

PRENIKAJOČA VODA V JAMAH PRIMORSKEGA KRASA

Janja KOGOVSĚEK

mag., Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, 66230 Postojna, Titov trg 2, SLO
MD, Istituto per lo studio del Carso presso il CRS ASSA, 66230 Postojna, Titov trg 2, SLO

IZVLEČEK

Prispevek podaja značilnosti prenikajoče vode v jami Vilenici in v Divaški jami na osnovi meritev in analiz voda v istem časovnem intervalu sredi osemdesetih let. Ugotovili smo, da je prenikla voda v obeh jamah čista, kar je posledica nenaseljenosti površja nad njima. V članku je predvsem poudarek na koroziji karbonatnih kamnin v jamskem stropu obeh jam. Podane so tudi ugotovitve izločanja sige kot tudi primer nenasičene prenikle vode v Divaški jami, ki kaže znake razjedanja sige, ter primerjava z značilnostmi prenikajoče vode v Škocjanskih jamah.

UVOD

Na kraškem svetu padavinska voda, ki pade na njegovo površje delno odhlapi, kar je odvisno predvsem od temperature in vlage. Del padavinske vode porabi rastlinstvo za svojo rast, in ta del preko leta zelo niha, saj prihaja v času prebujajoče se vegetacije spomladi do znatno večje porabe vode kot pozno jeseni in pozimi. Preostali del padavinske vode po evapotranspiraciji pa prenika skozi kraške kamnine in se ponovno pojavi v podzemeljskih jamah kot kapljanja ali curki. V času zimske zmrzali, ko ostajata sneg in led zaradi nizkih temperatur dalj časa na površju, je onemogočen odtok v podzemlje. Šele ob odjugu se te količine vode sprostijo, kar se odrazi na pretokih curkov v jamah.

Na nihanje pretokov curkov in kapljanj, ki jih srečujemo v podzemeljskih jamah, vpliva tako količina in razporeditev padavin, evapotranspiracija, kot tudi način prenikanja vode skozi kamnine. Tako srečujemo v podzemlju različno izdatne curke. Na eni strani so počasna kapljanja, v katere doteka voda po slabo prepustnih vodnikih, ki pogojujejo počasno izmenjavo vode oz. močno dušenje padavinskih vplivov s površja. Pretok takih kapljanj le počasi reagira na padavine kot tudi kasneje zelo počasi upada, njegova nihanja pa so majhna. Izdatnejši curki hitreje odražajo padavine na površju; njihovi časovni zamiki za padavinami so do nekaj ur, medtem ko so pri drobnem kapljanju do nekaj dni. Pretok izdatnejših curkov se tudi močno spreminja v primerjavi s kapljanji, ki jim pretok le umirjeno niha. Razmerje med minimalnim in maksimalnim pretokom izdatnejših curkov dosega celo vrednosti 1 : 1000 do

1 : 5.000 (P. Habič & J. Kogovšek, 1980). Med izdatnimi curki so nekateri stalni, torej imajo takšno in tako obsežno zaledje, ki jim zagotavlja vodo preko celega leta, in s površja odvajajo znatne količine vode. Nekateri curki pa niso stalni in odvajajo vodo le krajši čas v času izdatnih in intenzivnih padavin, nato pa presahnejo.

