stages of contact karst speleogenesis is accessible starting with active phase, inactive phase, to the final degradation with collapses and conclusive denudation on the surface. Additionally previous research confirmed the existence of paleontological material, which will be crucial for determining the age and enabling accurate interpretations of karst dynamics.

References

- Bognar, A., 1992. Pedimenti Južnog Velebita. *Hrvatski geografski glasnik*, 54, 1, pp. 19–31.
- Bognar, A., 2006. The upper part of the Una River Valley between Martin Brod and Pritoka – Geomorphological Characteristics. *Hrvatski geografski glasnik*, 67, 6, pp. 21–38. DOI: 10.21861/HGG.2005.67.02.02.
- Bonacci, O., 2004. Poljes. In: Gunn, J. New York, Fitzroy Dearborn, pp. 599–600.
- Bonacci, O., 2013. Poljes, ponors and their catchments. In: Frumkin, A. (ed.). *Treatise on Geomorphology*. Amsterdam, Elsevier, pp. 112–120.
- Božičević, S., 1971. Primjenjena Geološka istraživanja. *Naše jame*, 13, 1, pp. 108–115.
- Božičević, S., 1985. Morfologija i geneza urušnih vrtača. *Acta Carsologica*, 14/15, 1, pp. 149–162.
- Ford, D., Williams, P. D., 2007. *Karst hydrogeology and geomorphology*. Chichester, Wiley, 576 pp.

- Gabrovšek, F., Stepišnik, U., 2011. On the formation of collapse dolines: A modelling perspective. *Geomorphology*, 134, 1–2, pp. 23–31. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.06.007.
- Gams, I., 1965. H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerknjskim poljem. *Geografski vestnik*, 37, 1, pp. 61–101.
- Gams, I., 1966. On the hydrology of the territory among the poljes of Postojna, Planina and Cerknica. *Acta Carsologica*, 4, 1, pp. 5–54.
- Gams, I., 2003. Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana, Založba ZRC, 516 pp.
- Gospodarič, R., 1976. The quaternary caves development between the Pivka basin and polje of Planina. *Acta Carsologica*, 7, 1, pp. 1–139.
- Kaufmann, G. 2009. Modelling karst geomorphology on different time scales. *Geomorphology*, 106, 1, pp. 62–77.
- Kaufmann, G., 2014. Geophysical mapping of solution and collapse sinkholes. *Journal of Applied Geophysics*, 111, pp. 271–288. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2014.10.011.
- Kovačević, T., 2013. MSRE »Ponor Kovači – Ričina 2013«. *Speleolog*, 61, 1, pp. 66–74.
- Malez, M., 1964. Prilog poznavanju speleoloških odnosa na Glamočkom i Duvanjskom polju. *Krš Jugoslavije*, 4, 1, pp. 172–200.
- Mandić, O., Göhlich, U., Hrvatović, H., Mauch-Lenardić, J., Čvorović, B., Glamuzina, G., Radoš, D., 2013. New Proboscidean Site from the High Karst Dinarides in Southern Bosnia and Herzegovina. Neogene to Quaternary Geological evolution of Mediterranean, Paratethys and Black Sea, Istanbul, Regional Committee of Mediterranean Neogene Stratigraphy.
- Marković, J., Ozimec, R., 2017. Speleologija. In: Radoš, M. M., Šumanović, M., Šarac, M. M., Vukadin, V., Marković, J., Lukić Bilela, L., Radoš, D., Ozimec, R. (ed.). *Naših prvih 7 ekspedicija. Tomislavgrad - Zagreb, Udruga "Naša baština"*, pp. 42–51.
- Mihevc, A., 1991. Morfološke značilnosti ponornega kontaktnega krasa: izbrani primeri s slovenskega krasa. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, 206 pp.
- Mihevc, A., 1998. Speleogeneza matičnega krasa: doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, 150–150 pp.
- Mihevc, A., 2001. Speleogeneza Divaškega krasa. Ljubljana, Založba ZRC, ZRC SAZU, 180 pp.
- Mihevc, A., 2010. Geomorphology. In: Mihevc, A., Prelovšek, M., Zupan Hajna, N. (ed.). *Introduction to Dinaric karst. Postojna, IZRK ZRC SAZU*, pp. 30–43.
- Ozimec, R., 2015. Ekspedicija Ponor Kovači – izvor Ričine 2015. *Speleolog*, 63, 1, pp. 39–42.
- Pahernik, M., 2012. Prostorna gustoća ponikava na području Republike Hrvatske. *Hrvatski geografski glasnik*, 74, 2, pp. 5–26. DOI: 10.21861/HGG.2012.74.02.01.
- Pavlopoulos, K., Evelpidou, N., Vassilopoulos, A., 2009. *Mapping Geomorphological Environments*. Berlin, Heidelberg, Springer, 235 pp.
- Radoš, D., Lozić, S., Šiljeg, A., 2012. Morfometrijske značajke šireg područja Duvanjskog polja, Bosna i Hercegovina. *Geoadria*, 17, 2, pp. 177–207. DOI: 10.15291/geoadria.352.

