

**PRENIKANJE VODE IN IZLOČANJE SIGE
V PISANEM ROVU POSTOJNSKE JAME**

(S 5 SLIKAMI)

**WATER PERCOLATION AND SINTER DEPOSITION IN PISANI ROV
OF POSTOJNSKA JAMA**

(WITH 5 FIGURES)

JANJA KOGOVŠEK

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 25. NOVBMBRA 1982

VSEBINA

Izvleček — Abstract	62 (4)
UVOD	63 (5)
METODE DELA	63 (5)
TEMPERATURA ZRAKA IN PRENIKLIH VODA	63 (5)
PRETOKI KAPLJANJ IN CURKOV	65 (7)
TRDOTE PRENIKLIH VODA	67 (9)
KOROZIJSKE OBLIKE V PISANEM ROVU	68 (10)
IZLOČANJE SIGE V PISANEM ROVU	69 (11)
BILANCA IZLOČANJA KARBONATOV	73 (15)
SKLEPI	73 (15)
LITERATURA	75 (17)
WATER PERCOLATION AND SINTER DEPOSITION IN PISANI ROV OF POSTOJNSKA JAMA (Summary)	75 (17)

Izvleček

UDK 551.444(497.12—14)

Kogovšek Janja: Prenikanje vode in izločanje sige v Pisanem rovu Postojnske jame.

Acta carsologica 11 (1982), 59—76, Ljubljana, 1983, lit. 7

Celoletne vsakotedenske meritve preniklih voda v Pisanem rovu so pokazale, da tu prevladuje umirjeno kapljanje, brez večjih in hitrih sprememb. Bogastvo kapniških oblik in sorazmerno visoke trdote preniklih voda, pa so nas vodile k ugotavljanju, kakšno je izločanje danes. Na posameznih mestih se je v enem letu izločilo do 0,5 kg karbonatov, kar kaže na vztrajno nadaljevanje rasti starih kapnikov.

Abstract

UDC 551.444(497.12—14)

Kogovšek Janja: Water Percolation and Sinter Deposition in Pisani rov of Postojnska jama.

Acta carsologica 11 (1982), 59—76, Ljubljana, 1983, Lit. 7

Annual weekly measurements of percolated waters in Pisani rov have shown that regular dropping, without big or quick changes, prevails. The abundance of speleothems and relatively high hardness of percolating water arose the interest about the actual sedimentation. On some parts up to 0,5 kg of carbonates have been deposited in one year, showing the perpetual continuation of old speleothems growth.

Naslov — Address

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

UVOD

Vertikalno prenikanje vode smo podobno kot v Planinski jami preučevali tudi v Postojnski jami. Izbrali smo Pisani rov, kjer smo v prvem opazovalnem obdobju od junija 1977 do junija 1978 tedensko merili pretok, temperaturo in sestavo vode pri izbranih curkih 21, 22, 23, 24 in 25, kot tudi temperaturo zraka. Rezultati iz tega obdobja so zbrani v letnih poročilih. Z enakimi opazovanji smo nadaljevali v obdobju 1978/79, vendar le enkrat mesečno.

V času od marca 1981 do februarja 1982 smo zopet tedensko opazovali curke, 22, 23, 24, 25, 29 in 31 ter merili izločanje karbonatov iz njihove vode pri polzenju po sigastih oblikah. Zvezno smo beležili tudi temperaturo in vlago zraka v prvem delu rova pred točko 21 in globlje v rovu pri točki 31.

Pisani rov se odlikuje po pestrem kapniškem bogastvu, vendar se na nekaj mestih kažejo tudi sledovi delovanja agresivne prenikle vode. V tem obdobju smo spremljali tudi njeno sestavo. Merilna mesta so razvidna iz slike 1. V Pisanem rovu je na območju opazovalnih curkov debelina stropa od 40 do 70 m in se tanjša v smeri proti koncu rova. Njegova geološka zgradba je enotna. Rov leži v turonijskih skladovitih apnencih z roženci, nad katerimi so neskladoviti in skladoviti apnenci (R. G o s p o d a r i č, 1976). Površje nad Pisanim rovom je pokrito s tanko plastjo rdečerjave ilovice in poraslo z gozdom.

