

**Izvleček**

UDK 551.444.3(497.12-14)

**Kogovšek Janja: Vertikalno prenikanje v Planinski jami v obdobju 1980/81.  
Acta carsologica 10, 107—125, Ljubljana, 1982, lit. 2.**

Triletna opazovanja vertikalnega prenikanja vode v Planinski jami so pokazala, da se količina padavin in njihova razporeditev od leta do leta spreminjata, s tem pa tudi letna količina prenikle vode in raztopljenih karbonatov curkov v jami. Temperature in trdote prenikle vode sezonsko nihajo. Vodni valovi se dokaj dobro odražajo v poteku trdot, temperature in specifične električne prevodnosti vode. Opazovana curka 1 in 6 se med seboj razlikujeta. Dovodne poti curkov verjetno sestavljajo prepustnejši, direktniji vodniki, ki odvajajo večje količine intenzivnejših padavin, ter mreže drobnih razvejanih vodnikov, ki pridejo bolj do izraza v sušnih obdobjih. Korozija prenikajoče vode je sorazmerna količini prenikle vode.

**Abstract**

UDC 551.444.3(497.12-14)

**Kogovšek Janja: Vertical Percolation in Planina Cave in the period 1980/81.  
Acta carsologica 10, 107—125, Ljubljana, 1982, Lit. 2.**

Three years' observations of vertical water percolation in Planina Cave have shown that the precipitation quantity and its distribution change from year to year as well as the annual quantity of percolated water and the quantity of dissolved carbonates flowing through a fixed trickle into the cave. Temperature and hardnesses of percolated water oscillate seasonally. The water pulses are quite well reflected in the hardnesses, temperatures and specific electrical conductivity. The observed trickles 1 and 6 differ from each other. The inflow trickle ways are probably composed by more permeable and direct conduits, which are the most expressed during the intensive precipitations and by a net of capillary, dissected conduits which are more important in dry period.

The corrosion of percolated water is proportionate to the quantity of percolated water.

Naslov — Address:

Mgr. Janja Kogovšek, dipl. ing. chem., raziskovalni sodelavec  
Inštitut za raziskovanje krasa SAZU  
Titov trg 2  
66230 Postojna,  
Jugoslavija

## UVOD

Vertikalno prenikanje v krasu smo začeli na Inštitutu za raziskovanje krasa SAZU v Postojni raziskovati na območju Planinske jame in Pisanega rova v Postojnski jami leta 1976. Del opravljenega dela je že predstavljen (K o g o v š e k , H a b i č , 1981); med drugim opis vzorčnih mest, analize površja nad Planinsko jamo ter sledilni poskusi v letih 1977 in 1978.

V opazovalnem letu 1980/81 smo spremljali curka 1 in 6 v Planinski jami ter opazovali jesenski vodni val pri obeh curkih. Metode dela so bile enake kot prejšnja leta in ker so že opisane, jih tu ne bomo ponavljali.

## HIDRODINAMIKA PRENIKANJA

Ugotovitve prejšnjih let, da se v letnem režimu curkov v jami odraža razporeditev padavin, so potrdile tudi meritve v zadnjem letu. Količina in razporeditev padavin se od leta do leta spreminjata, s tem pa se spreminja tudi letna količina vode določenega curka.

V obdobju 1980/81 smo poleg curka 1 zvezno merili tudi pretok in temperaturo vode curka 6, ki je stalen curek in leži globlje v jami kot curek 1. Njegova voda penika pretežno skozi spodnje kredne skladovite apnenice in vsebuje nad 96% karbonatne trdote.

Ker sta curka 1 in 6 oddaljena le dobrih 300 m, smo pričakovali dokaj enak način pretakanja. Oba curka imata približno enak potek pretokov v vodnem valu, vendar pa se med seboj razlikujeta v hitrosti reagiranja in velikosti pretoka. Curek 6 ima običajno višje pretoke kot curek 1, vendar pa razmerje njunih pretokov ni stalno in znatno niha.

Zato sklepamo, da ima curek 6 večje zbirno območje, čeprav temu nasprotuje dejstvo, da sta na osnovi registriranih vrednosti izračunani letni količini penikle vode za oba curka v opazovalnem letu 1980/81 enaki. Dobljeni vrednosti nista povsem zanesljivi, ker smo imeli pri registraciji pretokov večkrat težave.

V tabeli 1 so zbrani podatki o letni količini padavin, letni količini pretekle vode skozi curek 1 in 6 ter minimalni in maksimalni pretoki za tri opazovalna leta.

Tabela 1

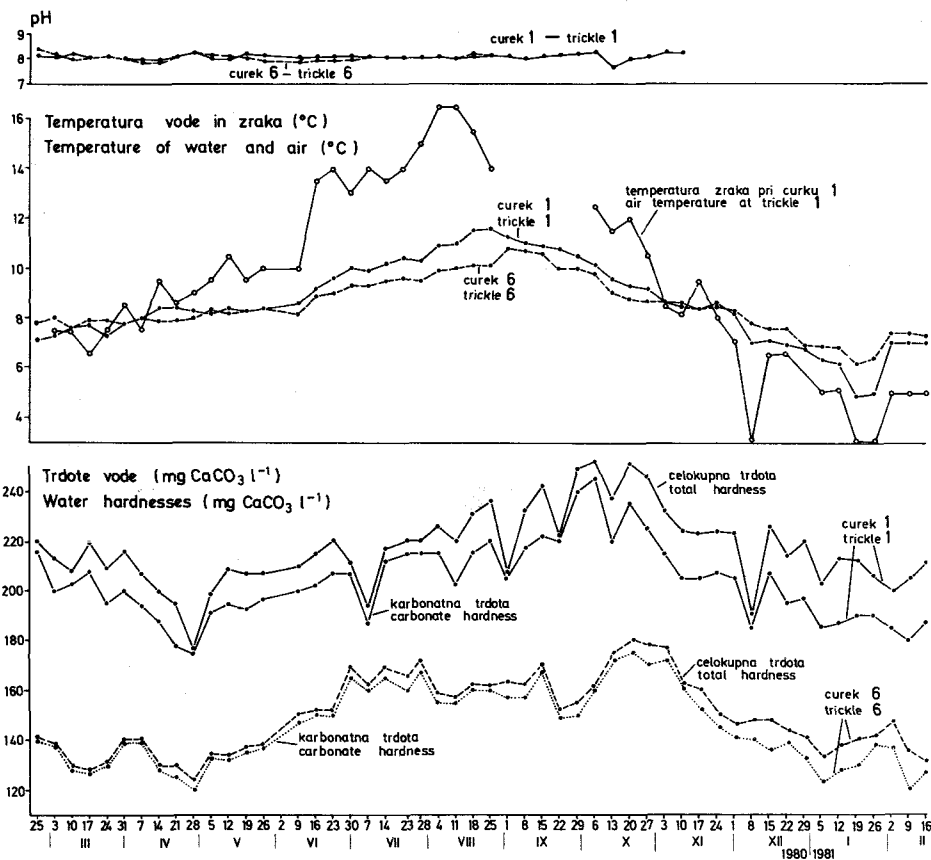
Opazovalno leto	Letna količina padavin	Letna količina vode		Pretoki			
		curek 1	curek 6	curek 1		curek 6	
	mm	m <sup>3</sup>		min	max	min	max
				1 h <sup>-1</sup>			
1977/78	1881,6	1900	—	1,2	12000	10	—
1978/79	2097,2	2000	—	1,2	4200	5	6300
1980/81	1976	1100	1100	3	4800	3	6600

V opazovalnem letu 1977/78 sta bili jesen in zima sorazmerno suhi, spomladi in poleti pa je padlo precej dežja, tako je zabeležena v jami pretežna količina vode v tem hidrološkem obdobju.

