

UGOTAVLJANJE DINAMIKE PRETAKANJA PADAVIN SKOZI VADOZNO CONO KRASA NA OSNOVI MERITEV PRETOKA

RAINWATER PERCOLATION DYNAMICS ASSESSMENT THROUGH THE VADOSE KARST ZONE ON THE BASIS OF DISCHARGE MEASUREMENTS

Janja KOGOVŠEK¹

Izvleček

UDK 556.3(497.4)

Janja Kogovšek: *Ugotavljanje dinamike pretakanja padavin skozi vadozno cono krasa na osnovi meritev pretoka*

Raziskave na osnovi občasnih, kasneje pa zveznih meritev padavin na površju in pretokov značilnih curkov v Postojnski jami, 100 m pod površjem, so podale dinamiko pretakanja v času hidrološkega leta. Pokazale so na več mesecev trajajoča poletna obdobja, ko se vse padavine, tudi tiste izdatnejše, shranjujejo v vadozno cono. Po daljšem sušnem obdobju se prve reakcije pretokov curkov na padavine močno razlikujejo, medtem ko v namočenem obdobju nismo zabeležili večjih razlik. Iztekanje vode v upadajočih delih vodnih valov se med curki bistveno razlikuje in med njimi smo prepoznali tipe curkov, ki napajajo kraške vodonosnike tudi v času nizkih vodostajev oz. nizkih pretokov kraških izvirov.

Ključne besede: kraška hidrologija, vadozna cona, vodni val, Postojnska jama, Slovenija.

Abstract

UDC 556.3(497.4)

Janja Kogovšek: *Rainwater percolation dynamics assessment through the vadose karst zone on the basis of discharge measurements*

Researches based on seasonal and later continuous measurements of precipitation on the surface and discharges of typical trickles in Postojnska Jama, 100 m below the surface, showed the dynamics of percolation in a period of a hydrological year. They registered summer periods lasting several months when all the rainfall, even more abundant, is stored in a vadose zone. After a longer dry period the first discharge reactions of trickles to rainfall strongly differ while there is no substantial difference in a wet period. The water outflow in decreasing parts of water pulses essentially differs among various trickles and we recognised the types of trickles feeding karst aquifers even during low water level or low discharges of karst springs.

Key words: karst hydrology, vadose zone, water pulse, Postojnska jama, Slovenia.

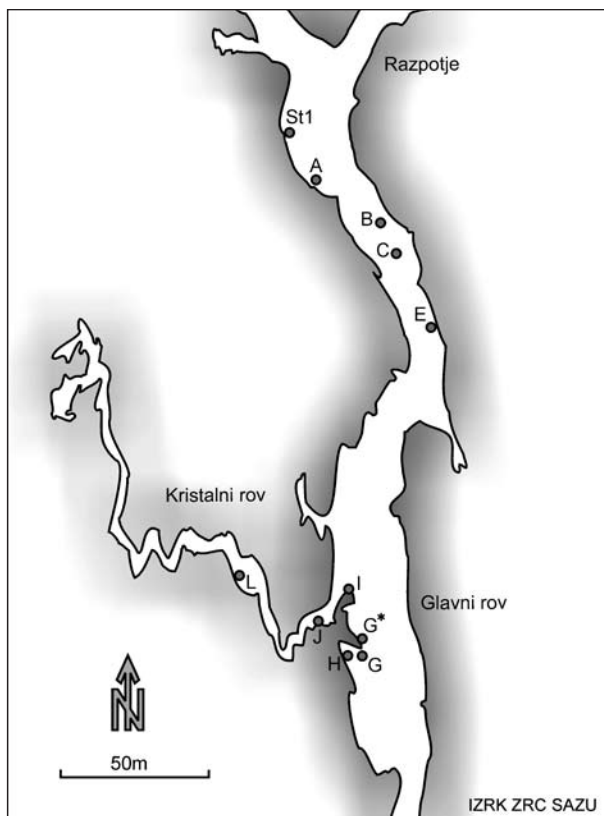
UVOD

Vir kraške vode so padavine, ki vstopajo skozi prst v vadozno cono, od koder po daljšem ali krajšem zadrževanju odtekajo in napajajo kraške vodonosnike. To pretakanje so preučevali z različnimi pristopi in metodologijami že številni raziskovalci: Bakalowicz et al. 1974, Williams (1983), White (1988), Jeannin & Grasso 1995, Perrin & Jeannin & Zwahlen 2003 in številni drugi. Anna F. Tooth in Ian J. Fairchild (2003) sta preučevala preniklo vodo v Crag cave na Irskem s 40 m debelo vadozno cono v dveh krajših obdobjih, avgusta 1997 in januarja 1998 in na osnovi dnevnikih hidrokemijskih meritev ter izdelala hidrogeokemijske modele. V zadnjih 30 letih so potekale tudi

na slovenskem krasu raziskave prenikanja skozi vadozno cono (Kogovšek & Habič 1981; Kogovšek 1982; Čenčur Curk 2002).

Naše raziskave s pogostimi ročnimi meritvami pretoka (1 do 2-krat dnevno) curkov in kapljanj v Kristalnem rovu ter bližnjih curkov v Glavnem rovu Postojnske jame smo začeli spomladi 2002 in so trajale do jeseni 2003 (Sl. 1). Meritve v hidrološkem letu 2002/03 so pokazale letni potek pretokov in različne tipe curkov. Izstopajo daljša obdobja, ko se infiltrirane padavine niso neposredno odrazile v povečanju pretokov in so se torej porabile za zapolnjevanje zaledij curkov, in »namočena« obdobja, ko

¹ Inštitut za raziskovanje krasa, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenia.