METODE DELA

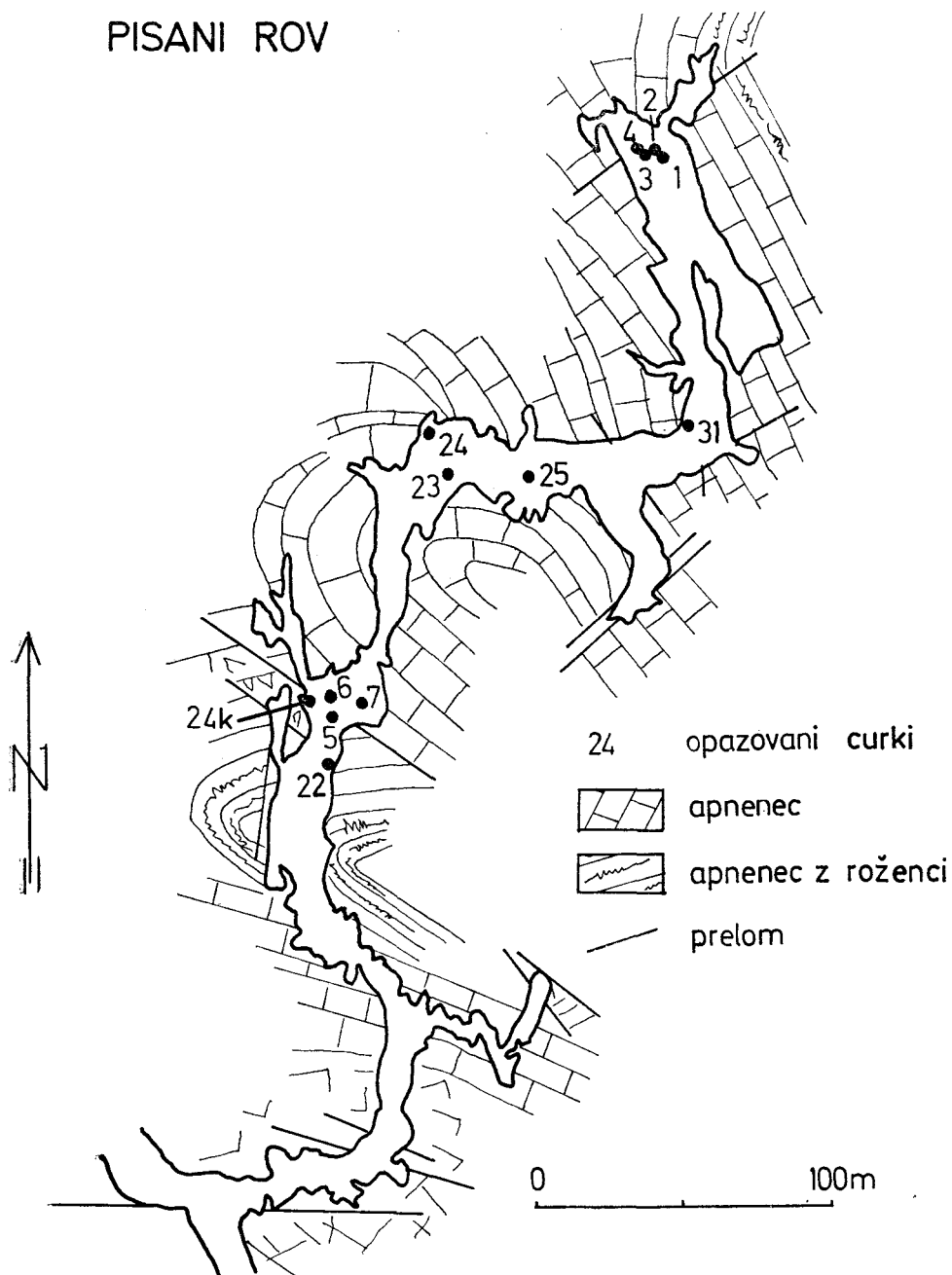
Pretok curkov smo merili tedensko z ustreznimi menzurami in štoparico. Za zvezno registracijo reakcije curkov na padavine smo uporabili kar dva pluviografa z dnevno uro, ker nismo imeli primernejših zveznih merilcev pretoka. Temperaturo vode in zraka smo merili z živosrebrnim termometrom na $1/10^{\circ}\text{C}$ natančno. Trdote vode smo določali titrimetrično, specifično električno prevodnost pa z Iskrinim konduktometrom MA 5961. Za zvezno registracijo temperature in vlage smo uporabili termograf in hidrograf.

TEMPERATURA ZRAKA IN PRENIKLIH VODA

Temperaturo zraka v Pisanem rovu je meril že I. G a m s (1970, 1974) in ugotovil, da niha od $8,2$ do $8,6^{\circ}\text{C}$ ter da je klimatsko ta rov skoro statičen. Naše prve meritve segajo v opazovalno obdobje 1977/78, ko smo preko celega leta tedensko spremljali temperaturo zraka in preniklih voda. Izkazalo se je, da gre le za majhna nihanja. Temperatura vode je nihala med $7,9$ in $8,4^{\circ}\text{C}$, temperatura zraka, ki smo jo merili na stalnem mestu v osrednjem delu rova, pa med $8,1$ do $8,6^{\circ}\text{C}$.

V obdobju 1981/82 smo ponovno tedensko merili temperaturo zraka z živosrebrnim termometrom, vzporedno pa še zvezno registrirali temperaturo

PISANI ROV



Sl. 1. Položaj opazovanih točk v Pisanem rovu Postojnske jame
 Fig. 1. The situation of observed points in Pisani rov of Postojnska jama

in vlago zraka. Zvezna registracija temperature je bila le na $0,5^{\circ}\text{C}$ natančna, vendar pa je pokazala, da tudi med tednom temperatura zraka le malo niha. Natančnejše tedenske meritve so potrdile in dopolnile te podatke.

Tako lahko rečemo, da je temperatura zraka pri točki 21 od marca 1981 do februarja 1982 nihala od $8,0$ do $9,0^{\circ}\text{C}$, globlje v rovu pri točki 23 od $7,9$ do $8,3^{\circ}\text{C}$, še globlje pri točki 31 pa od $7,9$ do $8,2^{\circ}\text{C}$.

Na vhodu v Pisani rov smo spremljali tudi gibanje zraka na relaciji Glavni rov—Pisani rov. V poletnih mesecih, ko je zunaj in v glavnem rovu Postojnske jame toplejši zrak kot v Pisanem rovu, je pihalo iz Pisanega rova v Glavni rov; v začetku novembra, ko pa je z močnejšo ohladitvijo nastopilo hladno obdobje, se je smer vetra obrnila. Ta izmenjava zraka vpliva na temperaturo zraka, pa tudi temperaturo prenikle vode v začetnem delu sicer dokaj izoliranega Pisanega rova. Prenikajoča voda je pri prenikanju v tesnem stiku s skalno gmoto jamskega stropa, zato se tedaj njena temperatura prilagaja temperaturi le-te. Ob padanju kapljic skozi jamski zrak prihaja do izravnavanja temperature vode s temperaturo zraka, seveda pa je tu pomembna dolžina poti kapljic skozi jamski zrak.

Temperatura vode curkov niha malo in v približno enakem intervalu kot temperatura zraka. Pri curkih 25 in 31 se je temperatura vode spreminjala od $7,8$ do $8,4$, pri curku 29 pa od $8,0$ do $8,6^{\circ}\text{C}$. Večja nihanja (do $0,9^{\circ}\text{C}$) smo zabeležili pri curkih 22, 23 in 24, in sicer v intervalih: $8,1$ — $8,8$, $7,8$ — $8,6$ in $7,9$ do $8,8^{\circ}\text{C}$.

Lahko zaključimo, da so nihanja temperature zraka in preniklih voda majhna in ne odražajo kakšnih sezonskih nihanj, vendar je opazno upadanje temperature zraka kot tudi temperature preniklih voda proti notranjosti rova. Večja nihanja temperature zraka smo zabeležili v začetnem delu rova, kjer je močnejši vpliv zraka iz glavnega rova Postojnske jame.

Tudi vlažnost zraka se je preko leta le malo spreminjala. Merili smo relativno vlažnost, ki je dosegla vrednosti od 92 do 98 %.