Opazovalno leto 1978/79 je imelo suho poletje z malo padavinami, sorazmerno več padavin je padlo jeseni, pozimi pa je bilo dosti padavin — izmenjaje sneg in dež, ki sta prispevala večje količine prenikle vode. Sledila je pomlad s sorazmerno malo padavinami.

V opazovalnem letu 1980/81 je bilo malo padavin spomladi in nekoliko več poleti, sledila je mokra jesen in precej snežnih padavin pozimi, ko je bila temperatura skoro stalno pod 0 °C, in zato se je sneg začel intenzivneje topiti šele konec februarja, ko smo že zaključili z našim opazovalnim letom.

Spomladi, poleti in pozimi sta imela oba curka nizke pretoke, razen v zgodnjem poletju. Jesenski dež pa je oblikoval številne večje in manjše vodne valove, ko je stekla skozi curka 1 in 6 v času od 6. oktobra do 1. decembra dobra polovica vse letne količine vode. Ta potek je razviden iz slike 1.



Slika 2. Letni potek pH, temperatura vode ter karbonatne in celokupne trdote curkov 1 in 6 v Planinski jami v obdobju 1980/81

Fig. 2. Annual course of pH, water temperature and total hardness of trickles 1 and 6 in Planina Cave in the observation year 1980/81

Poleti znatna evapotranspiracija zmanjšuje infiltracijo padavin, kar se pozna v izdatnosti curkov. Ta učinek je večji v letih, ko so v poletnih mesecih padavine enakomerno porazdeljene. Infiltracijo zmanjšujejo tudi mrzle zime z zmrznjenim snegom, ko se obilne količine vode sprostijo šele kasneje ob odjugah s topitvijo snega.

## KEMIJSKO UČINKOVANJE PRI VERTIKALNEM PRENIKANJU VODE

V opazovalnem letu 1980/81 smo pri curkih 1 in 6 v Planinski jami zvezno beležili še temperaturo, vlago in pritisk zraka ter temperaturo vode. Vodne vzorce smo zajemali tedensko in jim določevali pH, karbonatno, kalcijevo in magnezijevo trdoto. Letni potek merjenih količin podaja slika 2.

Temperature zraka in vode curkov ter trdote vode sezonsko nihajo, medtem ko se pH le neznatno spreminja in nismo mogli ugotoviti nikakršne odvisnosti z drugimi merjenimi parametri. Ker se v toplejši polovici leta voda pri prenikanju skozi jamski strop v smeri proti jami ohlaja, topnost  $\text{CaCO}_3$  pa s padajočo temperaturo pri konstantnem  $\text{PCO}_2$  narašča (Picknett, 1976), so dani pogoji za višje trdote prenikle vode v tem delu leta. Verjetno pa k temu prispeva svoj delež tudi počasna cirkulacija z minimalnimi pretoki. Obratno pa se v hladni polovici leta voda pri prenikanju v notranjost segreva, kar zavira raztapljanje  $\text{CaCO}_3$ . Posledica so nižje trdote prenikle vode v tem obdobju.

Porast temperatur in trdot vode približno sovpadajo, če nam kot meja med naraščanjem in upadanjem temperatur oz. trdot, služi povprečna letna vrednost. Temperatura vode preko leta enakomerno narašča in upada, medtem ko trdote počasneje naraščajo in hitreje upadajo, tako da njuna viška ne sovpadata. Na poti od jamskega stropa do dna jame pride prenikajoča voda v stik z zrakom. Zunanja temperatura zraka vpliva na temperaturo zraka pri curku 1 znatno bolj kot na temperaturo zraka pri curku 6 globlje v jami, kar se tudi odraža v temperaturi vode curkov. Temperatura vode curka 1 niha preko leta z večjo amplitudo kot voda curka 6, ker sledi znatnemu nihanju temperature zraka ob njem.

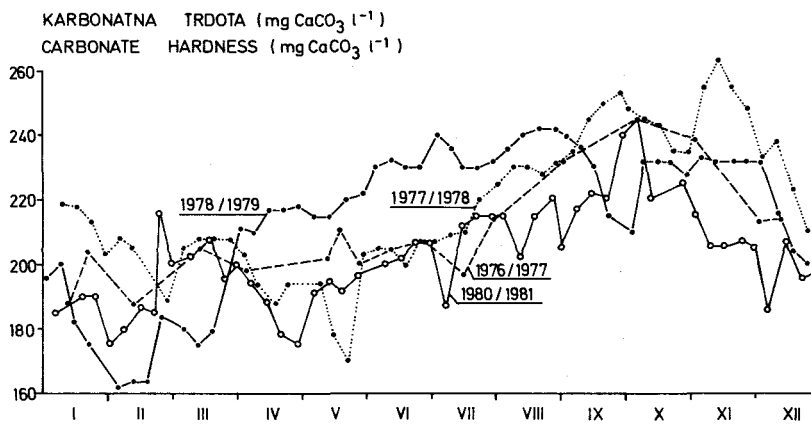
Celokupna in karbonatna trdota vode curka 1 sta znatno višji kot pri curku 6, kar odgovarja višji vsebnosti magnezijeve trdote v vodi curka 1, saj vsebuje voda curka 6 le do 5% le-te. Njuni letni povprečni vrednosti za kalcijevo trdoto se le malo razlikujeta. Voda obeh curkov raztaplja pretežno karbonatne kamnine, vendar ima curek 1 nekoliko večjo nekarbonatno trdoto kot curek 6.

Značilne vrednosti merjenih količin v treh opazovalnih letih so zbrane v tabeli 2.

Pri letnih potekih karbonatne trdote obdobja visokih in nizkih vrednosti dokaj sovpadajo; le v opazovalnem letu 1978/79 se je obdobje višjih karbonatnih trdot začelo približno 3 mesece prej. To si razlagamo z minimalnimi pretoki in ustrezno visokimi karbonatnimi trdotami preko celega leta, razen v času od decembra do vključno marca, ko so bili veliki in pogostni vodni valovi in je dosegala karbonatna trdota minimalne vrednosti. V opazovalnem letu 1980/81 pa smo ob koncu zime zabeležili neobičajen porast karbonatne trdote, ob ves mesec trajajočih minimalnih pretokih (sl. 3).