Sl. 1: Položaj opazovanih curkov v Postojnski jami.

Fig. 1: Location of observed trickles in Postojnska jama.

so pretoki curkov hitro in izrazito reagirali na padavine. Pri oblikovanju vodnih valov curkov po padavinah ob različnih hidroloških razmerah smo ugotavljali, da prihaja med njimi do razlik, vendar pa so bile meritve 2-krat dnevno nezadostne za podrobnejšo oceno. Zato smo za nadaljnje raziskave izbrali tri značilne curke: curek I s pretokom do več 1000 ml/min, manjši curek J s pretokom do 130 ml/min ter kapljanje L s pretokom do 6 ml/min (Sl. 1). Z zveznimi meritvami pretoka smo začeli leta 2003 in so trajale celo hidrološko leto 2003/04 do jeseni 2004.

Vloga vodozne cone pri pretakanju padavin do kraških izvirov so pokazala tudi sočasna sledenja z umetnimi sledili neposredno s kraškega površja (Kogovšek & Petrič 2006).

METODE DELA

Za podatke o dnevni količini padavin sem v letu 2002 in delno v letu 2003 uporabila meritve Agencije republike Slovenije za okolje za padavinsko postajo Postojna Zalag. Od junija 2003 pa smo začeli z lastnimi meritvami padavin na površju nad poligonom raziskav v Postojnski jami, na robu ograjenega dela vojašnice Slovenske vojske, saj smo ugotavljali, da občasno lahko prihaja do večjih razlik v razporeditvi, pa tudi količini padavin na krajše razdalje. Meritve so potekale z dežemerom z dataloggerjem HOBO Event Logger, firme ONSET (Sl.2), ki zabeleži vsakih 0,2 mm padavin. Tako sem dobila podrobno razporeditev količine padavin v času.

Prve meritve pretokov v hidrološkem letu 2002/2003 so potekale na točkah I, J, G, G*, H in L ročno enkrat do dvakrat dnevno, ko smo jih merili ročno s štoparico in ustreznim merilnim valjem, medtem ko so na točkah St1, A, C, E in B potekale le do konca leta 2002. Že v naslednjem hidrološkem letu 2003/2004 pa smo na treh izbranih točkah I, J in L začeli z zveznimi meritvami oz. z meritvami v časovnem intervalu 15 minut.

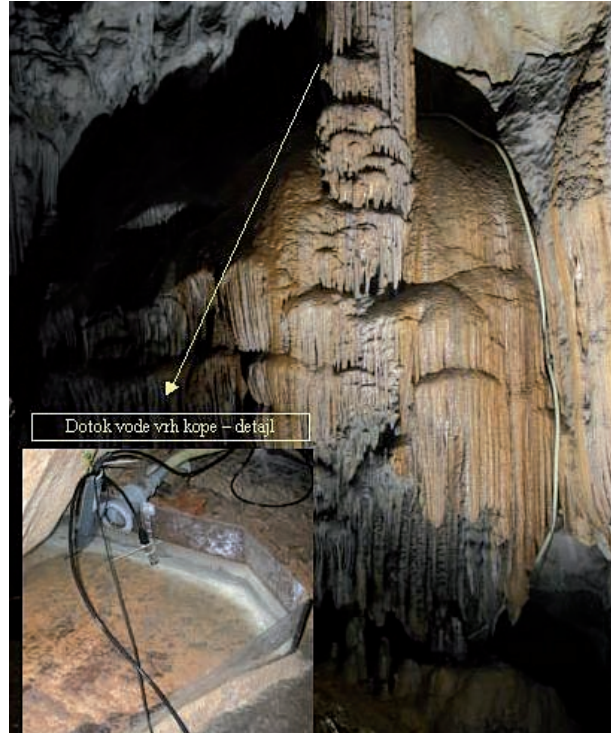
Na točki I smo po podrobnem ogledu curka po izdatnejših padavinah ugotovili, da priteka voda na vrhu približno 6 m visoke sigove kope. Glede na predhodne občasne meritve sem sklepala, da pretok lahko dosega do nekaj l/min. Zato smo na dotoku vode vrh kope naredili manjšo zajezev z vgrajenim prelivom. Ob njem smo pritrdili sonde za merjenje nivoja (Sl. 3). Uporabili smo Thermos data TL2 firme ENEA, ki je beležil meritve nivoja vsakih 20 minut oz. vsako uro. Na osnovi ročnih meritev pretoka in zveznih meritev nivoja s sondo sem izračunala funkcijsko odvisnost pretoka od nivoja (konsumpcijsko krivuljo) ter meritve preračunala v pretoke, ki so podali hidrogram curka I.

Meritve pretoka stalnega curka J s pretokom le do nekako 130 ml/min (meritve od leta 2002 dalje) sem morala zasnovati drugače. Vodo s curka sem speljala v posodo z majhnim iztokom (luknjico), v kateri smo s sondo merili višino vode (H) vsakih 15 minut (Sl. 4). Z občasnimi meritvami pretoka z merilnim valjem in štoparico ob najrazličnejših pretokih sem izdelala umer-



Sl. 2: Meritve padavin so potekale z dežemerom z dataloggerjem HOBO Event Logger.

Fig. 2: Measurements of precipitation with HOBO Event Logger.