PRETOKI KAPLJANJ IN CURKOV

Glede na njihov pretok bi curke razdelili na nestalne in stalne; stalne pa dalje na počasno kapljajoče in izdatnejše curke. Nekateri so zelo stabilni in njihov pretok umirjeno niha, pri drugih pa je to nihanje znatno.

Tako curek 24_k, ki je vezan na bližnji prelom, občasno presahne, sicer pa mu pretok niha do 300 ml min^{-1} . Verjetno pa v posebnih razmerah ob vodnih valovih doseže njegov pretok še dokaj višje vrednosti. Curek 22 priteka po ozkem kaminu ob prelomu. V prvem opazovalnem obdobju smo zabeležili nihanja pretoka od 1 do 300 ml min^{-1} . V tem okviru so nihale tudi vrednosti pretoka v obdobju 1981/82, razen v nekaj primerih, ko smo izmerili pretoke do 1800 ml min^{-1} , kar govori za to, da so naše meritve segale tudi v zgornji del vodnih valov, ki pa jih ob prvih meritvah nismo zajeli. Očitno oblikujejo intenzivne padavine pri odprtih špranjah, oz. pri direktnjših poteh, kot jih imata curka 22 in 24_k, izrazitejšee vodne valove.

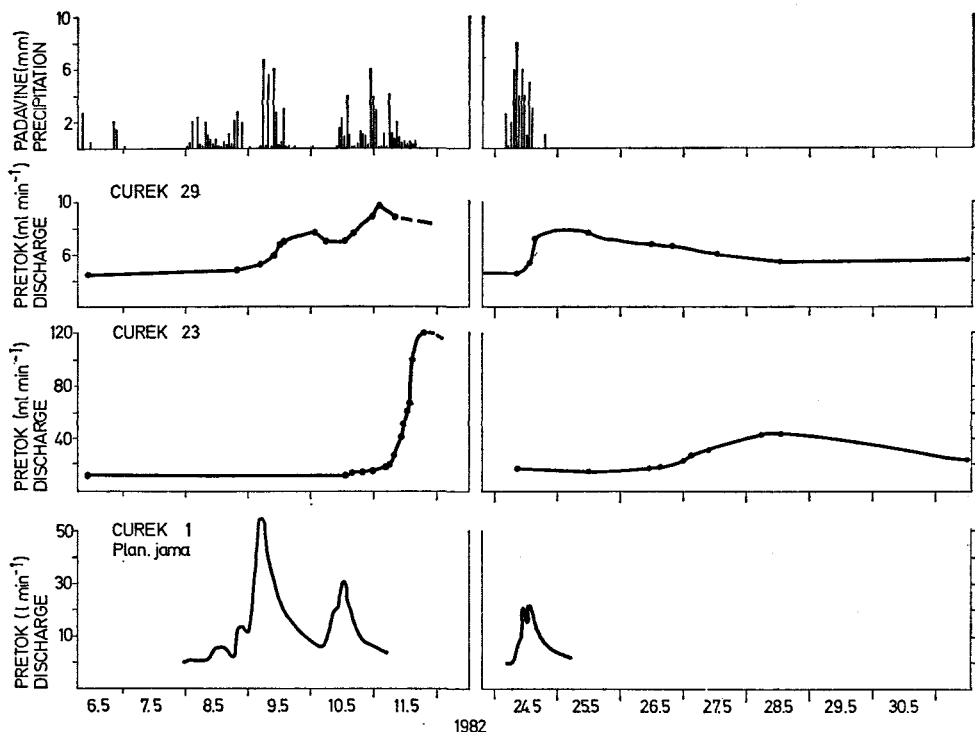
Curek 31, oz. kapljanje iz zavite cevke na stropu, je podobno kot curek 23 dosegal pretoke do 100 ml min^{-1} in le izjemoma smo zabeležili višje do 200 ml

min^{-1} . Vendar pa ta pretok le navidezno močnejše niha, saj se iz močno zasigane stene odteka ista voda tudi nekoliko nižje.

Med curke-kapljanja s stabilnim, nizkim pretokom okoli 5 ml min^{-1} , ki pa ne presežejo 20 ml min^{-1} , spadata curka 25 in 29. Torej se odlikujeta po zelo enakomernem pretoku. Curek 24 kaplja podobno kot curek 29 iz zavite cevke, vendar pa ne spada popolnoma v to skupino. Njegov pretok znatneje niha; maksimalna zabeležena vrednost pa je bila 80 ml min^{-1} .

Režim curka nam pokaže razmerje med minimalnim in maksimalnim pretokom med letom. Pri curku 25 je bilo to razmerje 18, pri curkih 29 in 23 pa 32 in 45. Pri curkih 31 in 24 seže ta vrednost preko 100, znatno višja pa je pri curkih 22 in 24_k.

Manjša nihanja pretoka kažejo na dušenje padavin pri prenikanju vode skozi jamski strop, ki je hkrati nekakšen »rezervoar«, iz katerega se napajajo ti curki skozi celo leto, tudi v času dolgotrajnih obdobij brez padavin. Na dušenje padavinskih nihanj pa ima predvsem pri manjših curkih pomembno vlogo tudi zasiganost stropa in sten, ki zaradi svoje poroznosti in celovitosti zadržuje in usmerja preniklo vodo.



Sl. 2. Oblikovanje vodnih valov pri curkih 23 in 29 v Pisanem rovu in curku 1 v Planinski jami

Fig. 2. The form of water pulses at trickles 23 and 29 in Pisani rov and at trickle 1 in Planinska jama

V Planinski jami, kjer smo spremljali tudi več vodnih valov, to je reakcij pretoka curka na določene padavine, smo ugotavljali karakteristično naraščanje in kasnejše upadanje pretoka. Podobno sorazmerno hitro reagiranje smo opazili tudi pri curkih 22 in 24_k v Pisanem rovu. Zanimalo pa nas je tudi, kako se odzivajo na padavine kapljanja z enakomernim pretokom. V ta namen smo zvezno merili pretok kapljanj na mestih 23 in 29.

Po dolgem poletnem brezdeževnem obdobju curka 23 in 29 tudi na naliv s 35 mm padavin nista reagirala. Očitno se je vsa voda porabila le za zapolnjevanje obširnega, slabo prepustnega rezervoarja. Curek 1 v Planinski jami, v katerega dovajajo vodo poleg mreže drobnih dovodnih poti tudi direktnjši kanali, pa je na ta naliv reagiral. Spremljali pa smo tudi oblikovanje vodnih valov ob intenzivnih padavinah v namočenih razmerah.