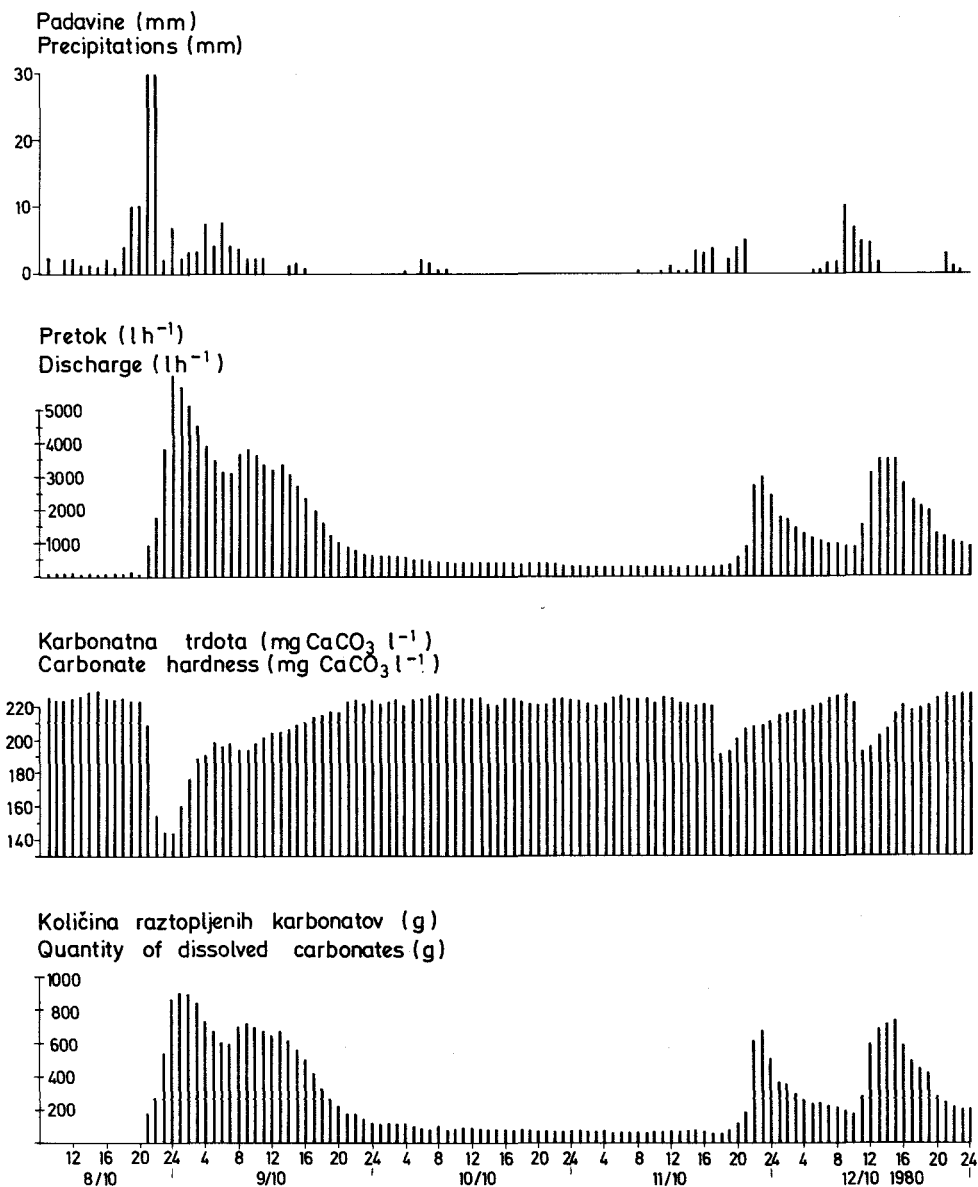
Tabela 2

	1977/78		1978/79		1980/81		Mg CaCO <sub>3</sub> l <sup>-1</sup>
	curek 1	curek 6	curek 1	curek 6	curek 1	curek 6	
<b>Celokupne trdote</b>							
Maksimalna	260	190	263	189	253	180	
Minimalna	204	132	170	141	177	124	
Povprečna	230	155	226	171	214	149	
<b>Karbonatne trdote</b>							
maksimalna	263	193	242	180	245	175	
minimalna	170	122	161	104	175	120	
povprečna	219	149	215	164	202	146	
<b>Kalcijeve trdote</b>							
maksimalna	180	182	180	177	174	175	
minimalna	124	115	135	108	120	119	
povprečna	155	148	159	157	145	143	
<b>Magnezijeve trdote</b>							
maksimalna	84	12	114	26	85	12	
minimalna	64	3	31	4	57	1	
povprečna	75	7	67	14	69	6	
delež karbonatov	96,8	96	95,1	96	94,5	98,3%	
delež kalcijeve trdote	67,3	95,6	70,2	92	68	96,2%	
delež magnezijeve trdote	32,7	4,4	29,8	8	32	3,8%	
<b>Temperatura vode</b>							
maksimalna	12,6	11,6	12,0	11,1	11,6	10,8°C	
minimalna	6,1	7,1	7,6	8,0	4,8	6,2°C	
povprečna	9,9	9,4	9,4	9,4	8,7	8,4°C	



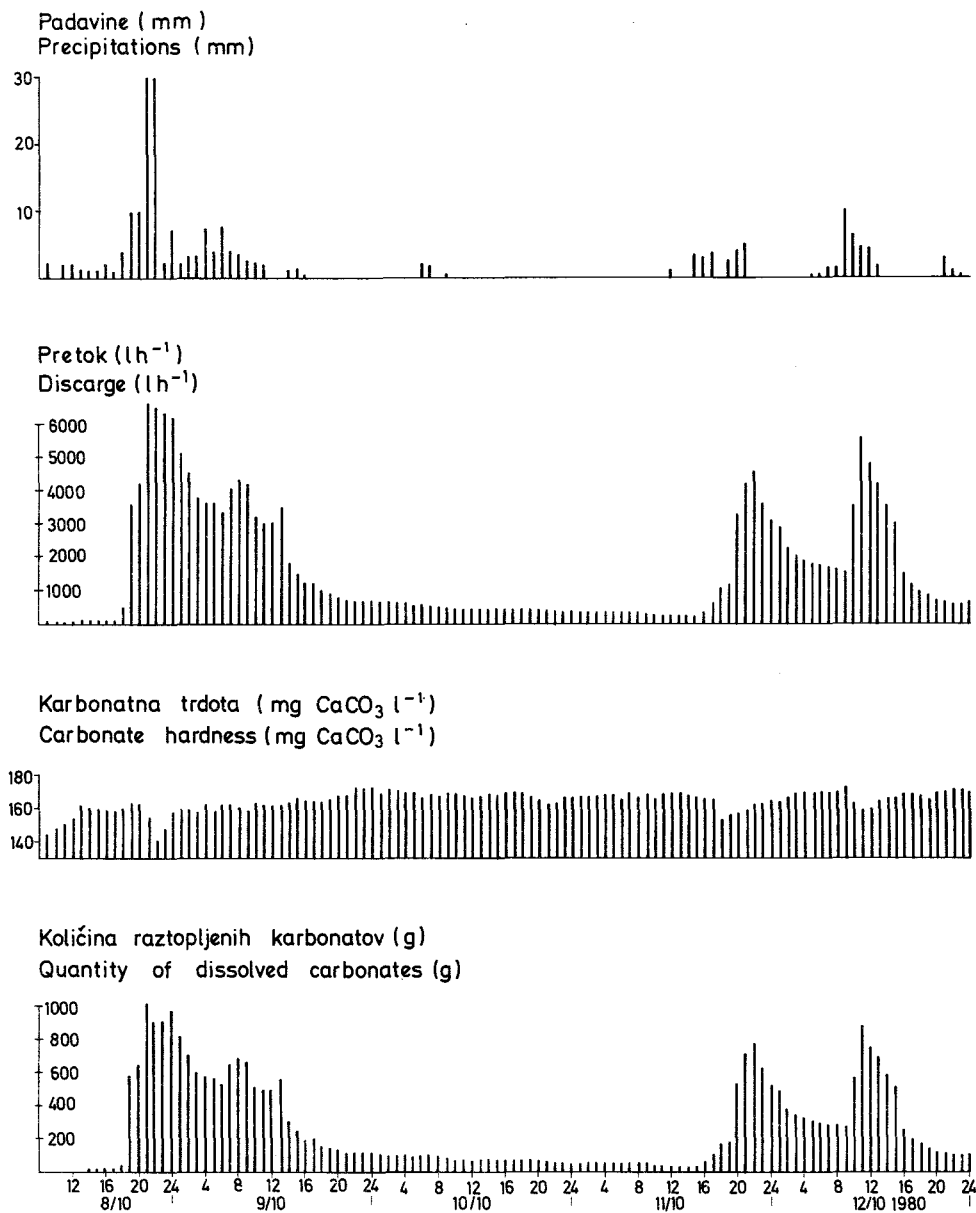
Slika 3. Potek karbonatne trdote curka 1 v Planinski jami v štirih opazovalnih obdobjih