Sl. 3: Merjenje pretoka curka I na vhodu v Kristalni rov.

Fig. 3: Discharge measurements of trickle I at the entrance to Kristalni rov.



Sl. 4: Merjenje pretoka curka J v Kristalnem rovu.

Fig. 4: Discharge measurements of trickle J in Kristalni rov.



Sl. 5: Merjenje pretoka na točki L v Kristalnem rovu.

Fig. 5: Discharge measurements of dripping point L in Kristalni rov.

itveno krivuljo. Preračun izmerjenih vrednosti nivoja v pretok nam je podal hidrogram curka J. Vrednosti najnižjih pretokov (pod 5 ml/min) smo povzeli iz ročnih meritev oz. smo najnižje pretoke preračunali iz natekle količine vzorca v časovnem intervalu.

Na stalnem kapljanju L sem v okviru predhodnih meritev, občasnih meritev v letu 2002 ugotavljala, da mu pretok prek leta niha med 0 in 6 ml/min. Ker nismo imeli na razpolago merilnika nivoja z datalogerjem za zvezno

merjenje pretoka, sem si pomagala s starim evaporimetrom z mehansko uro, ki sem ga ustrezno opremila s posodo z natego in ga tako priredila za meritve pretoka. Vsakokrat izteklo vodo iz natege smo zbirali v večji posodi (Sl. 5). S sicer zamudnim odčitavanjem s papirnega zapisa, preračunavanjem pretokov in kontrolo tako dobljenih vrednosti s količino iztekle vode v zbirni posodi, sem dobila hidrogram tudi za to kapljanje. Izkazalo se je, da je kapljanje L stalno.

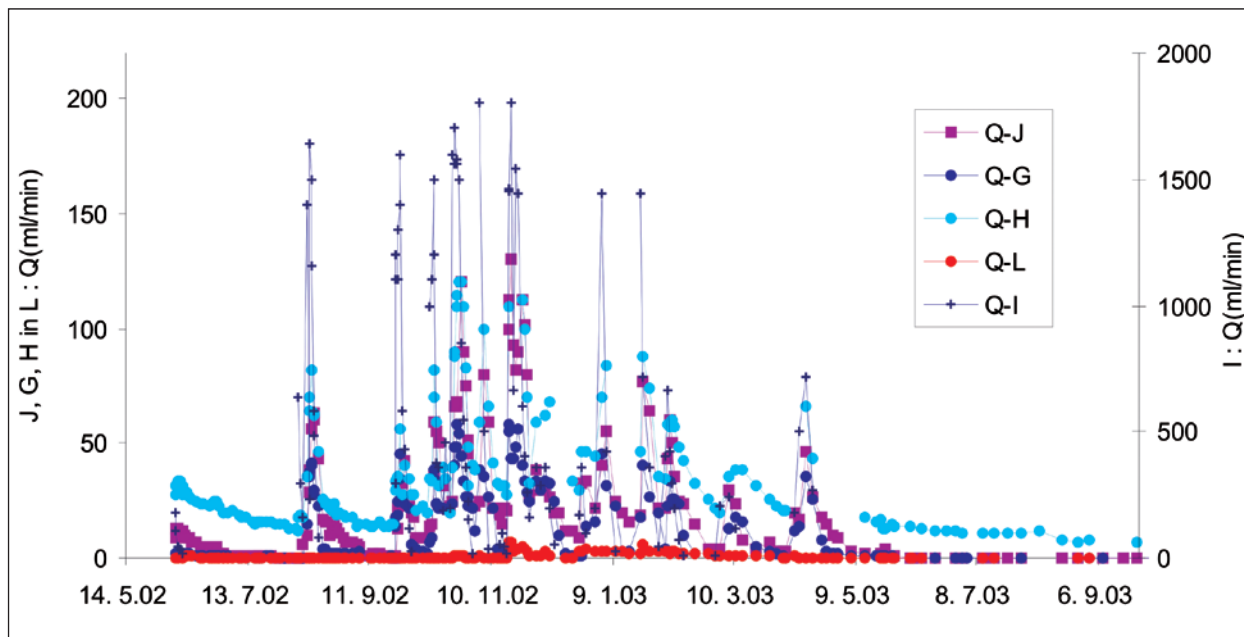
REZULTATI

OBČASNE MERITVE PRETOKA

Meritve pretokov curkov do dvakrat dnevno so pokazale osnovne značilnosti curkov. Iz slike 6 je razvidno, da so bili največji pretoki curkov v hidrološkem letu 2002/03 novembra 2002 in da curek I po izdatnosti odstopa od drugih curkov. Prvi tip curkov so tisti curki z velikim nihanjem pretoka, kot sta curka E (Sl. 7B) in curek I (slika 6), ki je dosegal pretok do 1800 ml/min. Hitremu naraščanju pretoka je sledil tudi hiter upad do minimalnih vrednosti oz. presušitve.

pretoka pa je upočasnjeno. Ti curki tudi v daljših sušnih obdobjih ohranjajo sorazmerno velik pretok, kar kaže na obsežnejšo mrežo slabo prepustnega dela zaledja curkov, ki se odraža v počasnem praznjenju zaledja, kar pomeni, da taki curki pomembno prispevajo vodo v daljših sušnih obdobjih. Seveda je tu še cela vrsta curkov, ki bi jih uvrstili med ta dva tipa.