- Radoš, D., Magaš, D., 2012. Morfometrijska analiza prostornog rasporeda i gustoće ponikava Grabovičke zaravni. In: Lučić, I., Mulaomerović, J. (ed.). Međunarodni znanstvenostručni skup »Čovjek i krš«, Knjiga sažetaka. Međugorje - Sarajevo, Centar za krš i speleologiju Sarajevo, pp. 30–31.
- Raić, V., Ahac, A., Papeš, J., 1976. Osnovna geološka karta SFRJ. K 33 – 23, Imotski.
- Raić, V., Papeš, J., 1968. Osnovna geološka karta 1:100.000 - Tumač za list Imotski K 33 – 23. Beograd, Savezni geološki zavod, 32 pp.
- Roglić, J., 1940. Geomorphologische Studie über das Duvanjsko Polje (Polje von Duvno) in Bosnien. Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Wien, 83, 1, pp. 152–177.
- Stepišnik, U., Kosec, G., 2011. »Modelling of slope processes on karst.« Acta Carsologica 40, 2, pp. 267–273.
- Šumanović, M., Buntić, I., 2013. Speleologija Duvanjskog kraja. In: Ozimec, R., Radoš, M. M. Tomislavgrad - Zagreb, pp. 615–615.
- Šušteršič, F., 2003. Collapse dolines, deflector faults and collector channels. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, 1, 3, pp. 1–10.
- Šušteršič, F., 2006. Relationships between deflector faults, collapse dolines and collector channel formation: some examples from Slovenia. International journal of speleology, 35, 1, pp. 1–12.
- Šušteršič, F., Šušteršič, S., 2003. Formation of the Cerknjščica and the flooding of Cerknjško polje = Nastanek Cerknjščice in poplavljenje Cerknjškega polja. Acta Carsologica, 32, 2, pp. 121–136.
- Šušteršič, F., Šušteršič, S., Stepišnik, U., 2003. The late quaternary dynamics of Planinska jama, south-central Slovenia. [S. l.], British Cave Research Association, pp. 89–96 pp.
- Waltham, T., Bell, F., Culshaw, M., 2005. Sinkholes and subsidence : Karst and cavernous rocks in engineering and construction. Chichester, Springer, Praxis, pp. 382–382.
- Waltham, T., Bell, F., Culshaw, M., 2010. Sinkholes and subsidence : Karst and cavernous rocks in engineering and construction. Chichester, Springer, Praxis, 382 pp.

JAME, DENUDIRANE JAME IN UDORNICE KOT KAZALNIKI NEKDANJEGA HIDROLOŠKEGA DELOVANJA PLANOTE GRABOVICA (BOSNA IN HERCEGOVINA)

Povzetek

Planota Grabovica je korozijska uravnava med Livanjskim in Duvanjskim poljem v južni Bosni in Hercegovini. Površje v celoti gradi zakrasela karbonatna podlaga in leži visoko nad gladino podzemne vode v krasu. Podzemni tokovi pod zakraselo planoto so usmerjeni proti zahodu. Na Duvanjskem Polju je glavni ponor Kovači, od koder je glavčina podzemnih tokov usmerjena proti robu planote na Livanjskem polju, kjer se nahaja izvir Vrilo.