Fig. 3. The course of carbonate hardness of trickle 1 in Planina Cave in four observation years



Slika 4. Curek 1 — vodni val oktobra 1980: potek padavin, pretoka, karbonatne trdote in količine raztopljenih karbonatov

Fig. 4. Trickle 1 — the water pulse in October 1980: precipitation, discharge, carbonate hardness and dissolved carbonates quantity course



Slika 4a. Curek 6 — vodni val oktobra 1980: potek padavin, pretoka, karbonatne trdote in količine raztopljenih karbonatov.

Fig. 4a: Trickle 6 — the water pulse in October 1980: precipitation, discharge, carbonate hardness and dissolved carbonates quantity course

Iz navedenega sledi, da so pri počasnejšem prenikanju trdote višje kot pri hitrejšem, ne glede na letni čas in temperaturo. Korozijski učinek pa je seveda večji pri večjem pretoku, kar se sklada z dosedanjimi ugotovitvami (K o g o v š e k , H a b i č , 1981).

## DINAMIKA PRENIKAJOČE VODE V VODNIH VALOVIH CURKOV

Vodni val se odraža v povečanih pretokih curkov po izdatnih padavinah. Prvega smo opazovali spomladi 1978. leta. Jesenski vodni val pa smo vzorčevali oktobra 1980 pri curku 1 in 6 v Planinski jami.

Po skoraj enomesečnem suhem obdobju je neenakomeren naliiv sprožil vodni val z dvojnimi viškom, ko je v 18 urah padlo 26 mm padavin, nato pa v 8 urah 84 mm in v nadaljnjih 14 urah 40 mm padavin.

Po dveh brezdeževnih dneh so sledile manj intenzivne padavine. Najprej v 6 urah 23 mm in kasneje v 8 urah 29 mm, tako da sta se zopet oblikovala dva vodna valova (slika 4 in 4a).

V prvem valu je curek 6 takoj reagiral na padavine in njegov prvi višek sovpada z viškom padavin, kar pa ne moremo trditi za nadaljnji potek tega vala. Podobno je bilo pri curku 1, le da je ta reagiral na padavine s 3-urno zamudo.

Pri obeh curkih je drugi vodni val izhajal z nekoliko višjega, tretji vodni val pa znatno višjega osnovnega nivoja pretoka. Curek 6 je reagiral v obeh primerih z 1-urno zamudo, curek 1 pa s 3 in 2-urno zamudo.

Očitno ne gre le za dokaj direktno stekanje po glavnih, krajših ali daljših, bolj ali manj prepustnih vodnikih v skladni gmoti do podzemeljskega prostora, kot bi si lahko razlagali začetni del poteka prvega vodnega vala. Verjetno je tu prisotna še obsežna mreža drobnih kapilarnih vodnikov, ki morajo biti bolj ali manj stalno zapolnjeni z vodo in predstajajo nekak "rezervoar", ki pride do izraza predvsem v sušnih obdobjih. Tedaj se oba curka napajata le iz te vode in nikoli ne presahmeta.

Ker je upor teh drobnih vodnikov velik, se verjetno počasneje polnijo in praznijo kot prepustnejši vodniki z manjšim uporom.

Velika, hitra povečanja pretoka si tako lahko razložimo kot intenziven odtok v prepustnejših smereh; ko pa njegov vpliv upade, pride bolj do izraza stekanje vode v curek po drobnih, razvejanih vodnikih. Pretok curka, oz. dotok po teh poteh pa je odvisen od hidrostatičnega pritiska, oz. višine zapolnjenosti jamskega stropa s prenikajočo vodo.

Zaradi sorazmerno hitrega reagiranja curka 6 na padavine sklepamo, da se v ta curek steka voda v direktnejših smereh, kar lahko pomeni krajšo pot ali večjo hitrost prenikanja, kot pa v curek 1, ki reagira z dve do triurno zamudo. Curek 6 je dosegel v splošnem tudi nekoliko višje pretoke kot curek 1, kar je lahko posledica večjega zbirnega območja oz. "rezervoarja" curka 6.

## pH, TEMPERATURA, TRDOTE IN SUSPENZ V VODNIH VALOVIH

Ob spremljanju jesenskih valov prenikajoče vode smo merili temperaturo, pH, specifično električno prevodnost, trdote in suspenz vode. Njihov potek prikazuje slika 5.

### pH

Spremembe pH so sorazmerno majhne. Pri povečanju pretoka pri obeh curkih je prišlo do upada pH.



