

KRAŠKA BIFURKACIJA PIVKE NA
JADRANSKO ČRNOMORSKEM
RAZVODJU

PIVKA KARST BIFURCATION ON ADRIATIC BLACK SEA
WATERSHED

PETER HABIČ

Izvleček

UDK 556.34.04(497.12)

Habič, Peter: Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnomoorskem razvodju

Prikazani so rezultati sledenja Pivke pri Trnju in Stržena pri Postojni (Slovenija, Jugoslavija) v sušnem poletju 1988. Prvič je dokazan podzemeljski odtok iz Javornikov in Pivke, ki pripada črnomoorskemu porečju v izvire Vipave in z njo v Jadransko morje. V razpravi so omenjeni še drugi primeri kraške bifurkacije v vadozni in freatični coni krasa. Podčrtan je pomen znanja o obsegu in režimu površinskega in podzemeljskega raztekanja za varovanje kraških vodnih virov.

Ključne besede: sledenje voda, kraška bifurkacija, jadransko-črnomoorsko razvodje, Pivka, Slovenija

Abstract

UDK 556.34.04(497.12)

Habič, Peter: Pivka Karst Bifurcation on Adriatic - Black Sea Watershed

The results of Pivka near Trnje and Stržen near Postojna (Slovenia, Yugoslavia) water tracing in dry summer 1988 are presented. The underground runoff from Javorniki and Pivka, belonging to Black Sea water basin, towards Vipava springs and further on to Adriatic Sea was evidenced for the first time. Other examples of karst bifurcation in vadose and phreatic karst zone are mentioned in the treatise. The importance of knowledge on extent and regime of superficial and underground flows for the karst water springs protection is underlined.

Key words: water tracing, karst bifurcation, Adriatic-Black Sea watershed, Pivka, Slovenia

Naslov - Address

Prof.dr. Peter Habič, dipl. geogr.

Inštitut za raziskovanje krasa Titov trg 2

YU - 66230 POSTOJNA

UVOD

Ugotavljanje zaledja kraških izvirov je vedno bolj povezano s prizadevanji za zavarovanje zajetih ali perspektivnih vodnih virov v kraških vodonosnikih. Kras hrani pri nas in po svetu pomembne zaloge pitne vode, ki pa je izpostavljena različnim škodljivim vplivom in s tem ogrožena. Za določitev najmanjše izdatnosti izvirov, le ta je za oskrbo odločilna, je treba poznati velikost zaledja, še potrebnejše pa je znanje o dejanski razsežnosti zaledja kraškega vodnega vira za njegovo učinkovito varovanje.

Znano je, da se v krasu vode podzemeljsko in površinsko raztekajo iz istega območja hkrati, ali pa ob različnih vodostajih, na več strani. Pri hidroloških analizah in pri varovanju kraških vodnih virov moramo zato resno upoštevati površinske in podzemeljske bifurkacije. S to problematiko smo se znova srečali pri preučevanju sestavljenega zaledja kraškega vodnega vira v Malnih na Planinskem polju, iz katerega se oskrbuje Postojna z okolico. V izvirih Unice se pojavijo vode iz Cerknice, Javornikov in Pivke. Del voda iz tega zaledja, kot je bilo že večkrat dokazano z barvanjem, odteka iz Cerknice mimo Planinskega polja neposredno v izvire Ljubljani, Ljubije in Bistre. Z novim sledilnim poskusom pa smo prvič dokazali podzemeljsko odtekanje Pivke iz zahodnega obrobja Javornikov pod flišno Pivško kotlino v izvire Vipave in Timava. S tem je dokazano novo območje podzemeljske kraške bifurkacije na jadransko črnomoškem razvodju. V razpravi so omenjeni še drugi znani primeri kraškega raztekanja v različna povodja, predstavljeni so rezultati zadnjih sledilnih poskusov na Pivki in ocenjene praktične posledice novih ugotovitev na hidrološke razmere in zavarovanje vodnih virov Unice, Vipave in Timava.

