

RAZPRAVE PAPERS ARTICLES

UDK 911.2:551.44(497.12-12 "Lašče")

INTENZIVNOST ZAKRASEVANJA V DOLOMITNEM KRASU (NA PRIMERU LAŠČ)

Janja Kogovšek*, Andrej Kranjc**

Izvleček

Večletne občasne meritve in analize vode potoka Predvratnice (Velike Lašče) na treh zaporednih točkah vzdolž njenega toka, od vstopa v jamo Vratnico do ponovnega pojava v vrtači Zajčjak ter končnega izvira Peči, kažejo intenzivnost recentnega zakrasevanja na tem delu dolomitnega dolenskega krasa.

Ključne besede: krasoslovje, hidrologija krasa, dolomitni kras, kemizem vode, kvaliteta vode, intenzivnost zakrasevanja, Dolenjska, Lašče.

KARSTIFICATION INTENSITY IN THE DOLOMITIC KARST (LAŠČE CASE STUDY)

Abstract

Periodical measurements and water analyses of the Predvratnica brook

* mag., dipl. ing. kem., Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, 66230 Postojna

** dr. geogr., Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, 66230 Postojna

(Velike Lašče) during last years on three consecutive points of the water flow, from the cave Vratnica entrance to its reappearing in the Zajčjak doline and final Peči spring, show the intensity of the recent karstification on this part of dolomitic karst of Dolenjska.

Key words: karstology, karst hydrology, dolomitic karst, water chemistry, water quality, karstification intensity, Dolenjska, Lašče.

Uvod

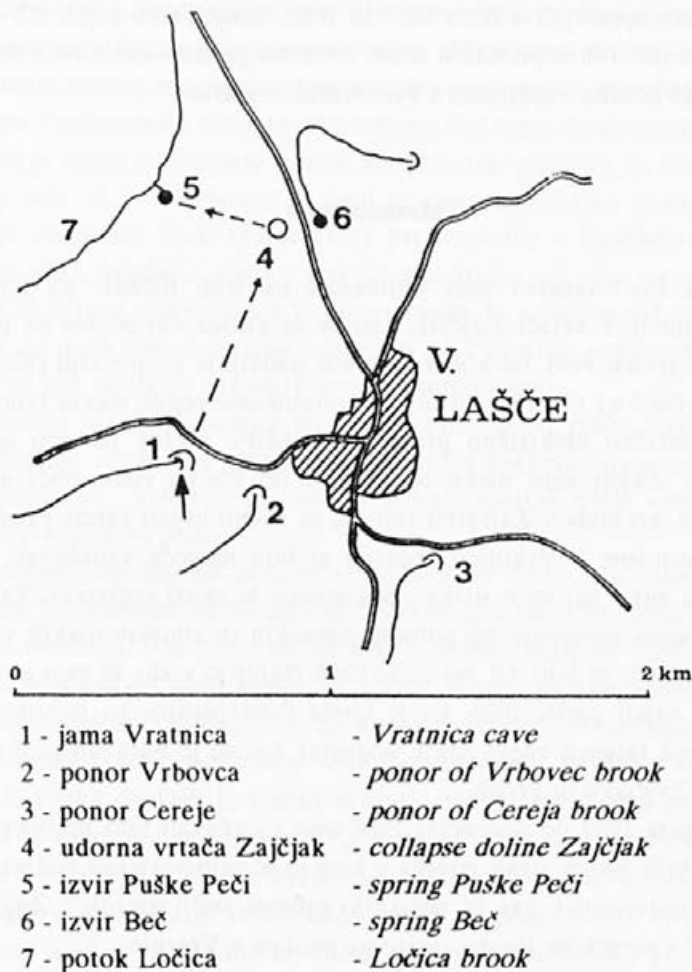
Lašče ali Laška pokrajina (Petrič 1976) je ozemlje, pretežno na neprepustnih permokarbonskih kamninah, obdano s kraškim svetom Notranjske in Dolenjske. Leži v podolju, ki se vleče od Ljubljanskega barja preko Lašč in Ribniško-Kočevskega polja do Kolpe. Sredi Lašč, v okolici Velikih Lašč, je kraška krpa, ki jo poenostavljeno imenujeva laški kras.