Izstopajo majhna kapljanja oz. kapljanja s pretokom nekako do 15 ml/min, kot sta točki B (Sl. 7B) in L (Sl. 7A), v katerih se infiltrirana voda, ki se v zgoraj omenjenih curkih

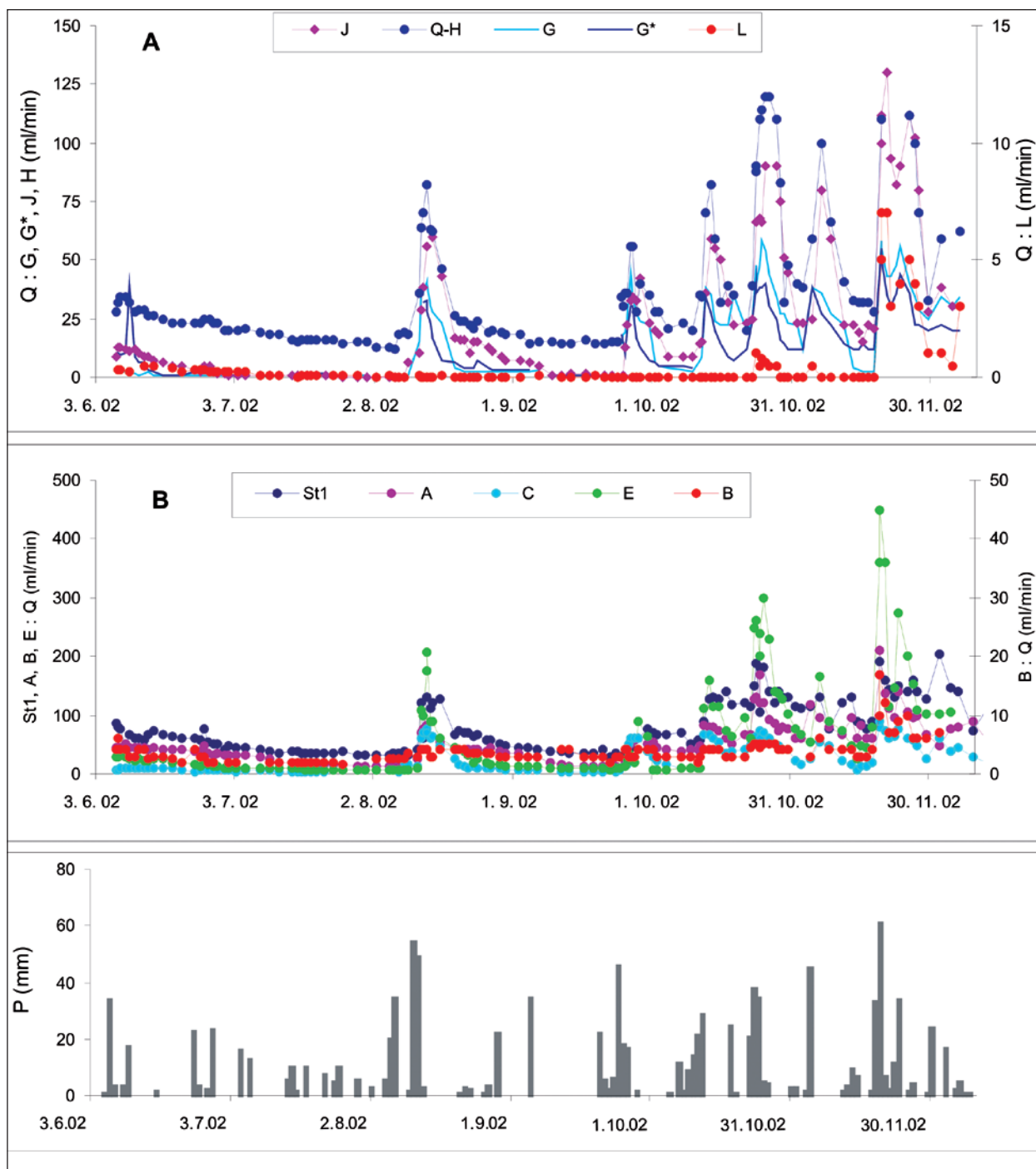


Sl.6: Ročne meritve pretokov v hidrološkem letu 2002/03.

Fig. 6: Manual discharge measurements in hydrological year 2002/03.

Drugi tip so curki, ki jim pretok med letom najmanj niha, kot sta curek H s ($Q_{max}/Q_{min}=18$) in delno J (Sl. 7A) ter curek St1 ($Q_{max}/Q_{min}=7$) (Sl. 7B). Vodni valovi so zaobljeni brez nihanj pretoka, upadanje

odrazi v vodnih valovih, določeno obdobje le shranjuje v njuno zaledje, dokler ni dovolj zapolnjeno, da sledeče padavine sprožijo oblikovanje izrazitega, mesec in več časa trajajočega vodnega vala s počasnim upadanjem pretoka.