KRAŠKA PODZEMELJSKA IN POVRŠINSKA BIFURKACIJA

F.Jenko (1959, 57) omenja, da so kraške bifurkacije zelo pogostne, lahko so površinske, podzemne ali nekako mešane, površinsko podzemne. Sploh je kraška povodja najprimerneje obravnavati kot bifurkacijska. Znana je površinska bifurkacija na Cerknškem polju, kjer poplavne in jezerske vode ponikajo v različne požiralnike in odtekajo proti Bistri in proti Planinskemu polju. Površinsko se razdvajajo tudi vode na Ribniškem polju, kjer odtekajo skozi Tentero in ponikve pod Ribnico v Krko, najvišje vode pa se prelivajo v Rinžo in z njo v Kolpo. Po Jenku je največje površinsko razvodje na Dinarskem krasu na Popovem polju v Hercegovini, kjer odteka Trebišnjica skozi vzvodne ponikve v Dubrovačko reko in v morje, večje vode pa skozi skrajne nizvodne ponikve v Neretvo. Med največje kraške bifurkacije v Evropi pa uvršča raztekanje Donave pri Immendingenu v Nemčiji, kjer ponika del Donave v številnih ponorih, izvira pa v 12 km oddaljenem Aachu, ki odteka v Bodensko jezero in s tem

v Ren. Tej bifurkaciji je bila namenjena posebna pozornost ob 2. mednarodnem simpoziju o sledenju voda leta 1970. Rezultati predhodnih raziskav in kombiniranega sledilnega poskusa so objavljeni v *Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Graz 1970*. Ponikanje Donave, ki izgublja vodo črnomskega povodja na račun severnomorskega, omenjajo številni kraški hidrološki učbeniki (Zötl, 1974; Bögli, 1978) pa tudi geomorfološke enciklopedije (Fairbridge, 1968, 1222). Nanjo so ponovno opozorili Hötzl, Maurin in Zötl (1976, 177), ko so ob kombiniranem sledilnem poskusu v porečju Ljubljane pred 3. mednarodnim simpozijem o sledenju voda prvič dokazali tudi raztekanje Hotenjke in sosednjih ponikalnic Pikeljščice in Žejskega potoka v izvire Ljubljane in v Podrotejo ob Idriji. Dokazana bifurkacija na jadransko črnorskem razvodju je bila najzanimivejši in regionalno pomembni rezultat tega sledilnega poskusa. Dodan je bil nov prispevek k razmejitvi poglavitnega evropskega povodja med Jadranskim in Črnim morjem. Kraško podzemeljsko raztekanje je tu povezano z naravno geološko zgradbo (Mlakar, 1969), ko površinske vode s krovne triasne dolomite ponikajo v jurske in kredne apnenice v podlagi, od koder hkrati odtekajo v jadranske in črnomske pritoke.

Raztekanje vode v visokem krasu med Idrijo in Sočo je bilo dokazano z barvanjem ponikalnice v Čepovanu (Habič, 1982). Obarvana voda je odtekla v treh smereh, na sever proti Idriji v izvir Hotešček, proti zahodu v izvire ob Avščku in proti jugu v Mrzlek in izvire ob Soči v takratni gradbeni jami za HE Solkan. K takemu raztekanju so verjetno pripomogle izdatne padavine skoraj mesec po vlitju sledila, ki so oprale obarvano podzemlje in pospešile odtok iz osrednjega dela visoke kraške planote na vse tri možne strani.

Podobno raztekanje je bilo dokazano z barvanjem majhnih ponikalnic na Vodica in pri Črnem vrhu nad Idrijo. Iz obeh ponikalnic odteka voda v izvire ob Idriji na eni ter v izvir Hublja, z Vodice najbrž tudi v Vipavo, na drugi strani visoke Hrušice in Trnovskega gozda. Večji del sledila iz obeh požiralnikov se je pojavil v izvirih ob Idriji, manjša sled uranina z Vodice pa je bila ob tem poskusu ugotovljena tudi v izvirih Ljubljane v Močilniku pri Vrhniki (Habič, 1987). Sledovi uranina v Močilniku so se pojavili šele po močnejšem dežju, ki je očitno pospešil odtekanje vode in izpiranje sledila z razvodnega predela visokega krasa na več strani.

Raztekanje voda v visokem krasu se sklada s predstavami o oblikovanju osrednjega vodnega telesa (Karstwasserkörper, Bögli, 1978, 124) z razvodnim fleksibilnim temenom (Karstwasserscheitel, Zötl, 1974, 89). Na tak način so skušali pojasniti presenetljive rezultate sledilnih poskusov na Dachsteinu in na drugih gorskih enotah Severnoalpinskih Alp (Zötl, 1974). O načinu raztekanja penikajoče vode v vadozni coni smo se prepričali s sledenjem curka nad Planinsko jamo (Kogovšek, Habič, 1981), kjer se deževnica z ene točke na površju, na primer iz dna vrtače, pahljačasto razteka v različne curke, hkrati pa se kapljice iz različnih točk združujejo v skupne curke.