Laški kras obsega okoli 2 km² ozemlja. Z J in Z ga omejuje gričevje iz neprepustnih paleozojskih in triadnih kamnin, na V prelomna pretrta (milonitna) cona v vznožju Male gore, na S pa dolina Raščice. Neprepustno obrobje grade kremenovi konglomerati in peščenjaki s precej sljude in lečami hematita, limonit ter glineni skrilavci. Triadne kamnine so pretežno dolomiti z vložki skrilavcev, peščenjakov, laporjev, konglomerata, apnencev in boksita (Ramovš & Kochansky-Devidé 1965; Buser 1974).

Po geološki karti (Ribnica 1:100.000) gradi to ozemlje zgornjetriadni (norijski in retijski) pasasti in zrnati dolomit z vložki svetlosivega apnenca. Tako videz same kamnine kot tudi kraškega površja kažeta, da gre za različne tipe dolomita oziroma za različno podvrženost kamnine zakrsevanju. Ponekod je površje ravno in gladko, drugod pa vrtačasto z jamskimi vhodi. To potrjujejo tudi posamične analize: vzorec kamnine, vzet iz vhodnega dela jame Vratnice na J robu laškega krasa, ki je po geološki karti dolomit, je po Folkovi klasifikaciji biomikrit z opaznim procesom dolomitizacije kalcita. Glede na razmerje kalcit - dolomit je kamnina "dolomitski apnenc" s 70 % CaCO₃ (Kranjc 1981).

V neprepustni okolici laškega krasa izvira več manjših potokov (Predvratnica, Vrbovec, Cereja), ki na stiku s kraškim svetom ponikajo,

bodisi v jame (Predvratnica, Vrbovec), bodisi v neprenehodne ponikve (Cereja). Ti podzemeljski tokovi so plitvo pod površjem (5-20 m), tako, da večja vrtača Zajčjak prekine del podzemeljskega toka. Na odtočni strani laškega krasa in v dolini Raščice pa te vode zopet izvirajo (sl. 1).



Sl. 1: Hidrografska skica okolice Velikih Lašč.

Fig. 1: Hydrographic phenomena around Velike Lašče.

Da bi preverili oziroma ugotovili podzemeljske vodne zveze laškega krasa, smo 1987 opravili sledenje (Kogovšek & Kranjc 1987), vode pa smo

opazovali tudi še kasneje, saj gre po eni strani za dobro "kontroliran" in omejen kraški svet, po drugi strani pa za dolomitni kras, ki je pri nas, gledano na splošno, precej manj znan in preučevan od krasa na apnencih.

Potok Predvratnico smo vzorčevali od 1986 do 1991. Bolj pogoste meritve smo opravljali v letih 1987 in 1988. Skupaj smo zajeli 27 vzorcev na vsakem od treh zaporednih mest, občasno pa smo vzorčevali še potok Vrbovec, ki ponika vzporedno s Predvratnico v kras.

Metodologija

Potok Predvratnico smo vzorčevali na treh točkah: na ponoru v jamo Vratnico, v vrtači Zajčjak, kjer se za kratek čas pojavi na površju, nato pa v izviru Peči, od koder svoj tok nadaljuje po površju (Kogovšek & Kranjc 1987 a). Ob vzorčevanju na terenu smo redno merili temperaturo in specifično električno prevodnost (SEP), pretok pa smo lahko le ocenjevali. Zajeli smo nizke ter srednje do visoke vode, občasnih najvišjih voda, ko voda v Zajčjaku zastaja, pa nismo uspeli zajeti. Predvratnice pred ponorom v Vratnico občasno ni bilo mogoče vzorčevati, ker je bila struga suha, saj se je nizka voda scejala le skozi sediment. Take razmere običajno nastopajo ob poletno-jesenskih in zimskih nizkih vodostajih. Tako stanje je bilo 3.8. ter 22.12.1988. Najvišjo vodo, ki smo jo vzorčevali, smo zajeli aprila 1986, ko je imela Predvratnica na ponoru zaradi intenzivnega taljenja snega visok vodostaj, kar se je odrazilo tudi v sestavi vode v Zajčjaku in Pečeh.