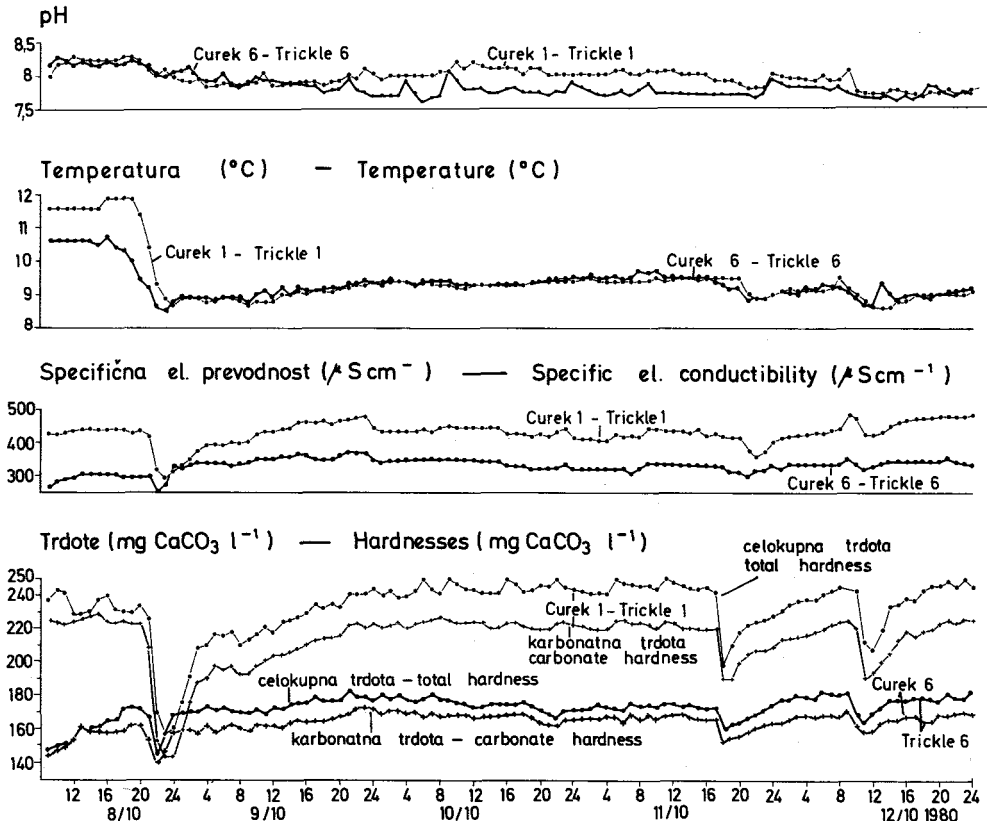
Pri curku 1 se je pH v prvem vodnem valu znižal za 0,4 in se v upadnem delu vodnega vala zopet dvignil; v drugem in tretjem vodnem valu pa je upadel le za 0,2 do 0,3 enote. Pri curku 6 je pH v prvem vodnem valu počasi padal in dosegel minimalno vrednost šele v upadnem delu vodnega vala in kasneje le malo narasel. Drugi in tretji vodni val pa sta v njegovem poteku skoro neopazna.

Potek pH odraža vodne valove, vendar precej neizrazito.

### TEMPERATURA

Jeenske vodne valove spremlja znižanje temperature vode, ki nastopi že ob manjših povečanjih pretoka. V prvem vodnem valu se je temperatura curka 1 znižala z 11,9 na 8,6 °C, curka 6 pa z 10,6 na 8,5°C. Najnižja zabeležena temperatura pri obeh curkih ni padla pod 8,5 °C.

Višjo izhodno temperaturo curka 1 bi si lahko pojasnili z manjšo hitrostjo prenikanja, oz. z daljšim zadrževalnim časom vode v jamskem stropu, ter vplivom temperature zraka v jami.



Slika 5. Curka 1 in 6 — vodni val oktobra 1980: pH, temperatura, specifična električna prevodnost ter karbonatna in celokupna trdota prenikle vode

Fig. 5. Trickles 1 and 6 — the water pulse in October 1980: pH, temperature, specific electrical conductivity, carbonate and total hardness of percolated water

Po suhem in toplem pozno poletnem in zgodnje jesenskem vremenu, ko je skozi curka 1 in 6 prenikala dokaj topla voda, so obilne in intenzivne padavine ohladile opazovalne curke. Velika hitrost penikanja verjetno ni omogočila segrevanja nove vode, ki je tako razredčevala toplejšo vodo v jamskem stropu in povzročila enotno upadanje temperature curkov.

Z upadanjem pretoka se verjetno zmanjšuje hitrost penikanja ter izcejanja vode iz jamskega stropa oz. "rezervoarja", kar povečuje zadrževanje penikajoče vode v toplejši skalnati gmoti in s tem dviganje temperature vode, v našem primeru za 1 °C.

Temperatura vode se po vodnem valu ni dvignila na začetno vrednost, kar si razlagamo z nastopom mokrega in hladnejšega jesenskega vremena, ko se je začel jamski strop ohlajati, saj je temperatura vode po opazovanih vodnih valovih le še upadala. Tudi sledeča vodna valova sta povzročila znižanje temperature, vendar ne pod najnižjo temperaturo, ki jo je dosegla voda v prvem vodnem valu (pri curku 1 za 0,6 °C, pri curku 6 pa za 0,7 °C).

### TRDOTE VODE

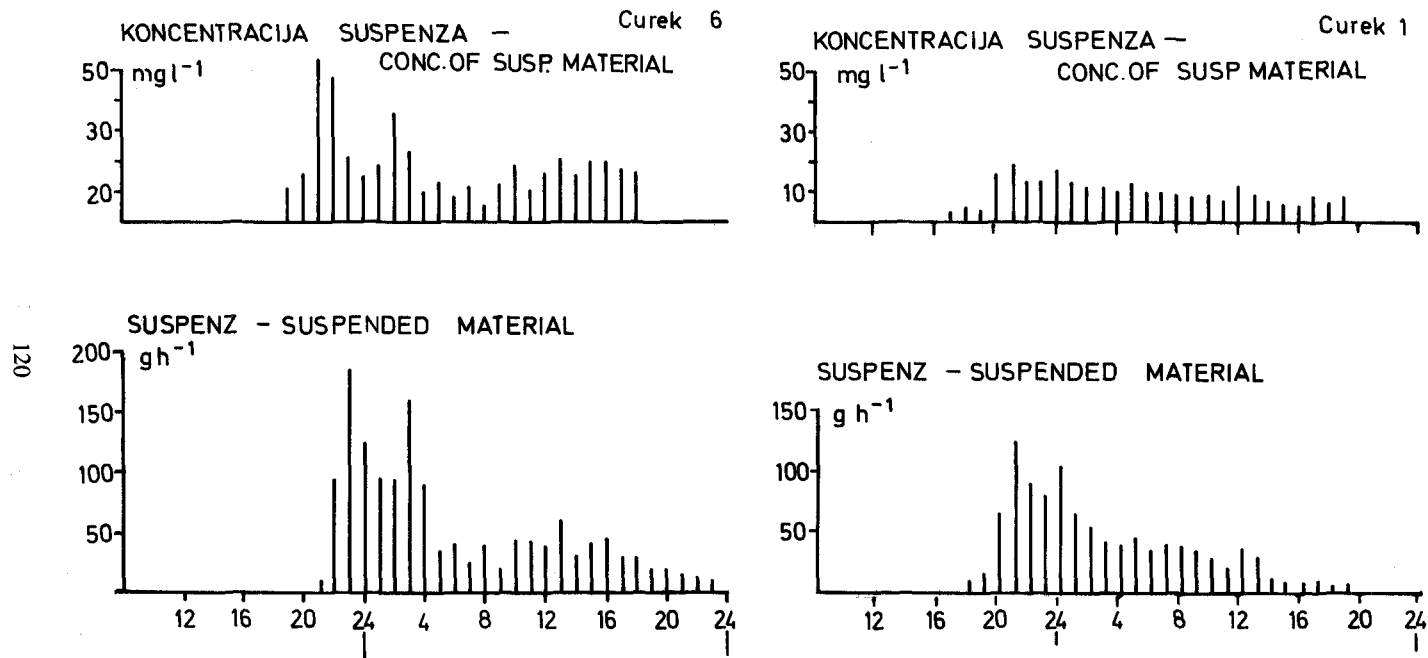
Opazovanje vodnega vala z dvema viškoma spomladi 1978 je pokazalo, da naraščanju pretoka sledi upadanje karbonatne trdote. To so potrdile tudi meritve opazovanih vodnih valov jeseni 1980. Spomladi 1978, ko je bilo obdobje nižjih trdot vode, smo v vodnem valu zabeležili močno začetno znižanje karbonatne trdote s 185 na 145 mg  $\text{CaCO}_3\text{l}^{-1}$  in manjše ob drugem večjem višku s 165 na 154 mg  $\text{CaCO}_3\text{l}^{-1}$ .