Poleg raztekanja vode pri navpičnem penikanju skozi vadozno cono, ki je v visokem dinarskem in alpskem krasu lahko debela od 300 do 2500 m, so speleološke raziskave opozorile tudi na raztekanje ali bifurkacijo sklenjenih podzemeljskih tokov v epifreatični ali poplavni coni krasa. V nasprotju s prevladujočim združevanjem ponikajoče vode v širši ponorni coni, v

dnu ali na obodu kraških polj in slepih dolin, so znane tudi cepitve že sklenjenih tokov. Raztekanja so bodisi lokalnega ali širšega regionalnega značaja, stalna pri vseh vodostajih ali le občasna pri višjih oziroma le najvišjih vodah, ko se te prelivajo iz enega v več ločenih vodnih spletov ali celo povodij.

Lokalno podzemeljsko raztekanje je znano v Postojnskem jamskem spletu, kjer se del Pivke ob višjih vodah preliva po Perkovem rovu proti Črni jami, del pa odteka skozi Magdaleno in Pivko jamo proti Planini. Oba kraka se spet združita nekje v nedostopnem podzemlju med Pivko in Planinsko jamo, kar je dokazano s sledenjem. Ločen odtok skozi Črno in Pivko jamo se v Planinski jami pokaže z dvojnimi barvnimi valovi, odtok skozi Črno jamo nekoliko zamuja, koncentracija sledila pa je nižja kot v prvem valu skozi Pivko jamo (Avdagič, Preka, 1976).

V Karlovcih, najpomembnejših vodnih jamah na Cerkniskem polju, se podzemeljski vodni rovi večkrat cepijo (Gospodarič, 1970). Z barvanjem je ugotovljeno, da odteka voda iz Karlovic ločeno v Rak skozi Zelške jame, delno pa po drugi poti v Kotličce. Tja odtekajo tudi vode Cerkniskega jezera, ki ponikajo v Svinjski jami, zaradi višje lege Karlovic pa voda iz Svinjske jame ne doseže Zelških jam, prelivanje je tedaj možno le iz višjih rovov v nižje (Gospodarič, Habič, 1979).

V Kačni jami pri Divači je ugotovljeno raztekanje Notranjske Reke v dva ločena jamska spleta, nižje vode se iz sklenjenega Škocjanskega rova usmerijo bolj proti zahodu, po višjih prelivnih rovih pa odteka visoka Reka proti severozahodu (Mihevc, 1984).

Vzroki za podzemeljsko raztekanje so različni, poleg geološke zgradbe in razpokanosti kamnin ima pomembno vlogo mlada tektonika in premikanje blokov, podiranje in zasipanje rovov ter splošni razvoj vodnih poti v širšem območju. K razporeditvi podzemeljskega odtoka ter k površinski in podzemeljski bifurkaciji pomembno prispeva tako imenovana maksimiranost kraškega podzemlja (Gams, 1970), ki vpliva na zastajanje vode in dviganje njene gladine. Višinska razporeditev izvirov, razpokanost, mlada tektonska dinamika in erozijsko korozijsko širjenje votlin vplivajo na smer in količino odtoka iz globoke freatične cone krasa. Z njo so povezana poglobljena bifurkacijska območja visokega dinarskega krasa, ki mu pripada tudi celotna Pivka.

Kraško bifurkacijo na jadransko črnemorskem razvodju je prvi omenil že Jenko (1959, 57–61). Na gornji Pivki naj bi bila vodna gladina, razen ob poplavih, v podzemlju nagnjena od Knežaka in Bača proti Koritnicam, kar sklepa po gladinah v vodnjakih pri Baču in v vrtinah za pitno vodo pri Koritnicah. Na podzemeljsko odtekanje iz Knežaka proti Bistrici sklepa Jenko tudi po nagnjenosti dna kotline med Koritnicami in Knežakom. Trdnejšega dokaza za bifurkacijo pa ne navaja, zato ni povsem jasno, ali gre za dejansko raztekanje podzemeljske kraške vode proti Pivki in proti Notranjski Reki, ali pa le za podzemeljsko pretočitev v prvotnem povirju Pivke nad Bačem. Po reliefnih razmerah namreč precej zanesljivo sklepamo, da so vode iznad Koritnic prvotno odtekale površinsko v Pivko čez prag med Bačem in Zagorjem. V kvartarju je bila dolina Pivke poglobljena od ponorov pri Postojnski jami do Zagorja in prav v povirnem delu okrog Zagorja je nastala vrsta plitvih kraških globeli, ki se občasno

spremene v jezera (Habič, 1975; 1986). Med Knežakom in Koritnicami je dno kraške globeli prekrito s kvartarnim drobirjem, ki so ga nasule hudourniške vode izpod Milanje (1099 m) in prispevale k hitrejšemu korozijskemu poglobljanju globeli v prvotnem pedimentnem ravniku. Poglobitev pa ni segla nižje kot pri Zagorju, zato je možno, da se kraška voda na območju Knežaka preliva proti Pivki, kot je dokazano z barvanjem Kneških ponikev (Habič, 1968) ali proti Podstenjščku pri Šembijah, ali proti Bistrici.