Dne 6. 5. 1982 je začelo deževati; dež se je nadaljeval 8. 5. do 11. 5. po približno 20 mm na dan. Tako je v Postojni v tem času padlo skoro 100 mm dežja. Curek 29 je reagiral 9. 5., ko so nastopile intenzivnejše padavine. Od izhodne vrednosti 4,5 ml min⁻¹ se je pretok v vrhu vala dvignil na 9,7 ml min⁻¹. Po 12-dnevnem brezdeževnem obdobju, ko je bil pretok zopet 4,5 ml min⁻¹, je v intenzivnem nalivu, ko je padlo 54 mm dežja v približno 10 urah, curek 29 hitro reagiral, v vrhu vala dosegel dvakratno izhodno vrednost in nato zelo počasi upadal. Curek 29 reagira na padavine z manjšimi zakasnitvami, v namočenih razmerah že po 10 urah, po daljši suši pa nekoliko kasneje in oblikuje položne, zaobljene vodne valove (slika 2).

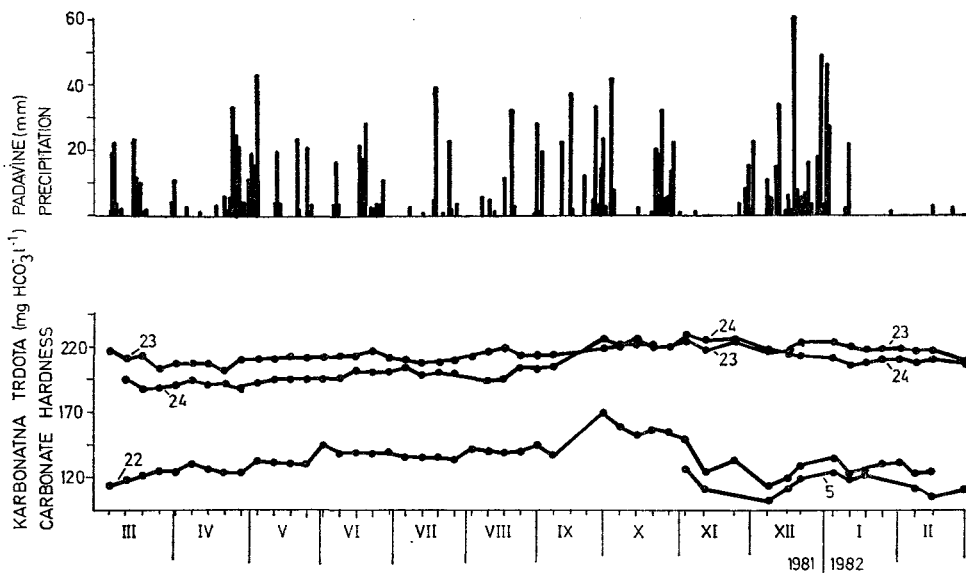
Vzporedno spremljanje curka 23 je ob prvih opazovanih padavinah, ko mesec dni prej skoro ni bilo padavin, pokazalo, da je reagiral z močnim zaostankom za padavinami, ko so padavine že prenehale in je bil položni vodni val curka 29 že v upadanju. Reagiral je z dokaj strmim naraščanjem pretoka v prvih 12 urah, ko se je pretok 10-kratno povečal ter nato le počasi upadal. Na drugi intenzivnejši, a količinsko šibkejši naliv (24. 5.), ko je bil pretok še v upadanju po prejšnjem valu, je reagiral z 2-dnevnim zaostankom za padavinami in oblikoval dolg položen vodni val.

Curek 29, ki mu pretok niha v znatno manjšem intervalu kot curku 23, reagira dokaj hitro na padavine, medtem ko mora imeti curek 23 obširnejšo mrežo slabše prepustnih dovodnih poti, ki se postopoma zapolnjujejo, za kar govore časovni zaostanki reakcij ter sorazmerno višji pretoki tega curka.

Če primerjamo reagiranje curkov v Pisanem rovu s tistimi v Planinski jami, lahko ugotovimo hitrejšo reakcijo pretoka curkov v Planinski jami, pa tudi izrazitejše oblikovanje vodnih valov, ki odražajo razporeditev in količino padavin. To je razvidno iz slik opazovanih vodnih valov, kjer so za primerjavo navedene padavine, merjene v Postojni. Vemo pa, da se padavine v Postojni in Planini po količini in razporeditvi nekoliko razlikujejo (slika 2).

TRDOTE PRENIKLIH VODA

Tedenske meritve karbonatne, kalcijeve in magnezijeve trdote so pokazale pri vseh preniklih vodah v Pisanem rovu nizko vsebnost magnezija (pod 1,7 mg Mg²⁺ l⁻¹ in majhne razlike med karbonatno in kalcijevo trdoto. Karbonatne trdote curkov 21, 23, 24, 25, 29 in 31 imajo zelo soroden potek, razlike med posameznimi curki so majhne in le občasno presegajo 12 mg HCO₃⁻ l⁻¹ (slika 3).



Sl. 3. Letni potek padavin in karbonske trdote curkov v Pisanem rovu

Fig. 3. Annual precipitations quantity and trickles carbonate hardness in Pisani rov

Letno nihanje trdot teh curkov je znatno manjše kot pri opazovanih curkih v Planinski jami in kot nakazujejo meritve, tudi v Škocjanskih jamah in Dimnicah. Karbonatne trdote posameznih curkov nihajo v intervalu $36 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Zato le težko govorimo o njihovem sezonskem nihanju, čeprav se pri curkih 21, 24, 29 in 31 nakazujejo višje trdote od septembra do vključno februarja, ko so dosegale tudi do $240 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

Izven tega območja je curek 24_k z minimalno karbonatno trdoto 152 in maksimalno $225 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$ ter curek 22, ki mu karbonatna trdota niha od $116\text{--}171 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Če nihanje pretokov primerjamo z nihanji trdot, se izkaže podobno kot za Planinsko jamo, da večjim nihanjem pretoka ustrezajo tudi večja nihanja karbonatnih trdot.