Od maja 1987 do decembra 1988 smo vzorčevali tudi potoček Vrbovec, ki dobrih 100 m stran ponika v kras in se zelo verjetno podzemeljsko pridruži Predvratnici, kar bi pojasnilo opazno večji pretok v Zajčjaku v primerjavi s pretokom Predvratnice na ponoru v Vratnico.

Vzorcem smo v laboratoriju določevali karbonatno, kalcijevo in celokupno trdoto, vsebnost kloridov, nitratov, o-fosfatov, kemijsko potrebo po kisiku (KPK), biokemijsko potrebo po kisiku (BPK₅) ter vsebnost raztopljenega kisika po standardnih metodah, kot so navedene v Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1975) in v Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung (1991).

Rezultati meritev in analiz

Temperatura, pH in specifična električna prevodnost

Predvratnica pred ponorom v Vratnico odraža močno nihanje zunanje temperature. Preko leta sezonsko niha. Od oktobra do maja nastopajo nizke temperature, minimalne temperature se spustijo celo do 0°C, tako da je bila Predvratnica občasno zamrznjena. Od maja do oktobra pa nastopa obdobje višjih temperatur v letu. Maksimalna vrednost, ki smo jo zabeležili, je bila 16 °C. Vrbovec je imel na ponoru običajno nekaj desetink °C višje vrednosti. Tudi temperatura Predvratnice v Zajčjaku in Pečeh sezonsko niha, vendar z znatno manjšo amplitudo, saj niha v intervalu od 6 do 10°C. Njuna temperatura je skoro enaka, le v hladnejših mesecih od oktobra do maja smo v Zajčjaku izmerili do 1°C nižjo temperaturo, medtem ko so bile razlike v toplejših mesecih minimalne.

Meritve pH Predvratnice so podale nihanja od rahlo kisle vode do rahlo alkalne, vendar pa nismo uspeli izluščiti kakšnih odvisnosti od drugih parametrov. Vrbovec je imel do nekaj desetink nižje vrednosti pH kot Predvratnica na ponoru.

Predvratnica ima na ponoru nizko SEP, ki preko leta niha od 43 do 70 $\mu\text{S cm}^{-1}$, izjemoma do 98 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Vrbovec je imel običajno še nekoliko nižje vrednosti (od 23 do 66 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Nizke vrednosti SEP kažejo na nizko mineralizacijo vode, ki ponika v kras in torej na njeno veliko potencialno korozivnost. Do Zajčjaka, do koder znaša zračna razdalja 800 m ob 30 m višinske razlike, potrebuje voda (ob pretoku v Zajčjaku 14 l s⁻¹), 18 ur. Od Zajčjaka do Peči je zračna razdalja 350 m in višinska razlika 3 m, voda pa je za to pot potrebovala 7.5 ur (Kogovšek & Kranjc 1987 b). Ob visokem vodostaju je ta čas krajši, ob nizkem pa daljši. Razvidna so nihanja SEP v Zajčjaku in Pečeh, medtem ko na ponoru SEP le malo niha. Vrednosti SEP v Zajčjaku in Pečeh preko leta sezonsko nihajo. Višje vrednosti nastopajo ob nizkih pretokih poleti in v začetku jeseni. Pri tem potekajo vrednosti SEP na obeh točkah dokaj vzporedno, le da so v Pečeh od 50 do 90 $\mu\text{S cm}^{-1}$ višje. 1987 in 1988 so bile naše meritve najpogostejše. Zato smo za ti leti izračunali povprečne vrednosti, ki so razvidne iz tab. 1, kot tudi maksimalne in minimalne vrednosti SEP za vodo v Zajčjaku in Pečeh.