Med Zagorjem in Knežakom je znano flišno okno (Pleničar, 1959), kjer se pokaže fliš izpod krovnih apnencev razmeroma visoko, medtem ko ga v globlji reliefni vrzeli pri Šembijah ni videti. Verjetno je flišna podlaga ostala skrita pod dnom uvale med Knežakom in Šembijami, kjer se ob visokih vodah pojavi manjše kraško jezero z gladino do višine 560 m.

O drugi bifurkaciji na jadransko črnomoorskem razvodju v Pivški kotlini je poročal Habe (1976,166). V studenskem flišnem zatoku je opazil zanimivo hidrološko posebnost. Del voda ponikalnice Osojščice se preliva v Belščico in z njo v Vipavo, del pa odteka v podzemeljsko Pivko in z njo proti Črnemu morju. Bifurkacija nastaja le ob visokih vodah, ko se dvignejo vode v podzemeljskih kanalih pred Belsko žago do bruhalnikov, ki odvajajo vodo v Belščico, delno pa tudi v požiralnik v Matičkovi ogradi, medtem ko nizke vode odteka v sistem podzemeljske Pivke.

Tretjo bifurkacijo na Pivki smo opazili v zatrepni dolini Biščevci pri Hruševju. Tam se ob višjih vodostajih preliva voda iz robnega krasa v površinsko Nanoščico, ki se steka s fliša okrog Razdrtega. Nizke vode iz zaledja Biščevcev se po vsej verjetnosti pridružijo podzemeljskim vodam Sajevščice, ki ponika pol kilometra vzhodneje v požiralnikih Sajevškega polja (Habe, Hribar, 1964) in odteka v izvire Timava, kot je bilo dokazano z barvanjem leta 1987 (Habič, 1989).

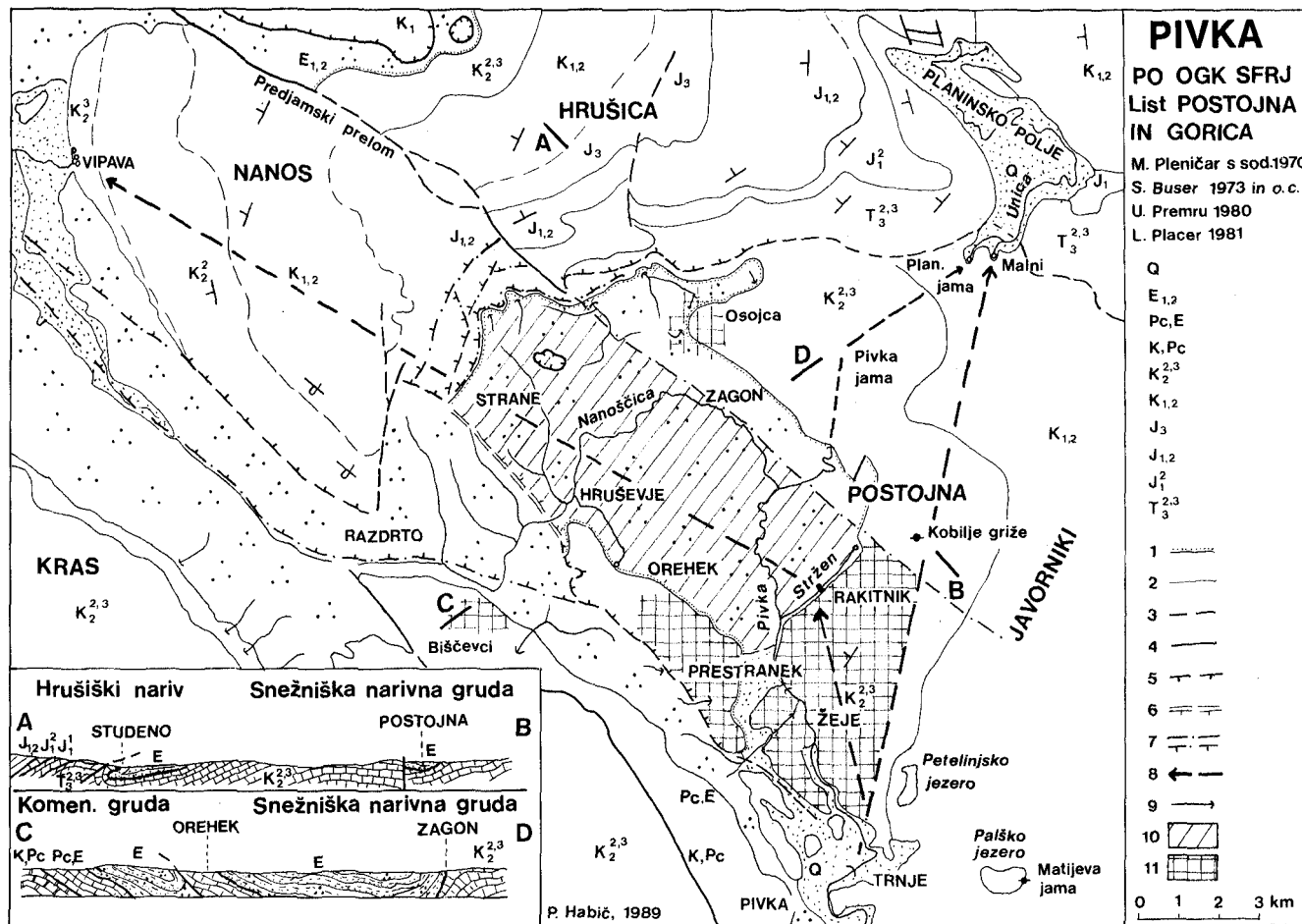
Četrto najobsežnejše bifurkacijsko območje na Pivki je bilo ugotovljeno z barvanjem požiralnikov Stržena pri Rakitniku in Pivke pri Trnju. S sledilnim poskusom v sušnem poletju 1988 je bilo dokazano, da del podzemeljskih kraških voda s Pivke med Prestrankom in Rakitnikom ob zahodnem obrobju Javornikov stalno odteka proti Vipavi in del tudi proti Timavu, del pa v izvire Unice na Planinskem polju. Poleg podzemeljske pa obstaja tudi površinska bifurkacija, saj se ob višjih vodostajih del javorniških voda preliva v površinsko Pivko, ki skupaj z Nanoščico napaja postojnsko podzemlje in po tej poti tudi izvire Unice (slika 1).