Na površju planote Grabovica je večje število udornic; poleg njih smo identificirali tudi daljše odseke denudiranih jamskih sistemov, ki so najboljšejši v Dinarskem

gorstvu. Te površinske kraške oblike so v kombinaciji z aktivnimi in neaktivnimi jamskimi sistemi glavni kazalniki preteklega hidrološkega delovanja na tem območju. Namen raziskave je bila analiza geomorfoloških in speleoloških značilnosti na osnovi omenjenih oblik ter interpretacija preteklega in sedanjega hidrološkega delovanja tega območja.

Metode so vključevale morfološko analizo površinskih kraških oblik, ki je obsegala obsežno terensko kartiranje, podprto s podatki daljinskega zaznavanja. Raziskava na terenu je vključevala podrobno analizo pobočij udornic in proučevanje sedimentov v udornicah ter denudiranih jamskih sistemih. Proučevanje jamskih sistemov je vključevalo analizo jamskih oblik in sedimentov na terenu ter podatke, zbrane v predhodnih speleoloških raziskavah (Mandić in sod., 2013; Šumanović in Buntić, 2013; Marković in Ozimec, 2017).

Območje planote Grabovica je šolski primer pretočnega krasa na celotnem območju Dinarskega gorstva. Jamski sistemi na pritočnem delu planote nakazujejo na paragenetsko speleogenezo, ki je značilna za jamske sisteme kontaktnega krasa. Izdatni dotok nepropnega alogenega materiala v kras je povzročil oblikovanje dolgih vodoravnih jamskih rovov v epifreatični coni. Aktivni in neaktivni jamski sistemi vzdolž stika kažejo identične morfološke in sedimentološke značilnosti. Njihova razporeditev vzdolž Duvanjskega polja je posledica lateralne migracije glavne točke odtoka proti severozahodu, njihova vertikalna porazdelitev v različnih višinskih nivojih pa je značilna za večfazno paragenezo (Gospodarič, 1976; Ford in Williams, 2007).

Udornice na planoti kažejo tipični morfološki vzorec. Večina udornic v osrednjem in južnem delu planote kaže značilno zrelo stopnjo razvoja s prevlado uravnoveženih pobočij in skoraj popolno odsotnostjo strmih skalnatih pobočij. Po drugi strani pa je severna skupina udornic v mladi fazi razvoja s prevlado strmih skalnatih pobočij in melišč pod njimi. Nekatere imajo v dneh lijakaste kotanje, ki so posledica nenehnega spodjedanja zaradi delovanja aktivnega podzemnega toka. Morfološke razlike v udornicah kažejo postopno migracijo podzemnih tokov proti severu, enako kot jamski rovi.

Na planoti Grabovica so pogoste denudirane jame. Na tem območju se nahajajo največji poznani sistemi denudiranih jam na celotnem območju dinarskega krasa. Površje planote ima približno enak naklon kot hidravlični gradient v podzemlju, zato so se na površju razvili obsežni neprekinjeni sistemi denudiranih jam. Prostorska razporeditev sistemov denudiranih jam in njihove sedimentne zapolnitve kažejo na to, da se speleogenetske razmere na območju niso bistveno spremenile vse od časa njihovega oblikovanja. Čas oblikovanja pa lahko opredelimo na osnovi paleontoloških analiz iz profila v kamnolomu Cebara na robu Duvanjskega polja. Stratigrafski razpon favne iz profila ima razpon od poznega miocena do zgodnjega pleistocena (Mandić in sod., 2013), kar pomeni, da je starost zapolnitve v profilu vsaj 1,8 Ma. Približno 2 km zahodno od profila v kamnolomu se nahaja denudiran jamski sistem v istem paragenetskem nivoju, kar pomeni, da lahko obema geomorfni oblikama pripišemo okvirno enako starost. Tako lahko zaključimo, da se speleogenetske razmere na območju niso bistveno spremenile vsaj 1,8 Ma.