KOROZIJSKE OBLIKE V PISANEM ROVU

Nedaleč od curkov, ki gradijo kapniške oblike, srečamo agresivno kapljanje, ki razjeda kamnino ali staro sigo. Vidne korozijske sledove zasledimo v stari sigi na steni (točka 22), kjer je agresivna voda pri polzenju po steni že odtopila plast stare sige in sedaj razjeda skalo. Razlike v karbonatnih trdotah pri vrhu in vznožju stene ($\sim 2 \text{ m}$) so nam bile merilo raztapljanja na tej poti. V sušnem poletnem obdobju (od 3. do 24. 8. 1981), ko pretok ni presegal 5 ml min^{-1} , smo izmerili raztapljanje do $13 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, v preostalem času pa ni bilo opaznejšega raztapljanja. Možno je, da je zaradi kratke poti in napake v določevanju karbonatne trdote pri večjih pretokih (razredčevanje), minimalen efekt raztapljanja zabrisan. Očitno je, da se je sestava vode tekom časa bistve-

no spremenila, saj je najprej izločala sigo, ki jo je začela kasneje raztapljati. Ta curek je preučeval že I. Gams (1967). Kemične analize vode so pokazale več anhidrida žveplene kisline in kisika, zato je sklepal, da je voda agresivnejša zaradi roženca v apnencu. Vendar pa ta razlaga ne pojasnjuje predhodnega izločanja sige na istem mestu. Za sedaj si to lahko razložimo le z drugačnim načinom prenikanja, oz. dovajanjem vode v ta curek po drugih vodnikih.

V zadnjem delu rova je agresivna prenikla voda izoblikovala v podornih skalah po dnu rova številne korozijske kotlice. Ponekod je korozija tako napredovala, da je celo preluknjala skale. Strop nad temi oblikami je nezasigan, vendar pa so že v neposredni bližini ob robu rova lepe sigaste oblike. Agresivno kapljanje, ki oblikuje opisane korozijske oblike, je zelo počasno.

V korozijsko kotlico na točki 1 v zadnjem delu rova je kapljala prenikla voda v sušnih obdobjih z minimalnih pretokom znatno pod 1 ml min^{-1} ; marca 1981, ko se je topil obilni sneg na površju, pa smo izmerili pretoke do 20 ml min^{-1} . Najnižje karbonatne trdote smo zabeležili spomladi. Od januarja dalje so dosegale od 122 do $132 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$, v jesenskem obdobju v oktobru, pa smo izmerili do $170 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$. Podoben potek trdot je imelo tudi kapljanje na točki 4. Curka 2 in 3 imata zasigani kotlici, njune trdote pa so bile do $36 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$ višje kot pri prej omenjenem kapljanju in sta občasno tudi presahnila. Izgleda, da je raztapljanju oz. nastajanju kotlic sledilo izločanje.

Najnižje trdote, ki smo jih zabeležili v Pisanem rovu, pa so dosegala kapljanja na mestih 5, 6 in 7, nedaleč od točke 24_k. V času opazovanja od novembra dalje, se je curek 7 ob namočenih situacijah dokaj povečal, kasneje pa tudi presahnil; curka 5 in 6 pa sta bila stalna. Minimalna karbonatna trdota je bila 105, maksimalna pa $130 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$, kar pogojuje intenzivnejše raztapljanje karbonatov v skalah po jamskem dnu v tem delu rova.

Korozijske kotlice si razlagamo kot posledico učinkovanja agresivne, nenasičene vode na golih ali pa že predhodno zasiganih skalah. Če je kotlica vsaj delno v sigi, ki je porozna, lahko bolj ali manj nasičena voda prodira skozi njo. Če pa je kotlica v skali brez razpok, pride do odtoka vode le ob visoki vodi čez rob kotlice; v sušnih obdobjih, ob minimalnem dotoku prenikle vode, pa se kotlice delno praznijo s pršenjem ob padanju kapelj v vodo v kotlici. Zadržujoča agresivna voda raztaplja karbonate do vzpostavitve ravnotežja. Odtok nasičene vode pa pomeni tudi odtok karbonatov, oz. rast kotlice.

Na kemično sestavo prenikle vode in režim pretoka ne vplivata le debelina jamskega stropa in njegova litološka sestava, ampak v precejšnji meri tudi lokalna razporeditev in prepustnost prevodnikov v kamnini.

IZLOČANJE SIGE V PISANEM ROVU

Bogastvo sigastih oblik v Pisanem rovu nam da slutiti, da se je tu v preteklosti močno odlagala siga. Kako pa ta proces poteka danes, smo skušali ugotoviti z meritvami trdot prenikle vode preden začne izločati in ko je na določeni poti že odložila neko količino sige. Kot smo že omenili, so meritve v Pisanem rovu pokazale, da prenikle vode vsebujejo predvsem karbonatne in kalcijeve ione, vsebnost magnezijevih ionov je nizka in ostane tudi po izločanju nespremenjena. Opazne razlike smo zabeležili pri kalcijevih in karbonatnih trdotah, iz česar sledi, da gre za izločanje predvsem CaCO_3 . Tudi analize sta-

rejših sig so pokazale, da jih sestavlja sorazmerno čist CaCO_3 (J. K o g o v š e k 1981).

Za meritve izločanja smo v Pisanem rovu izbrali štiri točke, kjer prenikla voda kaplja z različno velikim pretokom na stalagmite pod seboj in ob polzenju po njih in nadalje po jamskih tleh izloča sigo.

O rasti stalagmitov, ki jo določa odlaganje karbonatov iz tankega filma prenasichene raztopine, lepo podaja v svojem prispevku W. Dreybrodt (1981), kot tudi o kemijskih in fizikalnih procesih, ki tu potekajo. Prenikla voda je pravzaprav raztopina vseh snovi, ki jih raztopi pri penikanju; v naših primerih predvsem raztopina karbonatov. Hitrost izločanja sige zavisi od številnih faktorjev, predvsem od koncentracije Ca^{2+} v raztopini in koncentracije CO_2 na površini stalagmita. Ko pade kapljica take vode na neko podlago, se tvori tanek film raztopine. Pri debelini filma 0,1 mm odda raztopina v približno 10 sek prebitni CO_2 . Oddajanje CO_2 je difuzijski proces, njegova posledica pa je izločanje CaCO_3 .