Slika 1 Pivka, hidrogeološka skica

- 1) erozijska diskordanca, 2) stratigrafska meja, 3) domnevni prelom, 4) prelom, 5) nariv, 6) domnevni nariv po U.Premru, 7) domnevni nariv in prelom po L.Placer, 8) z barvanjem dokazane zveze ponikalnic, 9) ponikalnice, 10) zona skritega krasa s podzemeljskim odtokom Pivke proti Vipavi, 11) bifurkacijsko območje

Fig.1 Pivka, hydrogeological sketch

- 1) erosion discordance, 2) stratigraphic border, 3) supposed fault, 4) fault, 5) overthrust, 6) supposed overthrust according to U.Premru, 7) supposed overthrust and fault according to L.Placer, 8) connections of sinking streams evidenced by water tracing, 9) sinking streams, 10) zone of hidden karst with underground runoff of Pivka towards Vipava, 11) bifurcation area.



KRATEK PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV PIVKE

V povodju kraške Pivke so bile vodne razmere doslej že večkrat obravnavane. Jenko (1959 a) je prvi dokazal zvezo ponikalnice v Breznu na Kremenci pri Postojni z izviri v Malnih in Planinski jami. Za razdaljo 8,5 – 9,9 km je obravnavana voda potrebovala 444 – 475 ur, tekla je torej s hitrostjo 0,5 – 0,6 cm/s.

V letih 1967 do 1969 so bile opazovane vodne razmere Pivke od Zagorja do Stare vasi pri Postojni. Rezultati teh opazovanj in meritev so podani v študiji o vodnih virih za oskrbo Postojne (Habič s sodelavci, 1968, Arhiv IZRK) in delno objavljeni (Habič, 1969; 1975). S sledilnimi poskusi je bila dokazana zveza Kneških ponikev z izviri pri Zagorju, Palškega jezera z izviri pri Trnju ter Petelinjskega jezera z izviri v Mlakah pri Žejah. Z raziskavami Orehovškega krasa v zaledju izvira Korentan je bila dokazana visokovodna zveza Sušice z izviri Pod Poličkom pri Prestranku (Gospodarič, Habe, Habič, 1970). Nepojasnjena je ostala zveza ob nizkih vodah, ko izvir Pod Poličkom presahne, Sušica pa še vedno ponika na Prestranskem ravniku.