Vodni valovi jeseni 1980 so bili v času najvišjih letnih karbonatnih trdot. Pri curku 1 smo zabeležili sočasno z naraščanjem pretoka upadanje karbonatne in celokupne trdote. Višek pretoka sovпада z najnižjo vrednostjo temperature ter celokupne in karbonatne trdote vode. V prvem vodnem valu je prišlo do znižanja karbonatne trdote z 222 na 142 mg  $\text{CaCO}_3\text{l}^{-1}$ , nakar se je v upadnem delu vodnega vala dokaj hitro dvignila na začetno vrednost in v drugem in tretjem vodnem valu upadla le za 30 mg  $\text{CaCO}_3\text{l}^{-1}$ .

Curk 1 je imel v času pred opazovanimi vodnimi valovi minimalni začetni pretok 12 l  $\text{h}^{-1}$ , iz česar sklepamo na minimalne zaloge vode v jamskem stropu. Hitro in močno mešanje te vode z veliko količino nove in hladnejše vode, je sprožilo močno in hitro upadanje temperature in trdot vode.

Pri curku 6 pa se je karbonatna trdota obnašala drugače. V času, ko smo opazovali omenjene vodne valove, se je pri tem curku začelo obdobje visokih karbonatnih trdot, ki je trajalo približno še en mesec. Vodni valovi so povzročili znižanje trdot, vendar v znatno manjši meri kot pri curku 1 (od 11 do 22 mg  $\text{CaCO}_3\text{l}^{-1}$ ). Do znižanja trdot vode v prvem vodnem valu je prišlo šele približno tri ure po povišanju pretoka, ko je pretok narasel na maksimalno vrednost 6600 l  $\text{h}^{-1}$ . Pretok tega curka je pred začetkom vodnega vala še nekoliko narasel (120 l  $\text{h}^{-1}$ ), tako da z dodatkom nove vode ni prišlo do tako hitrega in močnega razredčenja vode v jamskem stropu kot pri curku 1. Temperatura vode je začela takoj, a počasi upadati; večji dotok vode pa je to pospešil. Glede na zniževanje temperature vode so reagirale trdote vode s tri-urno zamudo. Delno si to lahko razložimo z večjo zalogo stare vode in manjšimi razlikami v trdotah nove in stare vode.

Izgleda, da je padec karbonatne in celokupne trdote sorazmeren razredčenju, pri čemer pa ni padla karbonatna trdota v nobenem primeru, tudi pri curku 6, pod 140 mg  $\text{CaCO}_3\text{l}^{-1}$ . Izgleda, da je to minimalna količina karbonatov, ki jih voda v danih razmerah raztopi. Velikost spremembe trdot v vodnem valu verjetno zavisi prav od njene začetne vrednosti in velikosti razredčenja.



Slika 6. Enourne koncentracije in količine suspenza prenikle vode v vodnem valu oktobra 1980 za curek 1 in 6

Fig. 6. One concentrations and suspended material quantity of percolated water in the pulse in October 1980 for trickles 1 and 6

## SPECIFIČNA ELEKTRIČNA PREVODNOST

Potek specifične električne prevodnosti v vodnem valu se dokaj dobro sklada s potekom trdot vode. Ker je njeno merjenje enostavno in hitro, bi nam v manj zahtevnih primerih meritve specifično električne prevodnosti lahko nadomestile meritve trdot. Vendar pa je predhodno potrebno točneje določiti njuno razmerje.

## SUSPENZ

Koncentracije suspenza v prenikli vodi smo določevali le pri prvem vodnem valu (slika 6). Njegove vrednosti so bile nižje in so manj izrazito reagirale na povečanje pretoka v primerjavi z vodnim valom spomladi 1978. Največ suspenza je prinesla prenikla voda v osrednjem delu vodnega vala v času 24 ur. V curku 1 smo namerili 1,4 kg, pri curku 6 pa 1 kg. Ti rezultati se znatno razlikujejo od rezultatov, ki smo jih dobili v spomladanskem vodnem valu. Za tehtne zaključke o kalnosti in eroziji bi bilo potrebnih še več podrobnih meritev in opazovanj.

## LETNE KOLIČINE PRENIKLE VODE IN ODNEŠENIH KARBONATOV

Ker v vodnih valovih pritečejo v jamo v sorazmerno kratkem času večje količine prenikle vode, je pri določevanju njene celoletne količine zelo pomembno, da upoštevamo vodne valove.

Na natančnost izračuna letne količine raztopljenih karbonatov v jamskem stropu vpliva natančnost meritev letne količine prenikajoče vode in izračunana povprečna letna karbonatna trdota. Povprečno letno karbonatno trdoto izračunamo kot povpreček tedenskih meritev in nekoliko odstopa od dejanske vrednosti; za nekaj procentov je previsoka zaradi nižjih vrednosti karbonatne trdote v vodnih valovih.

Iz tabele 1 so razvidne letne količine prenikle vode skozi curek 1 in 6. Po opisanem izračunu je v opazovalnem letu 1977/1978 prenikajoča voda curka 1 vsebovala 408 kg, v letu 1978/1979 430 kg, v letu 1980/1981 pa 230 kg karbonatov. Te količine so v dobrem sorazmerju s količino prenikajoče vode. Zaradi neupoštevanja znižane karbonatne trdote v vodnih valovih, posebno v obdobjih visokih karbonatnih trdot, pa so dejanske vrednosti nekoliko drugačne, vendar so napake vedno dosti manjše, kot bi bile, če ne bi upoštevali vodnih valov pri izračunu celoletne količine prenikajoče vode.