Na osnovi naših raziskav lahko povzamemo, da je planota Grabovica popoln poligon za študije kontaktnega krasa in paragenetskih jamskih sistemov. Na območju so prisotne vse faze kontaktno kraške speleogeneze od hidrološko aktivnih sistemov,

neaktivnih sistemov do končnega razpada in pojavitve na površju v obliki udornic in denudiranih jam. Poleg tega so predhodne raziskave potrdile obstoj paleontološkega materiala, ki je ključnega pomena za določanje starosti in omogočanje natančnih interpretacij dinamike speleogeneze.

NAVODILA AVTORJEM ZA PRIPRAVO PRISPEVKOV V ZNANSTVENI REVIMI DELA

1. Znanstvena revija DELA je periodična publikacija Oddelka za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Izhaja od leta 1985. Namenjena je predstavitvi znanstvenih in strokovnih dosežkov z vseh področij geografije in sorodnih strok. Od leta 2000 izhaja dvakrat letno v tiskani in elektronski obliki (<http://revije.ff.uni-lj.si/Dela>). Revija je uvrščena v mednarodne baze (Scopus, CGP – Current Geographical Publications, GEOBASE, Central and Eastern European Academic Source, GeoRef, Russian Academy of Sciences Bibliographies, TOC Premier, International Bibliography of the Social Sciences, DOAJ, ERIH PLUS) in ima mednarodni uredniški odbor.
2. V prvem delu so objavljeni znanstveni (1.01 in 1.02 po kategorizaciji COBISS) in strokovni članki (1.04). V drugem delu se objavljajo informativni prispevki v rubriki POROČILA, in sicer biografski prispevki (obletnice, nekrologi), predstavitve geografskih monografij in revij, pomembnejše geografske prireditve in drugi dogodki idr.
3. Znanstveni in strokovni članki so lahko objavljeni v treh jezikovnih različicah: dvojezično slovensko-angleško, samo v slovenskem jeziku, samo v angleškem jeziku. Prispevki morajo imeti naslednje sestavine:
 - naslov članka;
 - ime in priimek avtorja/avtorjev;
 - avtorjev akademski naziv (npr. dr., mag., prof. geog. in zgod.);
 - avtorjev poštni naslov (npr. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, Aškerčeva cesta 2, SI-1000 Ljubljana);
 - avtorjev elektronski naslov;
 - izvleček (skupaj s presledki do 500 znakov);
 - ključne besede (do 8 besed);
 - besedilo članka (skupaj s presledki do 30.000 znakov; v primeru daljših prispevkov naj se avtor predhodno posvetuje z urednikom);
 - v primeru enojezičnih člankov tudi povzetek/summary v drugem jeziku (skupaj s presledki od 5000 do 8000 znakov) ter prevod izvlečka in ključnih besed v drugi jezik;
 - ime prevajalca.
4. Članek naj ima naslove poglavij in naslove podpoglavij, označene z arabskimi številkami v obliki desetiške klasifikacije (npr. 1 Uvod, 2 Metode, 3 Rezultati in razprava, 4 Sklep, Literatura in viri ipd.). Razdelitev članka na poglavja je obvezna, podpoglavja naj avtor uporabi le izjemoma.
5. Avtorji naj prispevke pošljejo v digitalni obliki v formatih *.doc ali *.docx. Digitalni zapis besedila naj bo povsem enostaven, brez slogov in drugega zapletenega oblikovanja, brez deljenja besed, podčrtavanja in podobnega. Avtorji naj označijo le krepki in ležeči tisk. Besedilo naj bo v celoti izpisano z malimi tiskanimi črkami (velja tudi za naslove in podnaslove, razen velikih začetnic), brez nepotrebnih krajšav, okrajšav in kratic.