Opazovanja vodnih gladin v vrtinah pri Žejah, Stari vasi in v Kobiljih grižah ter v Matijevi jami (Habič, 1985) so nakazala splošno usmerjenost odtoka nizkih voda iz povirja Pivke pod Javorniki proti izvirov Unice na Planinskem polju. Takoj pa moram opozoriti na razliko v gladini vode v Kobiljih grižah po novi izmeri. Stare podatke je treba povišati za 13,37 m.

Dosedanje speleohidrološke raziskave podzemeljske Pivke v Postojnski in Planinski jami (Gospodarič, 1976, Preka in dr., 1976) niso dokazale neposredne povezanosti Pivke z izviri v Malnih. Večkrat je bila potrjena le zveza Pivke s Pivškim rokavom Planinske jame. Razlike v pretokih so pripisane vmesnemu dotoku iz kraškega podzemlja. Zveze studenskih ponikalnic s podzemeljsko Pivko še niso dokazane s sledenjem.

V Rakovem rokavu Planinske jame naj bi se mešale javorniške in cerkniške vode. Ob visokih vodah se prelivajo na površje skozi Planinsko jamo, ob nizkih vodah pa naj bi javorniške vode prečkale skrajni del Rakovega rokava in odtekale proti izvirov v Malnih. Ta zveza je bila dokazana z barvanjem (Michler, 1955), pozneje pa še večkrat potrjena s hidrokemičnimi in temperaturnimi meritvami (Gams, 1966; Habič, 1987).

Z barvanji so bile ugotovljene tudi zveze izvirov v Malnih s ponori v Rakovem Škocjanu in na Cerkniškem jezeru (Habič, 1987). Dokazan je bil odtok s severnega flišnega obrobja Pivke pri Predjami v izvire Vipave (Habe, 1963). Leta 1987 je bila z barvanjem med drugim dokazana tudi zveza Sajevškega potoka z izviri Timava (Habič, 1989).

Po neuspelem sledenju Stržena (Habič, 1983) smo preverjali razne možnosti in vzroke nepojasnjenega podzemeljskega odtoka iz zahodnega obrobja Javornikov. Ker je ob Pivki več trajnih virov onesnaževanja, podzemeljske vode pa so stalno ogrožene s škodljivimi snovmi, ki jih prevažajo po cesti in železnici med Postojno, Prestrankom in Pivko, je pojasnitev hidroloških zvez Pivke odločilnega pomena za učinkovito zavarovanje kraških vodnih virov, ki se napajajo iz Javornikov.

PRIPIIAVE IN KOMBINIRANI SLEDILNI POSKUS

Po predhodnih speleoloških raziskavah smo ugotovili, da se zniža gladina kraške vode ob zahodnem obrobju Javornikov za 10 do 20 m pod prelivni rob Pivke in njenih kraških pritokov od Zagorja do Stare vasi. Ob splošnem zniževanju gladine kraške vode, navadno v pozni pomladi in začetku poletja, se v Pivko stekajo le kratki površinski pritoki s fliša od Radohove vasi mimo Petelinj, Selc in Slavine do Prestranka. Podobno se s fliša odtekajo proti Pivki tudi vode Stržena med Postojno in Rakitnikom. Površinski pritoki ponikajo bodisi v strugi Pivke, ali pa se izgublajo v lastnih strugah predno dosežejo Pivko (Sl. 2). Od višine vodne gladine v kraškem podzemlju je odvisno, ali bodo onesnažene površinske vode poniknile v podzemlje, ali pa bodo površinsko odtekle s Pivko skozi Postojnsko jamo.



Slika 2 Izgubljanje nizkih voda v strugi Slavenskega potoka
Fig.2 Disappearing of low waters in the Slavenski potok bed

Komunalne in industrijske odplake iz Pivke so speljane v strugo Pivke brez predhodnega čiščenja. Ko kraška Pivka presahne, se odplake stekajo po strugi proti Trnju, kjer se izgublajo v manjšem požiralniku. Del voda se izgubi v strugi že pred požiralnikom. Če je pretok manjši od 5 l/s, odplake sploh ne dosežejo požiralnika. Pri pretoku nad 50 l/s pa vode zalijejo požiralnik in delno odtekajo naprej po strugi Pivke. Za barvanje je primeren pretok okrog 10 l/s, ko odplake nemoteno ponikajo v požiralniku sredi struge.

Slavenski potok, Sušica, Selšček in drugi manjši pritoki, se izgublajo v lastnih stugah v širšem požiralnem območju, kjer je zakrasela skalna podlaga prekrita s flišno naplavino. Mesto požiranja je odvisno od dotoka in propustnosti podlage. Za barvanje so ti pritoki manj primerni, ker se voda izgublja na daljšem odseku struge.