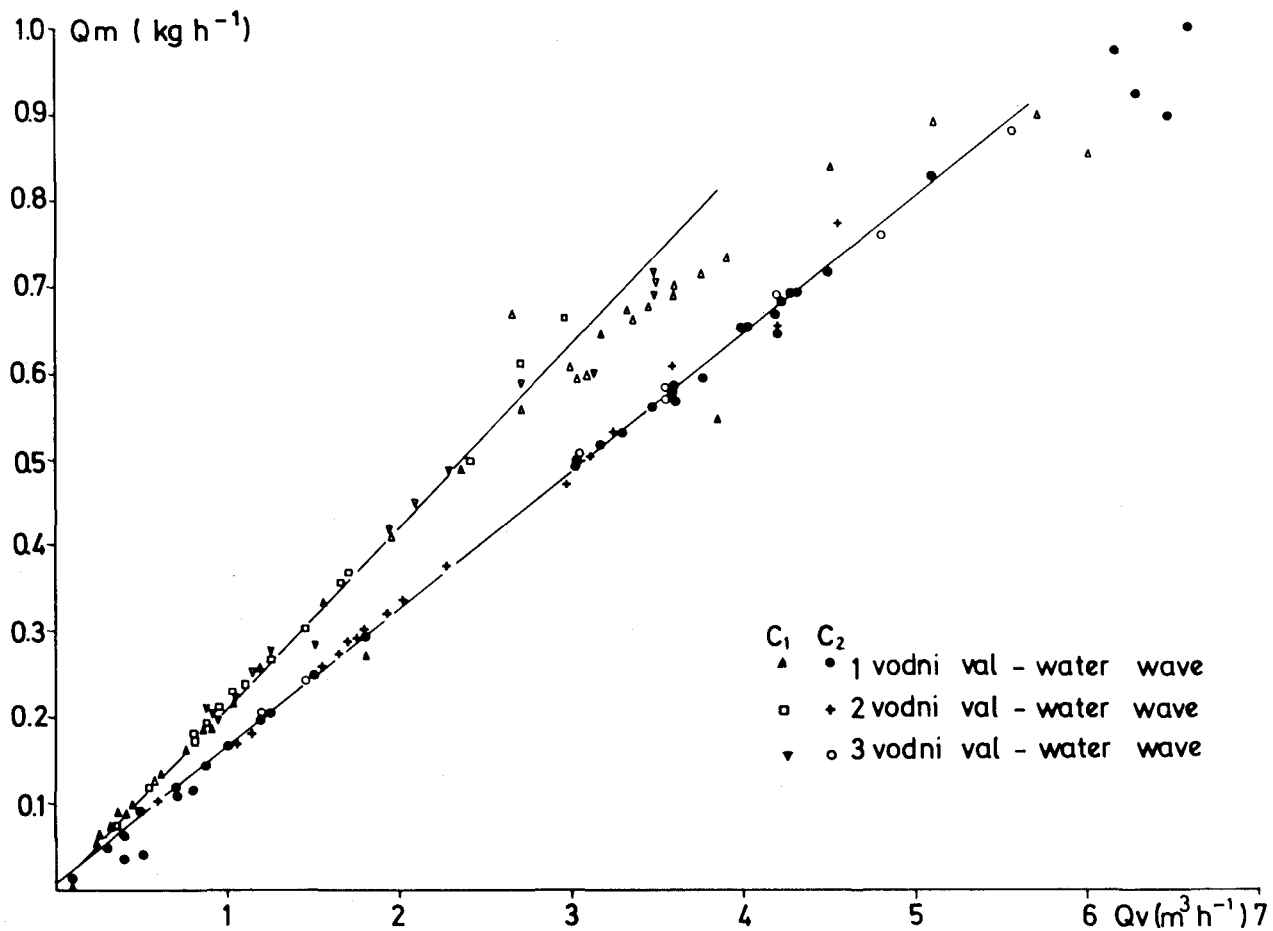
## KOLIČINE PRENIKLE VODE IN ODNEŠENIH KARBONATOV V VODNEM VALU

V vodnem valu smo količino prenikle vode določili grafično in računsko iz znanih vsakournih pretokov. Rezultati dokaj dobro sovpadajo. Iz vsakournih meritev pretoka in karbonatne trdote vode smo izračunali ustrezne količine karbonatov, ki jih je prenikla voda prinesla v jamo.

Prvi vodni val je v jamo prinesel največ karbonatov — pri vsakem curku približno 18 kg; v drugem in tretjem vodnem valu pa 5 — 7 kg karbonatov.

Primerjava tako izračunane količine vode in količine karbonatov je dala dokaj linearno zvezo.

Slika 7 prikazuje linearno odvisnost pretoka raztopljenih karbonatov od volumskega pretoka vode. Le pri curku 1 smo opazili znatnejše odklone od tega poteka; tako ob naraščanju v prvem valu, kot tudi pri večjih pretokih.



Slika 7. Curka 1 in 6 — vodni val oktobra 1980: odvisnost količine raztopljenih karbonatov od pretoka prenikle vode

Fig. 7. Trickles 1 and 6 — the water pulse in October 1980: dissolved carbonate quantity depending on the discharge of percolated water

## ZAKLJUČKI

Triletna opazovanja curkov v Planinski jami so pokazala, da različna letna količina in razporeditev padavin vplivata na letno količino vode, ki priteče skozi določen curek v jamo. Tako je skozi curek 1 priteklo v opazovalnih letih 1977/78 in 1978/79 okoli 2000 m<sup>3</sup> prenikle vode, v letu 1980/81 pa le 1100 m<sup>3</sup>, kar je bolj posledica drugačne razporeditve padavin kot količine. Temperatura in trdote prenikle vode sezonsko nihajo, vendar se njihov potek, podobno kot pretok prenikle vode, od leta do leta spreminja. Čeprav sta opazovana curka 1 in 6 v Planinski jami sorazmerno blizu, se razlikujeta v hitrosti reagiranja, velikosti pretoka, trdotah in temperaturi prenikle vode, kar je verjetno posledica tudi nekoliko drugačnega načina penikanja vode in velikosti zbirnega območja.

Sezonsko nihanje temperature vode curka 1 je večje kot temperature vode curka 6, ker na prvo vpliva znatno večje nihanje temperature zraka v vhodnem delu jame, kjer je curek 1. Celokupna in karbonatna trdota vode curka 1 sta precej višji kot pri curku 6, kar odgovarja večji magnezijevi trdoti pri curku 1. Konstantno višja trdota curka 1 pa pomeni ob enaki količini prenikle vode večjo korozijo v jamskem stropu pri curku 1 kot pri curku 6. Količine raztopljenih karbonatov, ki jih prinese penikla voda v jamo, so v dobrem sorazmerju s količino te prenikle vode. Tako je prinesla penikla voda curka 1 v opazovalnem obdobju 1977/78 408 kg raztopljenih karbonatov, leta 1978/79 430 kg, v letu 1980/81 pa le 230 kg. Podrobnejše dogajanje ob naraščanju in upadanju pretoka, ki je posledica nalivov, smo spoznali ob spremljanju vodnih valov. Curek 6 je pri opazovanju jesenskega vodnega vala reagiral na padavine takoj in njegov prvi višek sovпада z viškom padavin. Podobno je bilo pri curku 1, le da je reagiral na padavine s triurno zamudo.