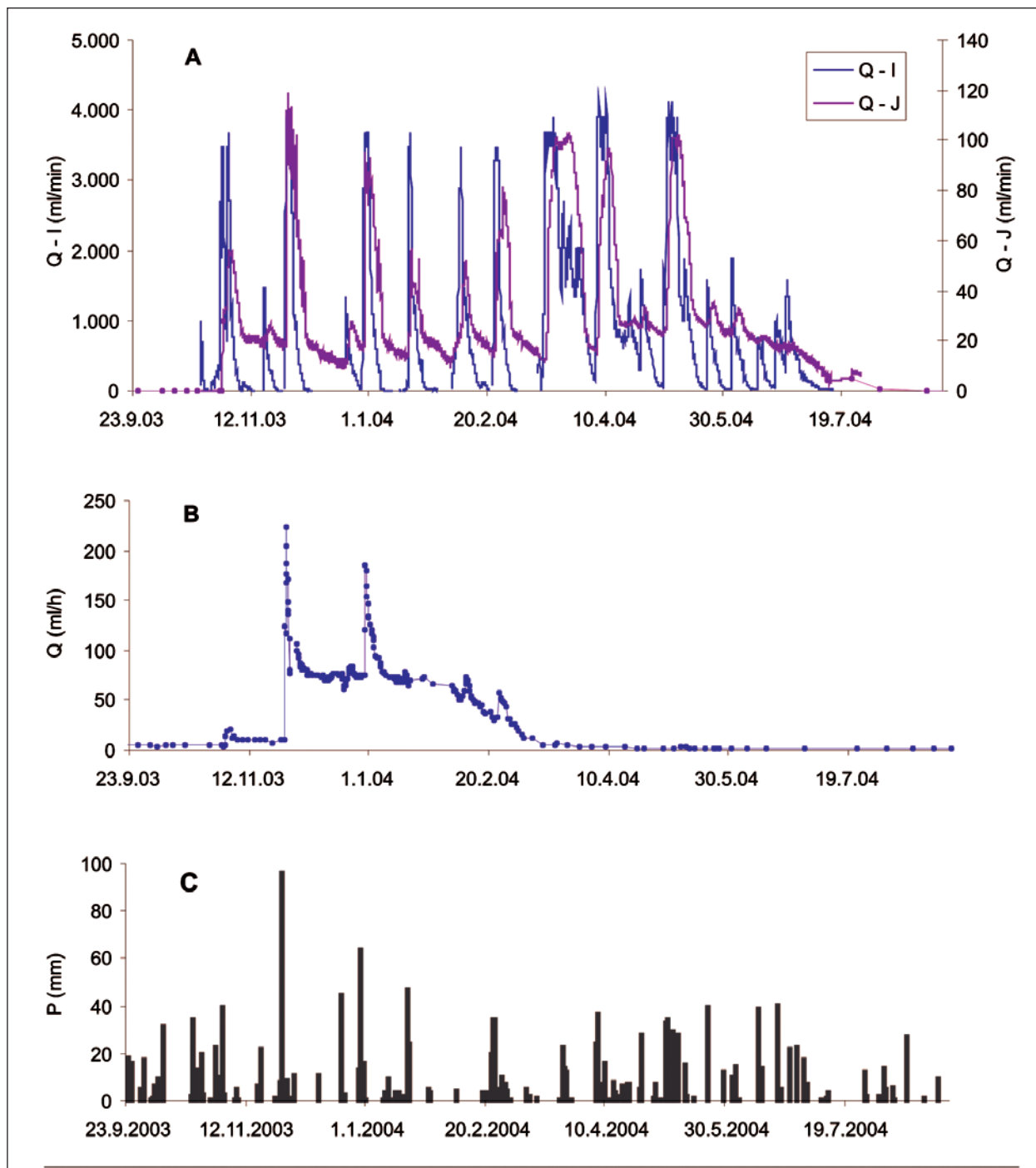
Sl. 7: Meritve padavin in ročne meritve pretokov curkov v Kristalnem rovu in pred njim (A) ter pretokov curkov v Glavnem rovu pred Razpotjem (B).

Fig. 7: Measurements of precipitations and discharges of trickles in Kristalni rov (A) and trickles in Glavni rov in front of Razpotje (B).

ZVEZNE MERITVE PRETOKA

Podrobnejšo sliko smo pridobili šele z zveznimi oz. pogostimi meritvami pretoka (vsakih 15 min), s katerimi smo začeli poleti 2003. Sočasne meritve padavin na površju so podale razporeditev in količino padavin za isto obdobje

(Sl. 8C). Iz hidrograma curka I za hidrološko leto 2003/04 je razvidno, da je curek kar 5-krat presahnil (Sl. 8A), sicer pa oblikoval strme vodne valove z maksimalnimi pretoki okoli 4000 ml/min. Osrednji del vodnih valov je trajal