Ugodnejše so razmere ob Strženu, kjer pretok ob suši uravnava odplake iz Postojne. Te pa je mogoče poljubno preusmeriti v požiralnik ob strugi. Pozimi leta 1982 se je pojavil prvi grez sredi Stržena pri Rakitniku. Ta se je v naslednjih letih zamašil, nov grez pa se je pojavil dobrih deset metrov stran od struge. Vanj smo lahko napeljali Stržen po izkopanem jarku. Leta 1984 so regulirali strugo Stržena med Staro vasjo, Postojno in Rakitnikom. V skalni strugi Pivke med Matenjo vasjo in Prestrankom je znanih še več mest, kjer površinske vode uhajajo v podzemlje. Požiralnik pri Rakitniku leži ob strugi, tako da je za oceno hidroloških zvez njegov položaj zelo pomemben (Sl. 3).



Slika 3 Požiralnik v strugi Stržena pri Rakitniku pozimi 1982. Kasnejši grez se je pojavil ob ogradi na desni strani slike.

Fig.3 Swallow-hole in Stržen river bed near Rakitnik in winter 1982. Sinkhole appeared later near the fence in the right corner of the picture.

Za sledenje smo izbrali dva najbolj razmaknjena požiralnika ob Pivki, da bi tako opredelili hkrati zveze celotnega požiralnega območja med Pivko, Prestrankom in Rakitnikom. Ob spremljanju usihanja spomladanskih voda smo se odločili za poskus v začetku avgusta 1988,

ko so bile vremenske in vodne razmere razmeroma ugodne. Dokazovanje podzemeljskih zvez ob nizkih vodah daje izredno pomembne informacije, je pa nekoliko negotovo glede na vreme in zahteva več časa in sledila.

Pri izvedbi sledenja so sodelovali člani Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU in zunanji sodelavci. Mag. Janja Kogovšek in M. Luzar sta opravila kemične analize, F. Drole, M. Zlokolica, T. Slabe in N. Zupan so izvedli injiciranje rodamina, L. Drame in S. Šebela sta pomagala pri injiciranju uranina. Vzorce vode so zajemali v Planini A. Milavec, v Vipavi F. Rodman, v Bistrici so se menjavali L. Možina, D. Vovk, M. Puhelj in F. Logar, v Pivškem rokavu Planinske jame je zajemal vzorce F. Drole, v Rakitniku A. Černač in v Prestranku F. Bole. Vzorce Timava sta nam ljubeznivo posredovala dr. F. Gemitti in M. Milič. Pri opazovanju vodostajev v Matijevi jami in v vrtinah pri Stari vasi in v Kobiljih Grižah so mi pomagali T. Slabe, F. Drole, A. Mihevc, J. Hajna in M. Zlokolica.

Vsebnost uranina in rodamina v vzorcih so po ustaljeni metodi opravili na HMZ SRS v Ljubljani, pod vodstvom ing. Martine Zupan. Povečan dotok v požiralnik pri Trnju so omogočili ing. M. Žmak iz Komunalnega podjetja Postojna ter ing. S. Torkar iz Javorja v Pivki. Grafične priloge je oblikoval L. Drame. Vsem se za pomoč in sodelovanje najlepše zahvaljujem.

Kljub precejšnji razdalji do izvirov in razmeroma majhni hitrosti nizkih voda smo že pred obarvanjem organizirali zajemanje vzorcev v izviri Unice in sicer v spodnjem izviru v Matnih, ob iztoku iz Planinske jame in v izviru Olarice pod naseljem Planina. Poleg izvirov Unice smo opazovali tudi izvir Bistrice v Ilirski Bistrici in izvire Vipave, da bi tako zajeli vse možne iztoke iz območja Pivke. Ko se po daljšem času ni še nikjer pojavila vidna sled barvila, smo zaprosili tudi za vzorce vode iz izvirov Timava. Ob Pivki pa smo zajemali površinske vode v času, ko se je po dežju v septembru Pivka prelila na površje. Vzorčevali smo Pivko pri Prestranku, Stržen pri Rakitniku in nekaj časa tudi Pivko v Pivškem rokavu Planinske jame.

Pred in med sledenjem smo spremljali hidrološke razmere v podzemlju z opazovanjem gladine v Matijevi jami in v vrtinah pri Stari vasi ter v Kobiljih grižah. Ponovno so bile tudi premerjene nadmorske višine izhodiščnih točk za določanje višine vode. Hkrati z meritvami višin smo zajemali tudi vzorce vode za kemične analize. Rezultati analiz in meritev so prikazani v posebnem poglavju. Višina vrtine pri Stari vasi je bila pravilno določena na 527,52 m. Bistveno pa je popravljena višina vrtine v Kobiljih grižah. Po novem merjenju je višina 588,34 m, kar je za 13,37 m višje od višine, ki smo jo prevzeli po podatkih Geološkega zavoda. Novo izmerno je izvedel F. Drole, za izhodišče je izbral reper št. 1163 pri Domu upokoјencev na Kremenci v Postojni z višino 543,33 m.