Tabela 1

Količina		Zajčjak		Peči	
		1987	1988	1987	1988
SEP povpr.	$\mu\text{S cm}^{-1}$	354	358	412	426
SEP max	"	529	558	576	615
SEP min	"	231	260	284	316
Karbonati povpr.		3.48	3.36	4.07	4.01
"	max mekv l^{-1}	5.24	5.38	5.68	5.82
"	min "	2.30	2.52	2.92	3.18
Celokupna trdota povpr.		3.57	3.60	4.08	4.32
	max mekv l^{-1}	5.20	5.80	5.66	6.28
	min "	2.28	2.46	2.90	3.16

Trdote vode

Voda Predvratnice je karbonatna, vsebuje kalcij in magnezij, razmerje Ca/Mg pa le malo niha okoli vrednosti 1. Močno povečane trdote v Zajčjaku in Pečeh odražajo karbonatno kamnino, skozi katero teče in jo korodira. Med karbonatnimi in celokupnimi trdotami na posamezni točki so le minimalne razlike.

Potek karbonatne in celokupne trdote je na vseh treh točkah zelo podoben poteku SEP. Na ponoru v Vratnico ima Predvratnica povprečno karbonatno trdoto 0.47 mekv l^{-1} , celokupno trdoto pa 0.52 mekv l^{-1} .

Kvaliteta Predvratnice vzdolž njenega toka

Redno, ob že naštetih analizah, smo vzorcem vode določevali tudi vsebnost kloridov, nitratov, sulfatov, o-fosfatov, raztopljeni kisik, KPK in BPK₅.

Na ponoru je Predvratnica vsebovala le kakšen mg l^{-1} kloridov, nitratov običajno pod 2 mg l^{-1} in le izjemoma do 4 mg l^{-1} , pod 0.1 mg l^{-1} o-fosfatov, sulfatov pa pod 8 mg l^{-1} . S kisikom je bila običajno nasičena, le ob visokih pretokih je dosegala nekoliko nižje vrednosti. KPK je dosegala

običajno vrednosti pod $4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, občasno pa tudi do $8 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$.

V Zajčjaku in Pečeh so bili kloridi opazno povečani, saj smo jih v Zajčjaku določevali v koncentracijah od 2 do $15 \text{ mg Cl}^- \text{ l}^{-1}$, v Pečeh pa celo do $21 \text{ mg Cl}^- \text{ l}^{-1}$. Podobno smo v Zajčjaku izmerili do $13.2 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$, v Pečeh pa do $16.7 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Koncentracija kloridov in nitratov vzdolž toka torej narašča.

Vrednosti fosfatov so na obeh mestih približno enako nihale, od 0.02 do $0.23 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$, izjemoma smo v Zajčjaku zabeležili koncentracijo 0.42 mg l^{-1} . KPK v Zajčjaku in Pečeh je običajno dosegala le nekaj $\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, pogosto se je do Peči celo nekoliko znižala, kar verjetno kaže na potek samočistilnih procesov pri podzemeljskem pretakaju, na kar ugodno vplivata sorazmerno majhno onesnaženje in dobra preskrbljenost s kisikom. Vendar pa smo nekajkrat zabeležili tudi višje vrednosti KPK (n.pr. $12 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$), kar kaže na občasno poslabšano kvaliteto vode.

Te analize so pokazale, da je Predvratnica nekoliko onesnažena, kar smo tudi pričakovali, saj so na površju takoj nad ponorom kmetije in stanovanjske hiše, nad njenim nadaljnjim tokom pa predvsem obdelane njive. Na ponoru so analize KPK pokazale organsko onesnaženje, ki je bilo občasno še večje kot v nadaljnjem toku, vendar z nizko vsebnostjo kloridov, nitratov in o-fosfatov, ki pa se opazno povečajo v nižjem toku Predvratnice, kar kaže na razkrojevalne procese.