6. Zemljevidi in druge grafične priloge morajo upoštevati format revije. Če so celostranske, morajo biti velikosti 125 x 170 mm, če so manjše, pa jih omejuje njihova širina – največja dovoljena širina je 125 mm. Črke pri besedilu ne smejo biti manjše od 6 pt. Vse grafične priloge morajo biti oddane kot samostojne datoteke (ne v datoteki z besedilom!), in sicer v rastrskem formatu (npr. *.tiff ali *.jpg) z ločljivostjo najmanj 300 pik na palec (dpi). Grafikoni morajo biti izdelani s programom *Excel* ali sorodnim programom (avtorji jih oddajo skupaj s podatki v izvorni datoteki, npr. Excelovi preglednici). Če avtorji ne morejo oddati prispevkov in grafičnih prilog v navedenih oblikah, naj se predhodno posvetujejo z urednikom. Za grafične priloge, za katere avtorji nimajo avtorskih pravic, morajo priložiti fotokopijo dovoljenja za objavo, ki so ga pridobili od lastnika avtorskih pravic.
7. Avtorji so dolžni upoštevati način citiranja v članku ter oblikovanje seznama virov in literature, preglednic in ostalega grafičnega gradiva, kot je to navedeno v podrobnejših navodilih za pripravo člankov na povezavi <http://revije.ff.uni-lj.si/Dela/about/submissions#authorGuidelines>. Za dela, ki jih je avtor uporabil v elektronski obliki, naj poleg bibliografskih podatkov navede še elektronski naslov, na katerem je delo dostopno bralcem, in datum citiranja. Za znanstvene članke s številko DOI avtorji navedejo samo DOI številko.
8. Znanstveni in strokovni članki bodo recenzirani. Recenzentski postopek je praviloma anonimen, opravita ga dva kompetentna recenzenta, in sicer člani uredniškega odbora ali ustrezni strokovnjaki zunaj uredniškega odbora. Recenzenta prejmeta članek brez navedbe avtorja članka, avtor članka pa prejme recenzentove pripombe brez navedbe recenzentovega imena. Če recenziji ne zahtevata popravka ali dopolnitve članka, se avtorju članka recenzij ne pošlje. Uredniški odbor lahko na predlog recenzentov zavrne objavo prispevka.
9. Avtorji, ki želijo, da se njihov članek objavi v reviji, se strinjajo z naslednjimi pogoji:
 - Pisci besedila z imenom in priimkom avtorstva potrjujejo, da so avtorji oddanega članka, ki bo predvidoma izšel v reviji DELA v okviru Znanstvene založbe Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Aškerčeva 2, 1000 Ljubljana). O likovno-grafični in tehnični opremi dela ter o pogojih njegovega trženja odloča založnik.
 - Avtorji jamčijo, da je delo njihova avtorska stvaritev, da na njem ne obstajajo pravice tretjih oseb in da z njim niso kršene kakšne druge pravice. V primeru zahtevkov tretjih oseb se avtorji zavezujejo, da bodo varovali interese založnika ter mu povrnili škodo in stroške.
 - Avtorji obdržijo materialne avtorske pravice ter založniku priznajo pravico do prve izdaje članka z licenco Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (priznanje avtorstva in deljenje pod istimi pogoji). To pomeni, da se lahko besedilo, slike, grafi in druge sestavine dela prosto distribuirajo, reproducirajo, uporabljajo, priobčujejo javnosti in predelujejo, pod pogojem, da se jasno in vidno navede avtorja in naslov tega dela in da se v primeru spremembe, preoblikovanja ali uporabe tega dela v svojem delu, lahko predelava distribuira le pod licenco, ki je enaka tej.

- Avtorji lahko sklenejo dodatne ločene pogodbene dogovore za neizključno distribucijo različice dela, objavljene v reviji (npr. oddaja v institucionalni repozitorij ali objava v knjigi), z navedbo, da je bilo delo prvič objavljeno v tej reviji.
 - Pred postopkom pošiljanja ali med njim lahko avtorji delo objavijo na spletu (npr. v institucionalnih repozitorijih ali na svojih spletnih straneh), k čemur jih tudi spodbujamo, saj lahko to prispeva k plodnim izmenjavam ter hitrejšemu in obsežnejšemu navajanju objavljenega dela.
10. Avtor sam poskrbi za jezikovno ustreznost svojega besedila in prevoda (vključno z izvlečkom, ključnimi besedami, naslovi h grafičnim prilogam in povzetkom članka). Če je besedilo jezikovno neustrezno, ga uredništvo vrne avtorju, ki mora poskrbeti za lektorski pregled besedila. Če obseg avtorskega dela ni v skladu z navodili za objavo, avtor dovoljuje izdajatelju, da ga po svoji presoji ustrezno prilagodi.
 11. Izdajatelj poskrbi, da bodo vsi prispevki s pozitivno recenzijo objavljeni, če bo imel zagotovljena sredstva za tisk. O razporeditvi prispevkov odloča uredniški odbor. Vsakemu avtorju pripada en brezplačen tiskan izvod publikacije.
 12. Avtorji naj prispevke pošljejo na naslov uredništva:
Oddelek za geografijo
Filozofska fakulteta
Aškerčeva cesta 2, 1000 Ljubljana
s pripisom »za DELA«
oziroma na elektronski naslov
dela_geo@ff.uni-lj.si