Velika povečanja pretoka v začetnem delu prvega vodnega vala bi si lahko pojasnili z dokaj direktnim stekanjem po glavnih, krajših in bolj prepustnih vodnikih v jamskem stropu. Te poti pa verjetno dopolnjuje še obsežna mreža drobnih vodnikov, ki so bolj ali manj stalno zapolnjeni z vodo in predstavljajo nekakšen "rezervoar", ki napaja oba stalna curka. Izgleda, da na zakasnitev pretoka vpliva tudi višina zapoljenosti tega "rezervoarja", oz. velikost pretoka curka. Hidrostatični pritisk, ki zavisi od višine zapoljenosti teh drobnih vodnikov s peniklo vodo, pa verjetno uravnava pretok curka v upadnem delu vodnih valov in v času, ko ni padavin.

Vsakourne meritve pH odražajo vodne valove, a dokaj neizravno, v nasprotju s temperaturo vode, kjer so nastopila znižanja že takoj ob manjših povečanjih pretoka. Do teh je prišlo verjetno zaradi postopnega mešanja toplejše vode v jamskem stropu in vse večjega dotoka hitro penikajoče nove in hladnejše vode. Pri curku 1 dobro prikazuje vodne valove tudi potek trdot vode. Naraščanju pretoka sledi upadanje karbonatne trdote do minimalne vrednosti, ki tudi pri curku 6 ni segla pod 140 mg CaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup>. Upadanju pretoka pa sledi naraščanje trdot vode. Reakcija curka 6 je bila manj izrazita in z manjšim časovnim zaostankom, kar si ne znamo popolnoma pojasniti. Manj izrazito spremembo trdote bi lahko razložili z večjo zalogo stare trše vode in z manjšim vplivom nove prenikle vode v curku 6.

Z raztapljanjem karbonatnih kamnin in odnašanjem suspenza pri penikanju skozi jamski strop, vodni valovi v znatni meri prispevajo h kraški koroziji. Tako je v prvem vodnem valu voda skozi vsak curek prinesla v jamo približno 18 kg raztopljenih karbonatov, v drugem in tretjem valu pa 5—7 kg karbonatov. Ob jesenskem vodnem valu je bilo v curkih 1 in 6 le 1,4 in 1 kg suspenza, kar je precej manj kot ob spomladanskem vodnem valu 1978.

Krivulja odnešenih karbonatov lepo sovпада s krivuljo pretokov oz. količinami pretekle vode.

Izgleda, da je odnašanje karbonatov ob vodnih valovih v linearnem razmerju s pretokom prenikle vode.

To smo lahko zaključili na osnovi uporabljene merilne tehnike. Za točnejše ugotavljanje hitrosti reagiranja in količine prenikle vode bi potrebovali natančnejšo registracijo tako padavin na površju kot pretoka v jami. Z računalniško obdelavo dobljenih rezultatov meritev pa bi verjetno lahko pojasnili še marsikatero neznanko v sistemu dovodnih poti opazovanih curkov.

#### LITERATURA

- Kogovšek, J., P. Habič, 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 9, Ljubljana, 129—148.
- Picknett, R. G., 1976: *The Chemistry of Cave Waters. The Science of Speleology*, 213.

## VERTICAL PERCOLATION IN PLANINA CAVE IN THE PERIOD 1980/81

## S u m m a r y

The work in the experimental year 1980/81 presents the continuation of vertical water percolation researches in Planina Cave. We measured precipitations on the surface and discharge, temperature, pH and hardnesses of percolated water in the cave.

Three years lasting observations of trickle 1 have shown that the quantity and distribution of precipitations change from year to year, influencing to annual water quantity flowing through fixed trickle. Temperature and hardnesses of percolated water seasonally oscillate, but their course changes from year to year (Fig. 3). In the last observation year 1980/81 the trickle 6, deeper in the cave has been observed too. Although the both trickles are relatively near, they differ in reaction, discharge, temperature and hardnesses of water, being the reason of slightly different way of percolation, size of intake area and geological structure of the cave roof. Seasonal temperature oscillations of water at trickle 1 are bigger than these at trickle 6, because the temperature is influenced by air temperature oscillations in the entrance part of the cave where this trickle is lying (Fig. 2). The total and carbonate water hardnesses of trickle 1 are pretty higher than at trickle 6, corresponding to higher magnesium hardnesses at trickle 1. Permanently higher water hardness at trickle 1 means bigger corrosion in the cave's roof at the same quantity of percolated water in fixed time.

Calculating the annual quantity of percolated water through fixed trickle the weekly discharge measurements are not convenient because 20% mistake could be done. For more exact calculation the continuous discharge measurements have to be achieved.

For the calculation of annual carbonate quantity, dissolved and transported into the cave by the percolating water, we have taken weekly water quantities and corresponding carbonate hardnesses. For the observation year 1977/78 we thus reckoned that the percolated water of trickle 1 has transported 1.408 kg of dissolved carbonates, in the year 1978/79 430 kg and in the year 1980/81 230 kg.

The quantities of dissolved carbonates correspond pretty well with the quantity of percolated water. The table 1 gives the annual precipitation quantities and maximal and minimal discharges in three observation years. Characteristic properties of hardnesses and temperatures in these years are given on the table 2. The detailed course during discharge increase and decrease, the consequence of showers, was studied observing the water waves. In autumn 1980 in Planina Cave the intensive and non-regular precipitations caused the water pulses, which have been observed at trickles 1 and 6. Trickle 6 reacted to the precipitations immediately, while trickle 1 three hours later; at both trickles the first maximum corresponds to precipitation's maximum. Big discharge augmentation in the initial part of the first water pulse could be explained by relatively direct gathering into main, shorter and longer, more or less pervious conduits in the cave roof. These ways are probably completed by a net of capilar thin conduits, which are more or less permanently filled with water, feeding both trickles, which never dried up completely. Hydrostatical pressure, depending on degree of these thin conduits probably adjust the trickle discharge in decreasing part of water pulses in the time when there are no precipitations.

Each hour measurements of pH reflect water pulses, but not very expressly, in contrary to water temperature; the diminishments occur during smaller increase of discharge. Cooling of percolating water is probably the consequence of quick percolation of big quantities of cooler, fresh water and of its mixing with warmer water in the cave's roof (Fig. 6 and 7).

At trickle 1 the course of water pulses, mostly of the first water pulse represents very well the course of water hardness. Discharge increase is followed by hardness decrease up to minimal value, which even at trickle 6 did not come under  $140 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Discharge decrease is followed by hardness increase. Trickle 6 reacted less expressly with temporary retardments which we cannot explain. Partly we can explain that it happened because of big stock of old water and smaller differences in hardnesses of old and recent water as at trickle 1.

By rock dissolving and suspended material transport during percolation through the cave roof water pulses in considerable degree contribute to the corrosion of the cave roof. Thus in the first water pulse the water transported in each trickle about 18 kg of dissolved carbonates, while in the second and third pulses 5—7 kg of carbonates.

The curve of dissolved carbonate quantity in the time corresponds to the discharge curve, to the quantity of percolated water respectively (Fig. 4,5).

From the figures 9—10 is evident the linear dependency of dissolved carbonate discharge from water discharge, proving that the quantity of percolating water presents the main factor of corrosion in the cave's roof.