Korozijski učinki Predvratnice

SEP odraža predvsem raztopljene karbonate oz. Ca^{2+} in Mg^{2+} , saj so drugi ioni v manjšini. Od ponora do Zajčjaka poraste karbonatna trdota povprečno za 3 mekv l^{-1} oz. se v vsakem litru vode raztopi $150 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, od Zajčjaka do Peči pa se poveča še za nadaljnjih 0.6 mekv l^{-1} oz. $30 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Če ocenimo povprečni letni pretok s 13 l s^{-1} , ocenjujemo letno korozijo do Zajčjaka na 61.5 t karbonatov, izraženih v CaCO_3 , od Zajčjaka do Peči pa še za 12.3 t CaCO_3 , kar na celotni relaciji zneso zaokroženo 74 t CaCO_3 karbonatov na leto. Čeprav se na poti od Zajčjaka do Peči voda zadržuje le 1.7-krat manj časa kot od ponora do Zajčjaka, pa raztopi kar 5-krat manj kamnine, kar kaže na intenzivnejše raztapljanje takoj za ponorom, ko je korozijski potencial največji, ki pa v notra-

njost postopno pada, kar lahko pojasnjuje obliko jame. Če bi računali letni korozijski učinek na osnovi celokupne trdote, bi bil izračun nekoliko višji (5 %), vendar proporcionalen.

Podoben rezultat je dal tudi izračun korozije ob pretoku 14 l s^{-1} , ko je dnevna korozija znašala 199 kg CaCO_3 . Če vzamemo dani pretok kot povprečni letni, bi letna korozija znesla 73 t CaCO_3 (Kogovšek & Kranjc 1987a), kar je bila, kot se je izkazalo, zelo dobra ocena.

Seveda je stopnja korozije ob visokem vodostaju precej nižja, kar smo zabeležili 4.4.1986, ko je od ponora do Peči voda raztopila le 1.08 mekv l^{-1} karbonatov oz. $54 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Vendar pa vemo, da učinek korozije zavisi predvsem od količine vode. Tudi Gams (1980) in Habič (1968) sta ugotavljala vpliv količine vode na količino raztopljenih kamnin. V našem primeru so to pokazale tudi konkretne meritve.

Stopnja korozije ali raztapljanja je količina karbonatov, ki jih 1 liter vode raztopi na določeni poti. Izračunano razmerje med stopnjama korozije na poti od ponora do Peči ob najmanjšem zabeleženem pretoku oz. ob najvišji stopnji korozije 3.8.1988 in ob najvišjem zabeleženem pretoku 4.4.1986, ko je bila stopnja korozije najnižja, je znašalo 4.5. To pomeni, da se raztopi v 1 litru vode ob najugodnejših razmerah 4.5-krat več karbonatov, kot pa ob najneugodnejših razmerah ob visokih pretokih. Pretok Predvratnice v Zajčjaku smo 3. 8. 1988 ocenili na 1 l s^{-1} , 4.4.1986 pa na okoli 30 l s^{-1} . Iz tega sledi, da je nihanje pretokov znatno večje kot nihanje stopnje korozije. Na korozijo torej močneje vpliva količina vode v primerjavi s količino karbonatov, ki jih voda lahko raztopi.

Na osnovi dvoletnih pogostnejših meritev v letih 1987 in 1988 in pri oceni povprečnega letnega pretoka na 13 l/s , smo izračunali, da raztopi Predvratnica letno od ponora do Zajčjaka (zračna razdalja 800 m) 61 t CaCO_3 , od Zajčjaka do Peči (zračna razdalja 350 m) pa le 13 t CaCO_3 (tab. 2). Torej se na začetnih 800 m poti do Zajčjaka, ki je 2.3-krat daljša od nadaljnje poti do Peči, raztopi kar 4.7-krat več karbonatov, čeprav je zadrževalni čas na odseku Zajčjak - Peči sorazmerno velik. To kaže na postopno upadanje intenzivnosti korozije.