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS PREPARING ARTICLES FOR THE SCIENTIFIC JOURNAL – DELA

1. The scientific journal DELA is a periodical publication of the Department of Geography, Faculty of Arts, University of Ljubljana, published since 1985. It is dedicated to presenting scientific and technical achievements in all fields of geography and related disciplines. Since 2000 it has been published twice yearly in print and electronic form (<http://revije.ff.uni-lj.si/Dela>). The magazine is included in the international databases (Scopus, CGP - Current Geographical Publications, GEOBASE, Central and Eastern European Academic Source, GeoRef, Russian Academy of Sciences Bibliographies, TOC Premier, International Bibliography of the Social Sciences, DOAJ, ERIH PLUS) and has an international Editorial Board.
2. Published in the first part are scientific articles (1.01 and 1.02 by COBISS categorisation) and professional articles (1.04). Published in the second part are informative articles categorised as REPORTS as well as biographical contributions (anniversaries, obituaries), reviews of geographical monographs and journals, major events in the field of geography and other events, etc.
3. Scientific and professional articles may be published in one of three language configurations: bilingual Slovene-English, entirely in Slovene or entirely in English. Articles must have the following components:
 - Article title;
 - Name and surname of author/authors;
 - Author's academic title (e.g. dr., mag., prof. geog. and hist.);
 - Author's address (eg. Department of Geography, Faculty of Arts, University of Ljubljana, Aškerčeva cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenia);
 - Author's email;
 - Abstract (up to 500 characters with spaces);
 - Keywords (up to eight);
 - Article text (up to 30,000 characters with spaces; for longer articles authors should consult with the editor before submitting);
 - In cases of articles written in one language, these must also include a summary in the other language (between 5,000 and 8,000 characters with spaces) and translations of the abstract and keywords;
 - Name of translator.
4. The article should have chapter headings and subheadings identified with Arabic numerals in the form of decimal classification (e.g. 1 Introduction, 2 Methods, 3 Results and discussion, 4 Conclusion and References etc.). Structuring the article in chapters is mandatory, authors may use sub-chapters only in exceptional cases.
5. Authors should submit their articles as digital copies - format may be *.doc or *.docx. The digital version of the text should be completely clean, without styles and other sophisticated design, without line break hyphenation nor underlining, and so forth. Authors may mark using only bold and italic text. The text should be written