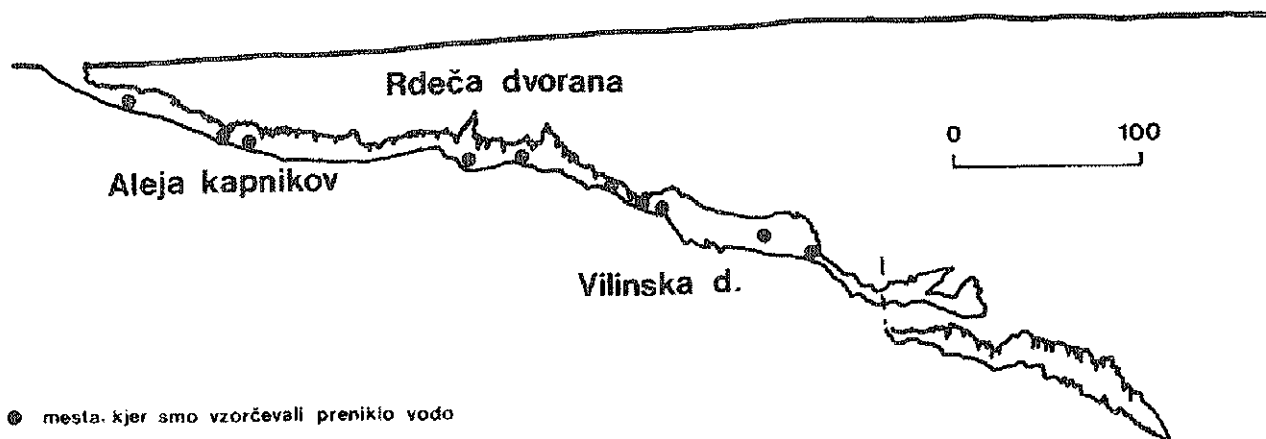
VILENICA

Letno količino padavin na območju jame Vilenica ocenjujemo na 1300 mm. V jami smo v letih 1984 in 1985 spremljali preniklo vodo od vhoda do Fabrisove dvorane. Debelina jamskega stropa na opazovanih mestih dosega od 10 do 130 m. V jami prevladujejo drobna kapljanja in le nekatera od njih ob izdatnih padavinah prehajajo v drobne curke. Meritve pretokov so podale njihova nihanja, analize zajetih vzorcev pa so pokazale na količino karbonatne kamnine, ki jo prenikajoča voda raztopi na svoji poti prenikanja.

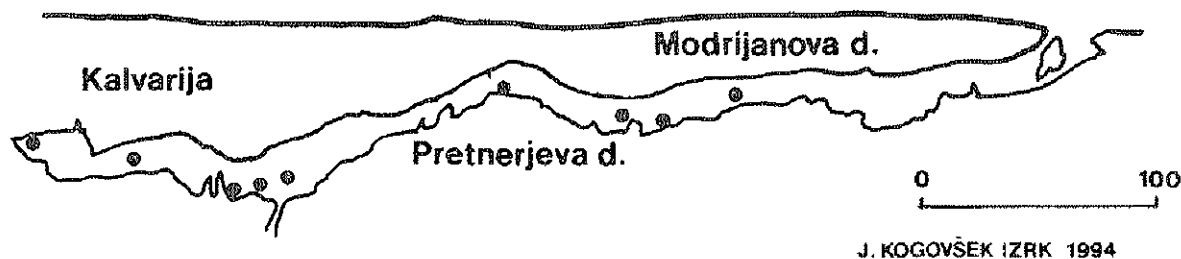
Pregledali smo tudi vsebnost kloridov, sulfatov in nitratov v preniklih vodah, katerih povišana vsebnost je pokazatelj onesnažene vode. Določili smo nizke vrednosti teh parametrov, kar je potrjevalo, da so prenikle vode vzdolž Vilenice čiste. To je tudi skladno z dejstvom, da je njeno površje neposeljeno niti ni na tem območju kakega odlagališča odpadkov, kar bi se sicer hitro odrazilo v kvaliteti prenikle vode.

S slike 1 so razvidne točke, kjer smo od maja 1984 do septembra 1985 vzorčevali prenikle vode. Zajeli smo tako nizke vode v sušnem obdobju kot visoke v spomla-

Vilenica



Divaška jama



Slika 1.

danskem in jesenskem namočenem obdobju. Ob vzorčevanju smo vsakokrat izmerili pretok vode, njeno temperaturo in specifično električno prevodnost (SEP). V laboratoriju smo določevali še karbonatno, kalcijevo in celokupno trdoto, kot merilo korozije karbonatnih kamnin v jamskem stropu.

Pretoki kapljanj ob spomladanskih nizkih vodah in v času poletne suše niso presegali 8 ml min^{-1} . Višje pretoke, ko so nekatera kapljanja prešla v curke, smo izmerili pozimi, spomladi in jeseni v času neposredno za padavinami. Tedaj le redka kapljanja niso presegala 10 ml min^{-1} , kar pa je morda vzrok v različnem pretakanju v zaledju posameznih curkov, ki se tako lahko odrazi v zapozneli reakciji. Vendar pa tudi najizdatnejši curki niso presegali 100 ml min^{-1} . Ugotavljali smo, da pretoki kapljanj v Vilenici preko leta le malo nihajo, saj nihanja niso presegla razmerja 1 : 20. Podobno smo ugotavljali tudi že pri kapljanjih v Pisanem rovu in drugih jamah, kjer so potekale naše raziskave (J. Kogovšek 1983).