Tabela 2

	Vratnica-Zajčjak	Zajčjak-Peči
Zračna razdalja (m)	800	350
Višinska razlika (m)	30	3
Čas potovanja pri $q = 14$ l/s (h)	12.5	7.5
Letna korozija (t CaCO ₃)	61	13

Sklep

Potok Predvratnica ima zaradi nizkih trdot pri vstopu v jamo Vratnico velik korozijski potencial in vzdolž svojega podzemeljskega teka raztaplja znatne količine karbonatne kamnine. Predvratnici se verjetno podzemeljsko pridruži po kemijskih parametrih zelo soroden potok Vrbovec, vendar bi to morali potrditi še s sledenjem.

Intenzivnost raztapljanja karbonatne kamnine z oddaljenostjo od ponora postopno pojenjuje, s čimer bi lahko razložili tudi obliko jame s prostornim vhomom in nadaljnjim rovom, ki se v notranjost vse bolj manjša. Upadanje intenzivnosti korozije je pokazal letni izračun odnešenih karbonatov na odsekih Vratnica - Zajčjak in Zajčjak - Peči. Odsek Vratnica - Zajčjak je sicer 2.3-krat daljši, vendar se v njem raztopi kar 4.7-krat več karbonatov kot na spodnjem odseku, čeprav je zadrževalni čas tu zaradi slabega padca sorazmerno daljši.

Primerjava intenzivnosti raztapljanja ob nizkih in visokih vodostajih je pokazala na dominantni vpliv pretoka oz. količine vode v primerjavi s stopnjo korozije, ki jo voda Predvratnice lahko doseže. Letna korozija od ponora Predvratnice v Vratnico do izvira v Pečeh znaša 74 t kamnine.

Viri in literatura

- Buser**, S., 1974: Tolmač lista Ribnica, OGK 1:100.000. - Zvezni geološki zavod, 1-60, Beograd
- Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamm-Untersuchung, 25. Lieferung, 1991
- Gams**, I., 1980: Poglavitni dejavniki kemične erozije na krasu po svetu. -

Geografski vestnik 52, 3-15, Ljubljana

Habič, P., 1986: Kraški svet med Idrijco in Vipavo. - 1-243, Ljubljana

Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1987a: Kras v okolici Velikih Lašč. - Dolenjski kras, 2, 31-35, Novo mesto

Kogovšek, J. & A. Kranjc, 1987b: Kam teče Predvratnica. - Naše jame, 29, 39-42, Ljubljana

Kranjc, A., 1981: Prispevek k poznavanju razvoja krasa v Ribniški Mali gori. - Acta carsologica, 9, 27-85, Ljubljana

Petrič, I., 1976: Laška pokrajina in njena prirodnogeografska delitev. - Geogr. obzornik, 23, 1-2, 8-12, Ljubljana

Ramovš, A. & V. Kochansky-Devidč, 1965: Razvoj mlajšega paleozoika v okolici Ortneka na Dolenjskem. - Razprave, 8, SAZU, razr. 4, 319-416, Ljubljana

Standard Methods for Examination of Water and wastewater, 14th Edition, 1975

KARSTIFICATION INTENSITY IN THE DOLOMITIC KARST (LAŠČE CASE STUDY)

Summary

Due to low hardnesses of the Predvratnica brook at its entrance to Vratnica cave the corrosion potential is considerable and on the underground flow big amount of carbonate rocks is dissolved. In the underground Predvratnica is probably joined by Vrbovec brook, which has very similar chemical parameters, but this hypothesis has to be checked by water tracing.

The intensity of the carbonate rocks dissolution progressively diminishes by the distance from the ponor which is indicated by the cave's shape too, spacious entrance is followed by more and more small channel in the interior. The corrosion intensity decrease was evidenced by annual calculation of transported carbonates on the distance Vratnica - Zajčjak and Zajčjak - Peči. The section Vratnica - Zajčjak is namely 2.3-times longer but 4.7-times more carbonates are dissolved compared to the lower part, although the retention time in the lower part is due to modest inclination relatively longer.

Comparison of dissolution intensity between low and high waters showed dominant influence of discharge, water quantity respectively over the corrosion degree which could be reached by the Predvratnica water. Annual corrosion from Predvratnica ponor into Vratnica cave and to the Peči spring amounts to 74 t of the rock.