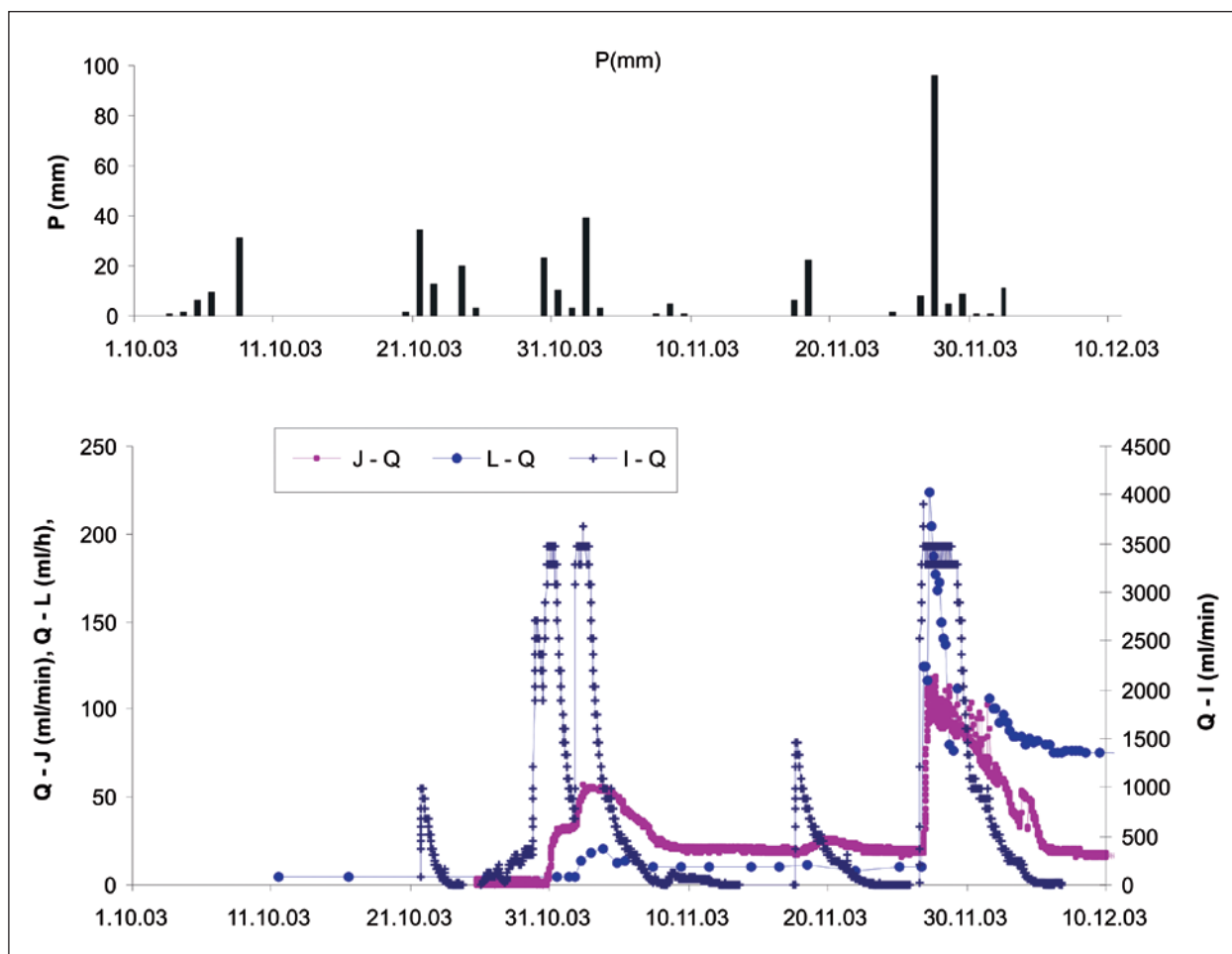
Sl. 8: Zvezne meritve padavin (C) v hidrološkem letu 2003/04, hidrograma curkov I in J (A) ter hidrogram kapljanja L (B).

Fig. 8: Continuous measurements of precipitation (C) in hydrological year 2003/04, hydrogrammes of trickles I and J and hydrogramme of dripping point L.

okoli 1 teden, po nekaj nadaljnjih dneh pa je curek v primeru, da ni bilo novih padavin, presahnil.

Zvezne meritve pretoka curka J so pokazale, da je stalen, in da dosega v obdobjih, ko curek I presuši, zelo nizke vrednosti pretoka. Ko je curek I oblikoval velike

vodne valove, so se oblikovali vodni valovi tudi v curku J, vendar različno obsežni, medtem ko so manjši izostali (Sl. 8A). Vodni valovi curka J so trajali opazno dlje kot pri curku I, upadanje pretoka v vodnih valovih pa je bilo upočasnjeno. Minimalni pretoki med vodnimi



Sl. 9: Reakcija curkov I, J in L na padavine po daljšem sušnem in v »namočenem« obdobju.

Fig. 9: Reaction of trickles I, J and L to precipitation after a longer dry period and in wet period.

valovi niso nikoli upadli pod 12 ml/min, počasnemu upadanju pretoka po zadnjem izrazitejšem vodnem valu v hidrološkem letu je sledilo eno-mesečno obdobje najnižjih pretokov s komaj zaznavnim upadanjem pretoka do konca hidrološkega leta.

Hidrogram kapljanja L je bil bistveno drugačen od hidrogramov curkov I in J (Sl. 8B). Razvidno je intenzivnejše iztekanje vode v edinem vodnem valu v hidrološkem letu, ki je trajal skoraj tri mesece z dvema izrazitima, kratkotrajnima porastoma pretoka, ki sta nastopila sočasno kot povišanja pretoka v curku J. Sledilo je počasno upadanje pretoka, čeprav so sledile še intenzivne in izdatne padavine, ki so v curku I oblikovale največje vodne valove v hidrološkem letu 2003/04. Upadanju pretoka je sledilo obdobje najnižjih pretokov, ki je trajalo kar 4 mesece, ko je pretok minimalno, komaj zaznavno upadal.

Ti podrobnejši hidrogrami curkov so nam omogočili tudi boljši vpogled v začetek reakcije pretokov

posameznih curkov po padavinah. Opazne so bistveno različne reakcije pretoka posameznih curkov na padavine po daljšem sušnem poletnem obdobju ter opazno manjše razlike v času dobre namočenosti zaledij. Da gre za bistveno različen način pretakanja v sušnih razmerah in v razmerah dobre namočenosti prsti in zapoljenosti zaledij curkov z vodo, so pokazali že sledilni poskusi na tem območju (Kogovšek 2000, Kogovšek & Šebela 2004).