Temperatura kapljanj in curkov v Vilinski dvorani, kjer ni vpliva zunanje temperature, je bila zelo stalna, nihala

je med 10.1 in 10.5°C . Največja nihanja temperature so pri kapljanjih najbližje vhodu, in sicer so opazni večji odkloni predvsem ob nizkih temperaturah pozimi.

Padavinska voda s primesmi, ki se jih navzame pri prehodu skozi zrak in plasti zemljin, pri nadaljnjem prenikanju po razpokah kraških kamnin lete raztaplja in jih hkrati tudi odnaša globlje v kraško notranjost, kjer jih pogosto ponovno odlaga, tako da v podzemeljskih jamah srečujemo najrazličnejše sigaste oblike. Merilo tega odnašanja karbonatov oz. korozije teh kamnin v jamskem stropu so karbonatna, kalcijeva in magnezijeva oz. celokupna trdota preniklih voda.

Korozija apnenca v jamskem stropu

V Vilenici smo imeli možnost, da smo ugotavljali korozijo apnenca na različno dolgi poti prenikanja. Tako smo izmerili, da je 1 liter vode pri prenikanju skozi 10 m debel jamski strop raztopil 245 mg CaCO_3 ; voda, ki je prenikala skozi 130 m debelo kamnino, pa 295 mg CaCO_3 . Pri tem smo na vmesnih točkah z debelino

jamskega stropa do 130 m zabeležili večkrat tudi nekoliko višje vrednosti.

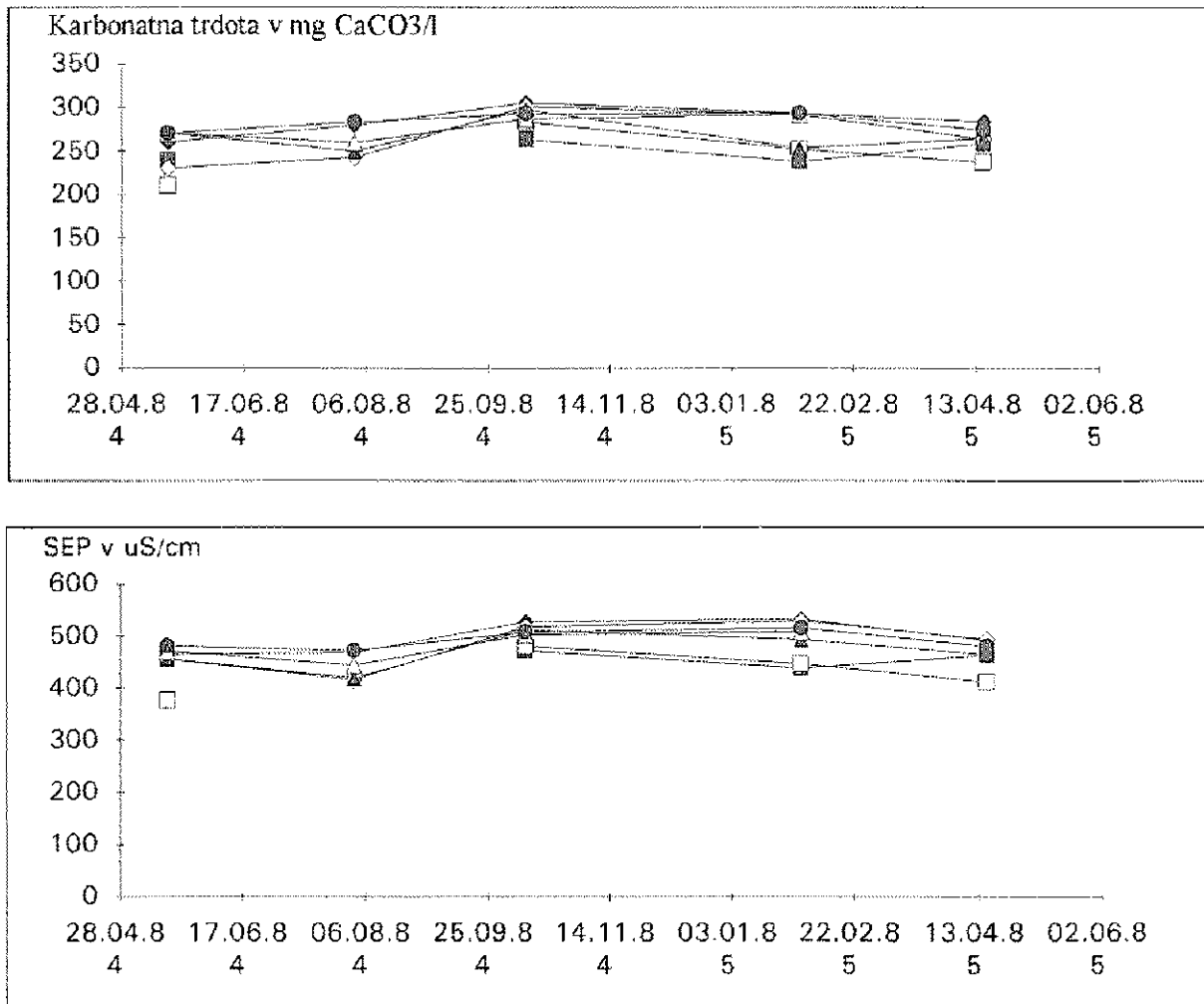
Te meritve kažejo, da prihaja do pomembnega raztapljanja karbonatov že kar na meji med prstjo in matično kamnino, kjer zaradi medsebojnega učinkovanja nastaja plast drobnih delcev kamnine z veliko površino, kar omogoča hitrejšo raztapljanje. Ob določenih razmerah, ko ima voda dovolj veliko transportno moč, pa lahko te delce odnaša s seboj in jih na nadaljnji poti še raztaplja (J. Kogovšek & P. Habič, 1981). Iz opazovanj v Vilenici ter kasneje še številnih drugih slovenskih jamah ugotavljamo, da je raztapljanje karbonatov v jamskem stropu odvisno predvsem od načina penikanja in pogojev za produkcijo CO₂ in drugih kislin v penikli vodi.