- entirely in lowercase (including in the title and subtitle, with the exception of capitalised words) without unnecessary contractions, acronyms and abbreviations.
6. Maps and other graphic materials must conform to the format of the journal. Full-page figures need to be sized 125 x 170 mm, while smaller figures are restricted to a maximum width of 125 mm. Font size in the article (including in figures) must be at least 6pt. All graphic materials must be submitted as individual files (i.e. not as part of the file with the text), and those in Raster formats (e.g. *.tiff or *.jpg) must have a resolution of at least 300 dots per inch (dpi). Charts must be prepared in *Excel* or a similar programme (authors should submit them together with the data in the source file, eg. Excel spreadsheet). If authors are unable to submit articles and graphic materials in the mentioned forms, they should consult with the editor. If an author is not the copyright holder of graphic materials then they must attach a photocopy of the approval for publication, which they have obtained from the copyright owner.
 7. In articles authors are obliged to comply with the citation style and produce a reference list, tables and other graphic materials, as outlined in the detailed guidelines for the preparation of articles - available at <http://revije.ff.uni-lj.si/Dela/about/Submissions#authorGuidelines>. In instances where the author used electronic resources, in addition to the bibliographic details they should also provide a URL where readers can access the resources, and note the date it was accessed. For scientific articles with a DOI number, authors should provide only the DOI number.
 8. Scientific and professional articles will be peer reviewed. The peer-review process is generally anonymous, carried out by two competent reviewers, namely members of the Editorial Board or relevant experts not on the Editorial Board. Reviewers receive an article without the author's name being revealed, the author of the article receives the reviewer's comments, without being given any reviewers' names. If reviewers do not demand corrections or amendments be made to the article, the reviewers do not send the author the reviewed article. Based on recommendations from the reviewers the Editorial Board may refuse to publish the article.
 9. Authors wishing to have their article published in the journal agree to the following conditions:
 - Listed authors (name and surname) confirm that they are the authors of the submitted article, intended for publication in the journal DELA, a publication of the Ljubljana University Press, Faculty of Arts [Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani] (University of Ljubljana, Faculty of Arts, Aškerčeva 2, 1000 Ljubljana). Decisions concerning graphic design and technical production of the work and the conditions of its marketing are at the discretion of the publisher.
 - Authors guarantee that the work is their own original composition, that no third parties have rights to the work, and that the article does not violate any other rights. In the case of third-party claims authors undertake to protect the interests of the publisher and cover the publisher's damages and costs.

- Authors retain copyright and recognise the publisher's right of first publication; the article will be licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (attribution of authorship and shared authorship are covered by the same conditions). This means that text, pictures, graphs and other components of the work can be freely distributed, reproduced, used, communicated to the public and processed, provided that author's name and the article title are clearly and prominently indicated, and that in cases where changes or modifications are made or the work is used in other work, it can be distributed only under a license identical to this one.
 - Authors may enter into additional separate contractual arrangements for non-exclusive distribution of the version of the work, published in the journal (e.g. submit it to an institutional repository or publish it in a book), with an acknowledgement that the work was first published in this journal.
 - Before the submission process or during it authors can publish work on the internet (e.g. in institutional repositories or on their own websites), which we also encourage, as this can contribute to a fruitful exchange as well as rapid and widespread referencing of the published work.
10. Authors themselves ensure that the language used in their text is appropriate and that acceptable translations are provided (including of the abstract, keywords, titles of graphic materials and summary of the article). If the language is inappropriate the Editorial Board will return it to the author, who must arrange for a professional proofreader to review the text. If the author's work is not in accordance with the instructions for publication, the author allows the publisher at their discretion to make appropriate adjustments.
 11. The publisher shall ensure that all articles that are positively reviewed are published, provided it has funds available for printing. The sequence of articles is decided by the Editorial Board. Each author is entitled to one free copy of the printed publication.
 12. Authors should send articles to the editor:
Department of Geography
Faculty of Arts
Aškerčeva cesta 2, 1000 Ljubljana
attention to "za DELA"
or to e-mail address
dela_geo@ff.uni-lj.si

DELA 49

Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani
Department of Geography, Faculty of Arts, University of Ljubljana

Založnik — Published by

Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani

Izdajatelj — Issued by

Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani

Za založbo — For the Publisher

Roman Kuhar, dekan Filozofske fakultete

Upravnik — Editorial Secretary

Nejc Bobovnik

Naročila – Orders

Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta
Aškerčeva 2, p.p. 580, SI-1001 Ljubljana, Slovenija
e-mail: nejc.bobovnik@ff.uni-lj.si

Cena — Price

15 €

Fotografija na naslovnici/Cover photo:

Neobičajen pogled na v jesen odeto Zgornjesavsko dolino iz Srednjega Vrha. Pozoren bralec bo prepoznal Zgornje Rute (del naselja Gozd Martuljek) in nekdanje smučišče, v ozadju pa tudi vrh Jalovca, Rateške Ponce, vrh Mangarta ter Vitranc (foto: M. Ogrin).

Unusual view at the autumn landscape of the Upper Sava Valley from Srednji Vrh. Careful reader will recognize Zgornje Rute (part of the village Gozd Martuljek) and former ski slope; in the background are the top of Mt. Jalovec, Rateške Ponce range, the top of Mt. Mangart and Mt. Vitranc (photo: M. Ogrin).