Take večje razlike v reagiranju curkov na padavine smo zabeležili pri oblikovanju vodnih valov konec oktobra 2003 po dolgem poletnem sušnem obdobju, ob taljenju snega marca 2004, ko so mesec dni pred tem ob obilni snežni odeji prevladovali nizke temperature in v začetku maja 2004, ko je curek J že dalj časa dosegal sorazmerno nizek pretok, zaradi sorazmerno visokih temperatur in prebujajoče se vegetacije pa je evapotranspiracija zmanjševala količino efektivno infiltriranih padavin.

Iz slike 9 je razvidna reakcija curkov konec oktobra po skoraj 5-mesečnem sušnem obdobju. Predhodno

hidrološko obdobje se je dejansko zaključilo konec maja 2003, ko je curek I presušil, curka J in L pa sta dosegala nizek pretok, ki je nato ob minimalnih nihanjih vztrajal do konca oktobra. V tem 5-mesečnem obdobju je padlo 470 mm dežja, od katerega se ga je 200 mm shranilo v zaledju curkov (Petrič 2001).

Dne 20. in 21.10.2003 je padlo 34 in 13 mm dežja, ki je povzročil šibko reakcijo pretoka le pri curku I. Čez 3 dni je padlo še 23 mm dežja, ki je ostal brez reakcije pretokov. Od 29.10. zvečer do 31.10. zjutraj je padlo še 36 mm dežja, ki je sprožil izrazito reakcijo curka I. Njegov pretok je začel naraščati skoraj sočasno s padavinami in začel upadati, ko so padavine prenehale. Reakcija pretoka J je zaostajala za curkom I kar za 29 ur. Kasneje, 1.11.2003 popoldne je padlo skoraj 40 mm intenzivnega dežja, ki je sprožil pri curku I oblikovanje novega izrazitega vodnega vala, pri curku J pa hitrejšo naraščanje pretoka v prvem vodnem valu, ki se je začel oblikovati v prvih urah 31. oktobra. Te padavine so bile zadostne, da je skromno reagiral tudi curek L, in sicer dva dni za curkom J in več kot 3 dni za curkom I. Pretok curka I je najhitreje upadel, curek J je upadal počasneje in enako kot curek L nato vztrajal na pretoku, višjem od izhodnega.

V dneh 16. in 17. novembra je padlo še 29 mm dežja, na katerega je podobno kot 21.10. reagiral le curek I, curek J pa komaj zaznavno. Sledil je intenziven dež, ko je popoldne 26.11.2003 padlo kar 96 mm dežja, ki je sprožil takojšnje oblikovanje izrazitih vodnih valov pri vseh treh curkih (Sl. 9). Pretok curka I je reagiral že 16. novembra ob 16.00, curka J in L pa približno 6 ur kasneje.

Meritve jasno kažejo, da v primeru dobre namočenosti zaledij curkov reagirajo različni tipi curkov sorazmerno hitro in brez večjih razlik, medtem ko je praznjenje njihovega zaledja oz. njihov prispevek vode v vodonosnik tedaj bistveno različen. Medtem, ko je curek I po doseženem maksimalnem pretoku v 4 dneh upadel do minimalnega pretoka, v nadaljnjih 2 dneh pa presahnil, je curek J le počasi upadal in se ustalil ob le počasnem upadanju na pretoku, ki je znašal dobro desetino maksimalnega pretoka, curek L pa podobno na vrednosti dobre tretjine svojega maksimalnega pretoka. V naslednjih dveh tednih sta torej prispevala vodo v vodonosnik le ta dva tipa curkov, saj je bil curek I suh. Do podobnih razmer je prišlo v hidrološkem letu 2003/04 kar 5-krat.

ZAKLJUČKI

Celoletne občasne meritve pretoka curkov v jami tudi do dvakrat dnevno so podale le osnovno sliko dogajanja v hidrološkem letu in različne tipe curkov. Kasnejše zvezne meritve pa so pokazale na celotno dogajanje v vseh podrobnostih, posebno na dogajanje v vodnih valovih ob različnih hidroloških razmerah, ko so spremembe lahko zelo hitre, kot tudi dogajanje ob tistih najnižjih pretokih. Zelo različni hidrogrami curkov za hidrološko leto 2003/04 so nakazali, da so za dobro osnovno poznavanje dinamike pretakanja potrebne zvezne meritve, ki poteka vsaj eno hidrološko leto.

Meritve treh različnih tipov curkov so pokazale, da se v daljših poletnih sušnih obdobjih padavine lahko ne odrazijo v povečanju pretokov curkov, ampak se le shranjujejo v njihovem zaledju. V letu 2003 v poletnem 5-mesečnem sušnem obdobju se občasne padavine, tudi intenzivnejše padavine do 45 mm, niso odrazile v povečanjih pretokov curkov, ampak so se infiltrirale v zaledje (200 mm) in tam shranile. Prva reakcija curkov po takem obdobju je bila zelo različna glede na tip curka.