Nihanja specifične električne prevodnosti (SEP) preko leta so sorazmerna nihanjem karbonatne trdote in so prikazana na sliki 2. Nihanja obeh parametrov so majhna (karbonatne trdote v obsegu 50 mg CaCO₃ l⁻¹ in SEP 100 μS cm⁻¹), vendar je razviden maksimum jeseni. Glede na že omenjeno dejstvo, da pretoki kapljanj nihajo preko

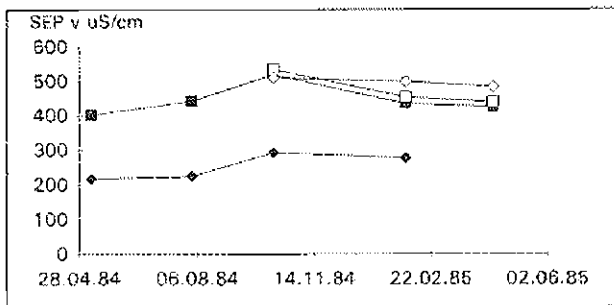
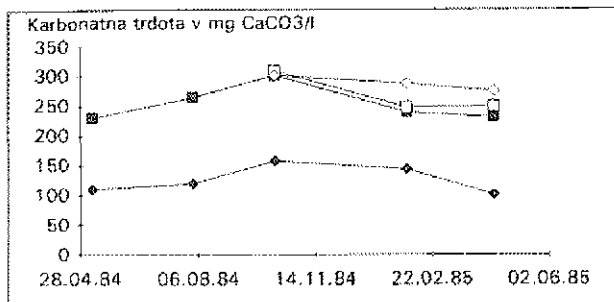
leta le do razmerja 1 : 20, počasna izmenjava vode pojasnjuje tudi sorazmerno neizrazito sezonsko nihanje trdot preko leta. Penikla voda vsebuje le do nekaj mg/l magnezija, tako je glavna komponenta kalcij, kar pomeni, da se pretaka skozi sorazmerno čist apnenec z malo primesmi magnezija. Večina kapljanj je dosegala preko leta karbonatno trdoto med 210 in 330 mg CaCO₃ l⁻¹, SEP pa med 376 in 563 μS cm⁻¹.

DIVAŠKA JAMA

Vzporedno s preučevanjem peniklih voda v Vilenici so potekale tudi meritve v Divaški jami. Letna količina padavin na tem območju je primerljiva s padavinami na površju nad Vilenico. V jami prevladujejo kapljanja. Padavinska voda penika skozi jamski strop, ki je debel od 20 do 60 m. Vode smo pregledali na parametre, ki nakazujejo onesnaženje v vodi, in ugotovili, da so tudi penikle vode Divaške jame čiste, saj so vsebovale v 1 litru le do nekaj mg nitratov, koncentraciji nitratov in



Slika 2. Vilenica. Karbonatna trdota in specifična el. prevodnost (SEP).