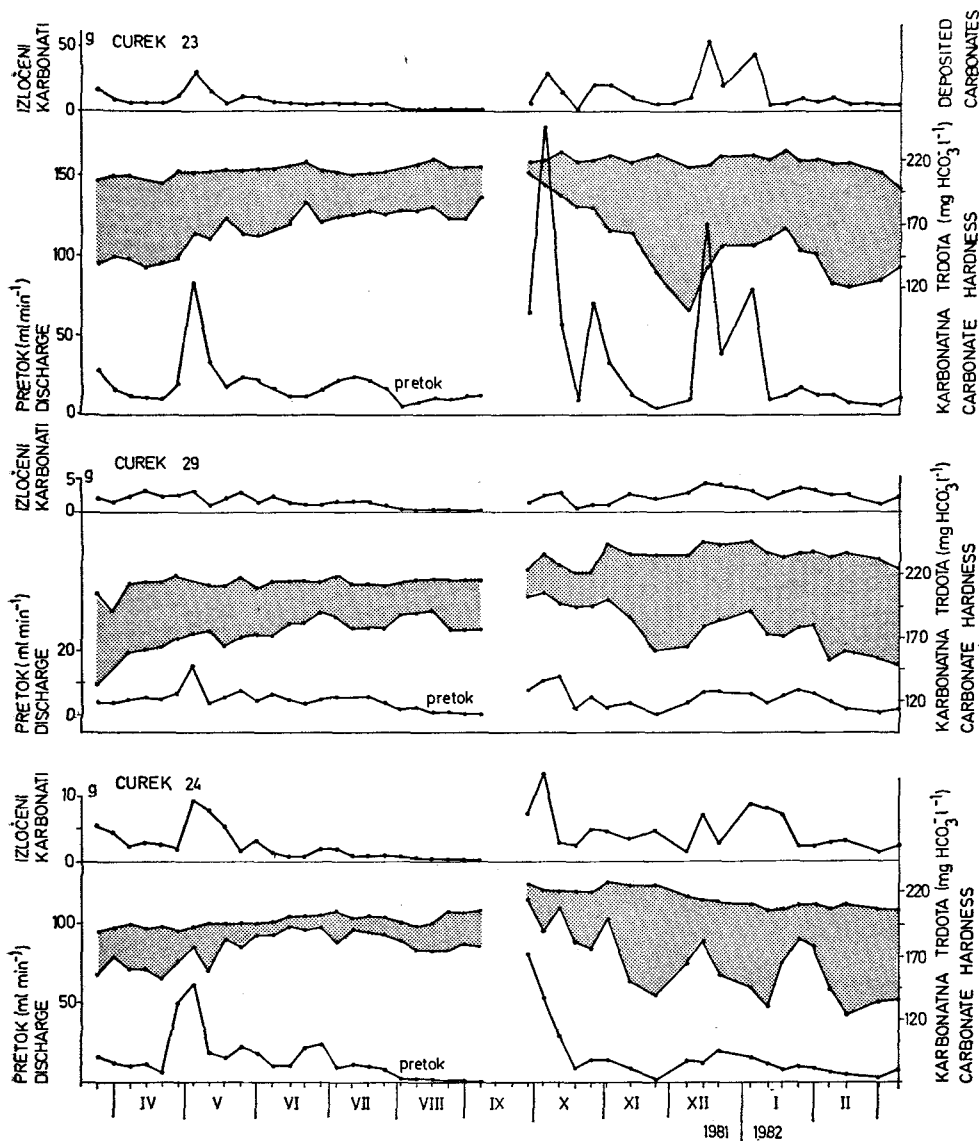
Hitrost izločanja v odvisnosti od časa, pri konstantnih ostalih pogojih, pada, zato ker s časom pada koncentracija Ca^{2+} . To pa traja tako dolgo, dokler ne pade nova kaplja prenikle vode in se dogajanje ponovi. Tako hitrost izločanja ne zavisi le od koncentracije Ca^{2+} v prenikli vodi, ampak tudi od časovnega intervala med dvema kapljama (od pretoka), ki določa tudi koncentracijo Ca^{2+} in debelino filma vode, ki obliva stalagmit. Pri majhnem časovnem intervalu med dvema kapljama je stalagmit stalno oblit z visokokonzentrirano raztopino in rast sige je hitra. Pri zelo velikih časovnih intervalih se izloči ves razpoložljivi apnenec, če pa je interval večji, kot je čas, ki je potreben za izločanje, hitrost izločanja pojema z $1/\Delta t$.

Pri konstantni debelini filma in temperaturi je pri večjih začetnih koncentracijah Ca^{2+} večja hitrost izločanja. Z manjšanjem debeline filma hitrost izločanja ob konstantnih ostalih faktorjih, narašča. Dreybrodt je ugotavljal tudi vpliv temperature ob konstantni začetni koncentraciji in debelini filma. Za začetno koncentracijo $200 \text{ mg Ca}^{2+} \text{ l}^{-1}$ in debelino filma 0,1 mm so za časovni interval med kapljami 300 sek ugotovili podvojitev hitrosti izločanja pri temperaturi 25°C v primerjavi s temperaturo 10°C . Vzrok je v temperaturi odvisnosti konstant, ki določajo kemijske reakcije izločanja.

Kot smo že zapisali, smo spremljali recentno izločanje sige na štirih mestih, ki se med seboj razlikujejo po velikosti pretoka, kot tudi po dolžini poti, na kateri smo merili izločanje.

Karbonatna trdota prenikle vode na točki 23 preko leta le neznatno niha ($207\text{--}220 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$). Njen pretok reagira na padavine z določenim časovnim zaostankom, sicer pa niha umirjeno. Ob nizkih pretokih lahko prenikla voda odda karbonate do največje mere; vendar pa smo z našimi meritvami ugotovili, da so se jeseni in v zgodnji zimi ob nizkih pretokih izločali karbonati v večji meri kot pa v preostalem času, kar pa si le z našimi meritvami ne znamo pojasniti, CO_2 v jamskem zraku pa nismo merili. Maksimalna količina karbonatov se je izločila pozno jeseni ob nizkem pretoku, in sicer 90 mg CaCO_3 iz 1 litra prenikle vode. Takrat se je voda odtekala v pretežni meri po drugi strani kope s stalagmitom, ki rase na njej ali pa pronicala skozi kopo, tako da je prišlo do popolnejšega izločanja.