Najhitreje so reagirali curki, ki jim pretok najbolj niha in ki oblikujejo strme vodne valove s hitrim upadanjem pretoka. Pretok stalnih, večinoma maj izdatnih curkov, je reagiral 29 ur do 3 dni kasneje in oblikoval dalj časa trajajoče vodne valove s počasnim upadanjem pretoka. V namočenih obdobjih so vsi curki na padavine reagirali hitro in brez večjih razlik, kar kaže na pomemben vpliv namočenosti zaledja na pretakanje vode in prenos topnih kontaminantov skozi vadozno cono krasa. Bistvena razlika med curki se kaže v načinu polnjenja, predvsem pa praznjenja njihovega zaledja, kar zavisi od značilnosti njihovega zaledja; kar so delno že nakazale raziskave s podrobnim geološkim kartiranjem (Kogovšek & Šebela 2004). Stalni curki s počasnim praznjenjem ter curki in kapljanja, ki se izrazito praznijo le občasno v obliki dolgo trajajočih vodnih valov, pomenijo pomembno napajanje vodonosnikov tudi v daljših sušnih obdobjih. Na dinamiko pretakanja vode pa je vezan tudi prenos kontaminantov.

ZAHVALA

Raziskave so bile izvedene v okviru programa Raziskovanja krasa in ob podpori UNESCO-vega IHP programa.

LITERATURA

- Bakalowicz, M. & B. Blavoux & A. Mangin, 1974: Apport du traçage isotopique naturel à la connaissance du fonctionnement d'un système karstique – teneurs en oxygène-18 de trois systèmes des Pyrénées, France. *Journal of Hydrology*, 23,1/2, 141-158.
- Čenčur Curk, B., 2002: Tok in prenos snovi v kamnini s kraško in razpoklinsko poroznostjo : doktorska disertacija. Ljubljana, X, 253 str.
- Jeannin, P-Y & A.D. Grasso, 1995: Recharge respective des volumes de roche peu perméable et des conduits karstiques, rôle de l'épikarst. *Bulletin d'Hydrologie*, 14, 95-111.
- Kogovšek, J., 1982: Vertikalno prenikanje v Planinski jami v obdobju 1980/81. *Acta carsologica*, 10, 110-125, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 2000: Ugotavljanje načina pretakanja in prenosa snovi s sledilnim poskusom v naravnih razmerah. *Annales*, 10/1=19, 133-142, Koper.
- Kogovšek, J & P.Habič, 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 9, 129-148, Ljubljana.
- Kogovšek, J., S. Šebela, 2004: Water tracing through the vadose zone above Postojnska Jama, Slovenia. *Environmental Geology*, 45, 7, 992-1001, Berlin.
- Kogovšek, J. & Petrič, M., 2006: Tracer test on the Mala gora landfill near Ribnica in south-eastern Slovenia. *Acta carsologica*, 35/2, 91-100, Ljubljana.
- Petrič, M., 2001: The role of accurate recharge estimation in the hydrodynamic analysis of karst aquifers. *Acta carsologica*, 30/1, 69-84, Ljubljana.
- Tooth, A. F. & I. J. Fairchild, 2003: Soil and karst aquifer hydrological controls on the geochemical evolution of speleothem-forming drip waters, Crag Cave, southwest Ireland. *Journal of Hydrology*, 273, 51-68.
- White, B.W., 1988: *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford Univ. Press, 464 pp, New York.
- Williams, P.W., 1983: The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. *Journal of Hydrology*, 61,45-67, Amsterdam.
- Zwahlen, F. (Ed.), 2003: *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*. COST Action 620, Final report, 297 pp, Luxembourg.

RAINWATER PERCOLATION DYNAMICS ASSESSMENT THROUGH THE VADOSE KARST ZONE ON THE BASIS OF DISCHARGE MEASUREMENTS

Summary

Periodical measurements, up to twice per day, of eleven trickles in Kristalni (Crystal) and Glavni (Main Channel) Rov of Postojnska Jama (Fig. 1) in the hydrological year 2002/2003 registered different types of trickles (Fig. 6 and 7). We stated that there are differences among the trickles at formation of water pulses during various hydrological circumstances but twice per day measurements were not sufficient for a detailed judgment. This is why we have chosen three typical trickles for further researches: trickle I with discharge of more than 1000 ml/min, a smaller trickle J with discharge up to 130 ml/min and dripping L with discharge up to 6 ml/min (Fig. 1) and in the hydrological year 2003/04 we continuously measured their discharge. At the same time we monitored the distribution and quantity of precipitations on the surface above the trickles (Figs. 2 and 8C).

These continuous measurements registered the entire activity in all the details and in particular the incidents in water pulses during different hydrological conditions, when the changes may be very quick but also what is going on during the lowest discharges. Extremely varying hydrogrammes of trickles for the hydrological year 2003/04 point out that good knowledge of percolation dynamics requires continuous measurements lasting one hydrological year at least.

Measurements of I, J and L (Fig. 8) have shown that in longer summer dry periods the rainfall does not reflect in an increased discharge of trickle but it is stored in their recharge area. In a summer 5 months long dry period (in 2003) periodical rainfall did not in trickle increase but the rain was infiltrated in recharge area (200 mm) and stored there. The first trickle reaction after such a period was varying with regard of trickle type (Fig. 9). The fastest was reaction at trickles with the most oscillating discharge and these shaping steep water pulses together with fast discharge decrease. In a wet period all the trickles reacted fast and without noticeable differences to precipitations showing an important influence of soaked recharge area on flow and transport of soluble contaminants through the vadose zone of karst. Essential difference among trickles is shown in emptying of their recharge area. Permanent trickles with slow emptying and trickles and drippings that empty just seasonally in a form of a long lasting water pulses, present an important aquifer feed even in longer dry periods. The transport of contaminants is also controlled by the dynamics of water discharge.