Slika 3. Divaška jama. Karbonatna trdota in SEP preniklih voda.

fosfatov pa sta bili na meji detekcije. Tako smo v nadaljnjih raziskavah ugotavljali predvsem raztapljanje kamnine v jamskem strópu (korozijo apnenca), ki pogojuje kasnejše izločanje sige v jami.

S slike 1 je razvidno, kje smo vzorčevali prenikle vode v Divaški jami. Podobno kot v Vilenici smo pri izbranih kapljanjih spremljali pretok, SEP, pH in trdote vode. V sušnem obdobju so pretoki vseh opazovanih kapljanj upadli pod 1 ml min^{-1} , ob dežju spomladi pa smo izmerili pretoke do 160 ml min^{-1} . Večina kapljanj je dosegala pretoke do 80 ml min^{-1} , dva opazovana curka pa sta dosegala tudi dvakrat večje pretoke.

SEP, ki odraža količino raztopljenih karbonatov v vodi, je dosegala vrednosti od 200 do $560 \mu\text{S cm}^{-1}$, karbonatna trdota pa od 101 do $326 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, kar prikazuje slika 3. Karbonatna trdota se le malo razlikuje od celokupne in je preko leta nihala v istem območju kot kapljanja v Vilenici. Kapljanja v Divaški jami vsebujejo le nekaj mg magnezija v litru vode, glavna komponenta je kalcij, podobno, kot smo ugotavljali za preniklo vodo v Vilenici. Vendar pa smo ravno v Vilenici in Divaški jami v okviru raziskanih preniklih voda v jamah slovenskega krasa, v Planinski in Postojnski jami, v Jami pri Predjarni, v Škocjanskih jamah, v Dimnicah in v Taborski jami, zabeležili najvišje trdote. To pa je osnova za bogato izločanje sige danes.

Izločanje sige

Večini kapljanj, ki izločajo sigo, niha SEP med letom od 360 in $560 \mu\text{S cm}^{-1}$, karbonatna trdota pa od 206 do

$326 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Kolikšno je to izločanje, najbolje vidimo iz primerjave s preniklo vodo, ki je polzela po dolgi zavesi in smo jo vzorčevali konec njene poti. Tako so bili ob nizkih pretokih dani pogoji za maksimalno izločanje sige. Najnižje trdote smo konec zavesa izmerili ob nizkem pretoku spomladi, ko je voda vsebovala le od 100 do $110 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. Če predpostavimo, da na vrhu zavesa priteka prenikla voda s trdoto, kot jo imajo bližnja kapljanja, lahko ugotovimo, kolikšno je bilo izločanje sige na zavesi ob posameznih meritvah. Tabela 1 prikazuje to izločanje.

	8.5.84	1.8.84	10.10.84	31.1.85
Pretok v ml min^{-1}	2	2	7	2
Izločeni karbonati v $\text{mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$	120	145	145	95

Tabela 1: Izločanje sige na zavesi iz enega litra prenikle vode, merjeno v mg CaCO_3 .