Očitno je, da obliva prenikla voda stalagmite zelo različno. Voda, ki enakomerno kaplja na vitek stalagmit, ga obliva z vseh strani, tako da je njegova rast simetrična. V večini primerov pa prevladujejo »sestavljene« stalagmiti, ki odražajo obdobja različno intenzivnega izločanja sige. Tako smo dostikrat priča,



Sl. 4. Izločanje sige na točkah 23, 29 in 24 v Pisanem rovu

Fig. 4. Sinter deposition on the points 23, 29 and 24 in Pisani rov

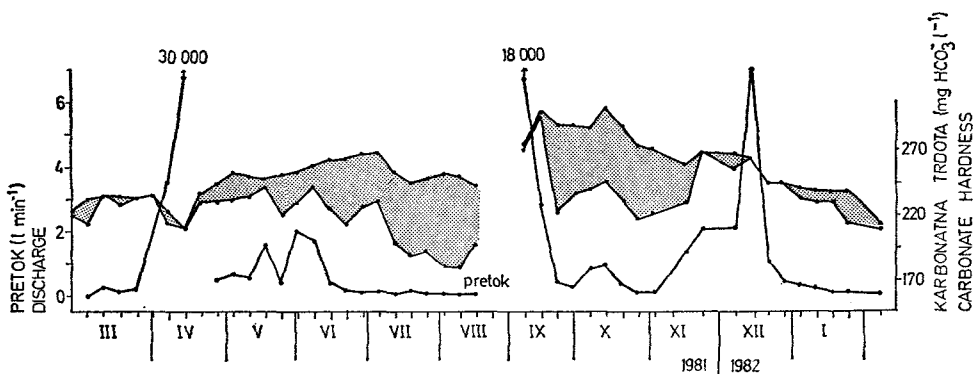
da prenikla voda obliva sigaste kope le delno, oz. odvisno od sprememb pretoka, tudi preko leta zelo različno.

Na točki 23 se je kljub popolnejšemu izločanju ob nizkih pretokih izločilo na 2,7 m dolgi poti po stalagmitu in kopi količinsko največ karbonatov ob višjih pretokih, to se pravi, da je v danem primeru količina odloženih karbonatov odvisna predvsem od količine pretekle vode, kar je razvidno iz slike 4.

Karbonatna trdota na točki 29 je dosegala vrednosti okoli $207 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$, jeseni pa se je dvignila na $232 \text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$ in to vrednost obdržala še v času zime. Vzporedno se je za enako mero dvignilo tudi izločanje karbonatov iz 1 litra prenikle vode na 1,75 m dolgi poti. To kapljanje karakterizirajo nizki pretoki s sorazmerno majhnimi nihanji. Krivulja količine odloženih karbonatov v določenem časovnem intervalu poteka dokaj skladno s krivuljo pretoka, tako da lahko enako kot pri curku 23 ugotovljamo, da količina odloženih karbonatov močno zavisi od količine pretekle vode, čeprav se sicer v znatno manjši meri kaže tudi odvisnost od stopnje izločanja, ki prihaja do izraza zaradi razmeroma nizkih pretokov.

Kapljanje na točki 25 je po značilnostih pretoka podobno kapljanju na točki 29. Izločanje smo spremljali le na 0,5 m dolgi poti, vendar pa se je že na tako kratki poti izločalo tudi do 60 mg CaCO_3 iz 1 litra prenikle vode. Tudi tu je količina karbonatov, ki se je odložila v določenem času predvsem odvisna od količine prenikle vode. Kapljanje na točki 24 dosega jeseni in v zgodnji zimi podobno kot kapljanje na točki 29 višje karbonatne trdote, pri tem pa njegov pretok znatneje niha. Meritve trdot so pokazale, da se izločajo v obdobju višjih trdot tudi večje količine karbonatov iz 1 litra prenikle vode. Kot glavni faktor za količino izločene sige pa se tudi tu kaže količina pretekle vode.

Slika 5 pa kaže vzporedno spremljanje izločanja v Planinski jami. Spremljali smo izločanje iz prenikle vode curka 1, ki se po 10 m dolgi poti odteka v Unico. Večje izločanje smo zabeležili ob nizkih pretokih od julija do vključno novembra, ko je pretok pretežno nihal okoli vrednosti 100 ml min^{-1} in se je izločalo do $55 \text{ mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, medtem ko ob visokih pretokih, več 1000 ml min^{-1} , nismo zabeležili razlik v trdotah.



Sl. 5. Izločanje sige na točki 1 v Planinski jami

Fig. 5. Sinter deposition on the point 1 in Planinska jama

BILANCA IZLOČANJA KARBONATOV

Na osnovi celoletnih tedenskih meritev pretoka in trdot prenikle vode v Pisanem rovu, smo izračunali celoletno količino prenikle vode za posamezna kapljanja, kot tudi količino izločenih karbonatov. Dolžina poti, na kateri smo merili izločanje, je bila zelo različna. Ker nismo imeli zveznih meritev, je izračun le približen, vendar dokaj dobra ocena.

Izračunane vrednosti so razvidne iz tabele 1.

Tabela 1

Curek Trickle	Dolžina poti Length of way	Volumen vode Volume of water	Izločeni karbonati Deposited carb.
	m	m ³	g CaCO ₃
23	2,70	14,0	550
24	1,80	8,6	200
25	0,50	2,4	44
29	1,75	2,7	100

SKLEPI

V močno zasiganem Pisanem rovu prevladuje drobno kapljanje nizkih pretokov ter različnih, a sorazmerno majhnih nihanj. Taka kapljanja oblikujejo ob padavinah položne vodne valove z zelo počasnim upadanjem ter večjimi ali manjšimi zakasnitvami, kar vse kaže na močno dušenje padavinskih vplivov pri prenikanju skozi jamski strop, kar se odraža tudi v sorazmerno majhnih nihanjih trdot prenikle vode preko celega leta. Pri tem pa ima pomembno vlogo tudi zasiganost jamskega stropa, ki zadržuje in usmerja preniklo vodo. Lahko zaključimo, da v Pisanem rovu prevladuje zelo umirjeno kapljanje brez večjih in hitrih sprememb. Nekaj večjih curkov je vezanih na prelome, njihovi pretoki pa močno nihajo in ob suši lahko tudi presahnejo. Podobni so curkom v Planinski jami. Hitro reagirajo na padavine in oblikujejo izrazite pretočne valove, ki odražajo razporeditev in količino padavin, kar govori za direktnjše in prepustnejše vodnike v sklopu obširne mreže drobnih in manj prepustnih vodnikov.