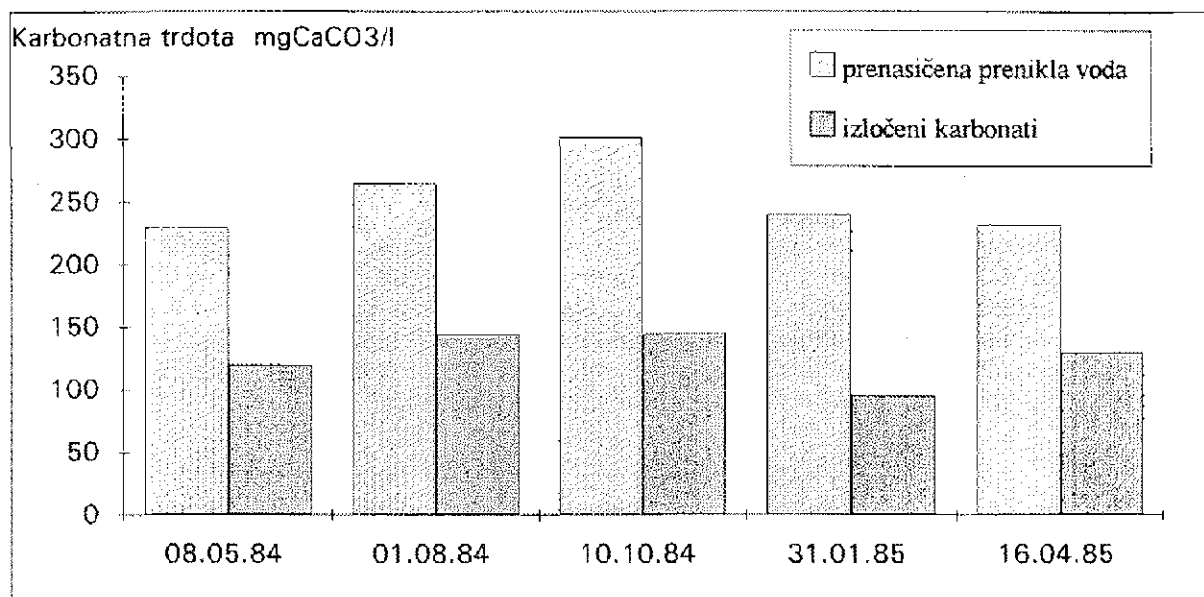
Iz 1 litra prenikle vode se je torej izločalo do 145 mg CaCO_3 . V Škocjanskih jamah smo zabeležili izločanje od 37 do 170 mg CaCO_3 iz 1 litra prenikle vode (J. Kogovšek 1984, 1989, 1992).

Tudi voda v ponvici, kjer se je zbirala po polzenju po sigasti kopi, je imela enako nizko trdoto ($101 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$), zato sklepamo, da je to vrednost, ki je blizu ravnotežne vrednosti pri danih pogojih v jami, oz. tista vrednost, do katere lahko prenasočene prenikle vode izločajo sigo v jami.

Izmerili smo tudi trdoto "agresivne" prenikle vode, zelo počasnega kapljanja, kjer smo opazili razjedanje sige na tleh, kamor je padala. Meritev je bila jeseni, ob sicer najvišjih trdotah preniklih voda (10.10.85), ko je voda po izločanju na zavesi dosegala karbonatno trdoto $158 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$. "Agresivna" voda je imela tedaj karbonatno trdoto le $128 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, kar potrjuje njeno agresivnost. Agresivne prenikle vode srečujemo v podzemskih jamah redkeje kot prenasočene oz. celo zelo poredko. Podobno agresivno, izredno počasno kapljanje smo določili tudi v Veliki dvorani Škocjanskih jam. Opaznejše razjedanje, tako po učinkih kot obsegu, pa smo opazili in spremljali v Pisanem rovu Postojnske jame (J. Kogovšek, 1983).

PRIMERJAVA KOROZIJE PRENIKLE VODE V RAZLIČNIH SLOVENSkih JAMAH

Meritve trdot po številnih podzemnih jamah slovenskega krasa so pokazale na različno stopnjo korozije oz. različno količino karbontne kamnine, ki jo raztopi 1 liter prenikajoče vode. Te razlike pogojujejo različne klimatske in vegetacijske razmere ob danih značilnostih kamninske zgradbe karbonatnega masiva, skozi katerega prenikla voda (J. Kogovšek 1986). Najvišje karbonatne trdote dosegajo prenikle vode na Krasu, nižje pa na Notranjskem. Vrednosti so razvidne iz tabele 2.



Slika 4. Karbonatna trdota prenasičene prenikajoče vode in izločeni karbonati v Divaški jami v mg CaCO₃⁻¹.

Jama	Maksimalna karbonatna trdota v mg CaCO ₃ l ⁻¹
Planinska jama	260
Postojnska Pisani rov	180
Pivka jama	260
Predjama	245
Škocjanske jame	315
Vilenica	330
Diviška jama	320
Dimnice	285
Taborska jama	320

Tabela 2.

Različna korozijska stopnja ob odločilni vlogi količine vode oz. količine padavin vplivajo na različno intenzivno širjenje vodnih poti, ki odvajajo vodo s površja v kraško notranjost. To pa so poti, po katerih se širi v kras tudi onesnaženje, do katerega pride na njegovem površju.