Razvidno je, da na režim pretoka curka in sestavo njegove vode sicer vpliva sestava jamskega stropa, pa tudi njegova debelina, ki daje možnost širšega ali ožjega zaledja curka. Vendar pa večje razlike med bližnjimi curki lahko pojasnimo le z drugačnim sistemom dovodnih poti, oz. drugačnim načinom prenikanja, ki se navezuje na razne razpoke in prelome, in se od curka do curka lahko zelo razlikuje. Za to govori tudi bližina prenasičene prenikle vode, ki odlaga sigo, ter agresivne, ki razjeda skale in staro sigo. Lepe, pestre sigaste oblike v Pisanem rovu odražajo različno intenzivno izločanje sige v preteklosti. Danes je Pisani rov klimatsko skoro statičen. Pretežni del prenikle

vode vsebuje visoko karbonatno trdoto ($190\text{--}240\text{ mg HCO}_3^- \text{ l}^{-1}$), kar pogojuje dokaj enakomerno izločanje sige preko celega leta, ki pa ga nekoliko uravnava nihanje pretoka.

Tedenske meritve pretokov in karbonatnih trdot pred in po izločanju so nam podale potek izločanja preko leta, kot tudi približen izračun odloženih karbonatov na opazovanih točkah, tako da lahko rečemo, da se iz prenikle vode posameznih kapljanj v Pisanem rovu v enem letu izloči do 0,5 kg sige.

Ob nizkih pretokih so se karbonati izločali v večji meri kot ob višjih, vendar smo ugotovili, da efekt izločanja, oz. količina odloženih karbonatov v določenem času (pretok je le redko presegal 100 ml min^{-1}) zavisi predvsem od količine prenikle vode. Tudi meritve v Planinski jami kažejo na močnejše izločanje ob nizkih pretokih (okoli 100 ml min^{-1}), medtem ko ob pretokih več 1000 ml min^{-1} nismo zabeležili izločanja.

Seveda je pri izločanju pomembno, kako voda obliva kapnik, saj danes pogosto srečamo nesimetrično rast kapnikov, ki je osiromašeno nadaljevanje bolj intenzivnega izločanja v preteklosti. Izločanje se lahko spreminja že preko leta ob nihanju pretoka.

LITERATURA

- Dreybrodt, W., 1981: Physikalisch-chemische Prozesse in natürlichen Kalklösungen und das Wachstum von Stalagmiten. *Laichinger Höhlenfreund*, 1, 7—16, Laichingen.
- Gams, I., 1967: Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kamninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. *Geografski vestnik XXXVIII*, 11—69, Ljubljana.
- Gams, I., 1970: Zračna cirkulacija kot del jamskega okolja (na primeru Postojnske jame). 5. Jug. speleol. kongres, 99—111, Skopje.
- Gams, I., 1974: Koncentracija CO_2 v jamah v odvisnosti od zračne cirkulacije (na primeru Postojnske jame). *Acta carsologica VI*, 183—193, Ljubljana.
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. *Acta carsologica VII*, 5—139, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 1981: Porazdelitev nekaterih elementov pri nastajanju sig v kraških jamah. *Acta carsologica IX*, 114—126, Ljubljana.
- Kogovšek, J., P. Habič, 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica IX*, 132—148, Ljubljana.

WATER PERCOLATION AND SINTER DEPOSITION IN PISANI ROV OF POSTOJNSKA JAMA

Summary

In largely decorated Pisani rov a tiny dropping with low discharges and relatively small oscillations prevails. During the precipitations such percolation forms a gentle water pulse with very slow decrease and greater or smaller retardations, proving a strong retardation of precipitation influence during the percolation through the cave ceiling. This is reflected also in relatively small hardness oscillations of percolated water during the year. An important role is played by the calcited ceiling which retains and directs the percolated water. We can conclude that in Pisani rov very calm dropping prevails without great or quick changes. Some bigger trickles are connected by faults, their discharges oscillate and during the dry period they dry up. They are similar to trickles in Planinska jama, quickly reacting to precipitations and forming expressive water pulses, reflecting distribution and precipitation quantity.

It is evident that to trickle discharge regime and to composition of its water the structure of cave ceiling influences, as well as its thickness, giving the possibility of wider or narrower trickle background; greater differences among neighbour trickles can be explained only by different system of inflow ways, different way of percolation respectively, which is sometimes connected with joints and faults, and can differ from trickle to trickle very much; thus can be explained the immediate vicinity of saturated percolated water, depositing sinter, to aggressive water, corroding rocks and old speleothems.

Nicely coloured speleothems in Pisani rov reflect differently intensive sinter deposition in the past. Today is Pisani rov climatically almost statcal. The majority of percolated water has high carbonate hardness ($190\text{--}240\text{ mg HCO}_3$), depositing sinter.

Week discharge and carbonate hardnesses measurements before and after deposition gave us the lapse of deposition during the whole year, shown on Fig. 4. They rendered possible the approximative calculation of deposited carbonates on observed points (Table 1), thus we can state that by permanent dropping of percolated water in Pisani rov $0,5\text{ kg}$ of sinter was deposited in one year. During the low discharge the deposition of carbonates increases, but we have stated, that the effect of deposition, the quantity of deposited carbonates in defined time respectively (the discharge rarely exceeded 100 ml min^{-1}), depends mostly upon the quantity of percolated water. Even the measurements in Planinska jama show higher deposition at low discharges (about 100 ml min^{-1}), while at the discharges higher than 1000 ml min^{-1} we did not measure the deposition.

Evidently it is important how the water flows on the speleothem; we find a lot of unsymmetrically grown up speleothems resulting on smaller growth of more intensive deposition in past. The deposition can change during the year because of discharge oscillations even if other conditions are quite constant.

For very stable conditions in Pisani rov we can say that the sinter is deposited constantly during the whole year thus completing the old speleothems.