Največje širjenje teh poti tako lahko pričakujemo na območjih z največjo stopnjo korozije in najvišjimi letnimi padavinami. Na Krasu je ob maksimalnih zabeleženih trdotah količina padavin skromnejša kot pa na območju Notranjske, kjer pa prenikle vode dosegajo nižje trdote,

tako da hitra ocena pokaže sorazmerno izravnane učinke korozije na obeh območjih. Izstopa le Pivka jama z manjšimi učinki. Vendar pa bi bila potrebna podrobnejša analiza, da bi opredelili učinke korozije po različnih območjih našega krasa.

KAJ UPORABNEGA LAHKO ZAKLJUČIMO

Za prenikajočo vodo Vilenice in Diviške jame lahko rečemo, da v obeh jamah prevladujejo kapljanja, ki dovajajo v jamo čisto vodo, ker je površje nad obema jamama neposeljeno. Pretakanje vode je počasno z znatnim dušenjem v jamskem stropu. V primeru onesnaženja površja nad jamo lahko pričakujemo, da bi onesnaženje v času poletne in zimske suše prodrlo v jamo z znatnim časovnim zaostankom, morda celo mesec ali več mesecev. V času z več padavinami pa prenos onesnaženja lahko pričakujemo že v nekaj dneh ali pri posameznih curkih celo nekoliko prej, nikakor pa ne že po eni uri, kot smo to ugotavljali pri izdatnejših curkih v Postojnski jami.

RIASSUNTO

Le ricerche sulle acque piovane che filtrano nelle grotte sono state condotte nelle cavità di Vilenica e di Divaccia, dove la quantità annua delle precipitazioni raggiunge i 1.300 mm. In entrambe le grotte prevale il fenomeno dello stillicidio, che nel corso dell'anno diventa lentamente più o meno intenso e che si manifesta con notevole ritardo rispetto alle precipitazioni e in ondate poco accentuate. L'acqua filtrata è pura in seguito alla mancanza di insediamenti nelle zone soprastanti. In confronto a quella delle altre grotte slovene, qui l'acqua raggiunge il massimo grado di durezza finora riscontrato nel nostro Carso, paragonabile a quello delle acque piovane che filtrano nelle Grotte di San Canziano, nella grotta di Dimnice e in quella di Tabor. Ciò comporta il più alto grado di erosione, che assieme all'abbondanza delle precipitazioni determina l'effetto erosivo. Dall'intensità dell'erosione del calcare sulla volta delle grotte dipende pure la successiva infiltrazione nel sottosuolo. Secondo le nostre misurazioni effettuate nella grotta di Divaccia, lo stillicidio dalle stalattiti non è di molto inferiore a quello delle Grotte di San Canziano, la differenza fondamentale sta nella sua copiosità, che nelle Grotte di San Canziano è maggiore.

LITERATURA

Kogovšek, J., 1980: vertikalno prenikanje vode v krasu na primerih Planinske in Postojnske jame. Zbornik 6. jug. simp. HIG, 1, Hidrologija, Portorož, 199-207.

Kogovšek, J., 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. (The Study of Vertical Water Percolation in the Case of Postojna and Planina Caves) Acta carsologica, 9 (1980), 129-148, Ljubljana. Avtorja: Kogovšek, J. & Habič, P.

Kogovšek, J., 1983: Prenikanje vode in izločanje sige v Pisanem rovu Postojnske jame. (Water Percolation and Sinter Deposition in Pisani rov of Postojnska jama) Acta carsologica, 11 (1982), 63-76, Ljubljana.

Kogovšek, J., 1984: Vertikalno prenikanje v Škocjanskih jamah in Dimnicah. (Vertical Water Percolation in Škocjanske jame and Dimnice) Acta carsologica, 12 (1983), 49-65, Ljubljana.

Kogovšek, J., 1986: Korozija pri vertikalnem prenikanju vode. (Corrosion during Vertical Water Percolation) Acta carsologica, 14-15 (1985-86), 117-126, Ljubljana.

Kogovšek, J., 1989: Škocjanske jame speleological revue. International Journal of Speleology, 18, 12, 142, s.l.. Avtorji: Habič, P. & Knez, M. & Kogovšek, J. & Kranjc, A. & Mihevc, A. & Slabe, T. & Šebela, S. & Zupan, N.

Kogovšek, J., 1992: Flowstone deposition in the Slovenian caves. (Odlaganje sige v slovenskih jamah) Acta carsologica, 21, 169-173, Ljubljana.