SLEDENJE PIVKE V POŽIRALNIKU PRI TRNJU

Odlake iz Pivke so se v toplih poletnih dneh izgubljale v strugi Pivke že pred požiralnikom (Sl. 4). V podjetju Javor smo se dogovorili za dodatno vodo iz tovarniških rezervoarjev in s Komunalnim podjetjem Postojna za dodatno vodo iz vodovodnega omrežja. Tik pred injiciranjem 20 kg uranina, raztopljenega v 100 l vode, smo k 5 l/s normalnega odtoka iz kana-

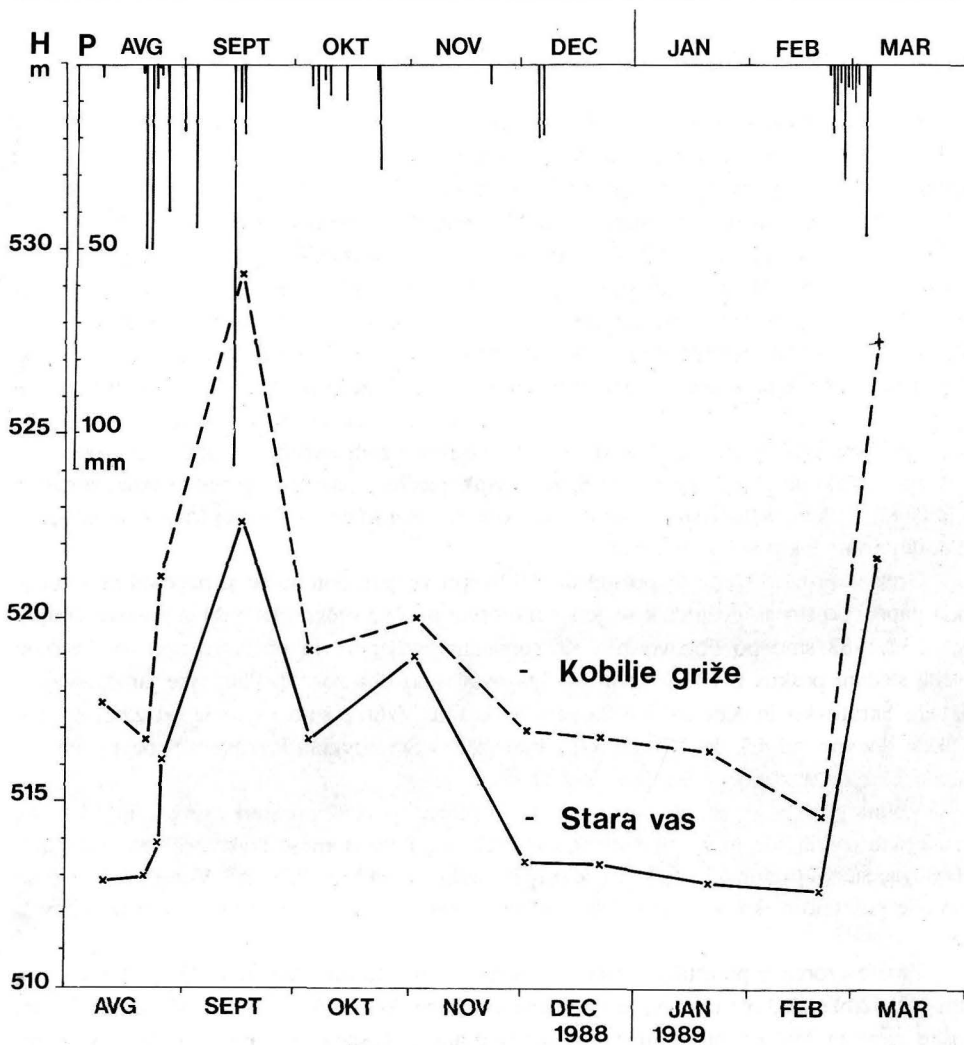
lizacije dodali še okrog 5 l/s iz Javorja in iz vodovoda, skupno 430 m³. Ob povečanem pretoku iz kanalizacije so odplake kmalu dosegle požiralnik in ko je ta požiral 5 l/s, smo dne 9/8–1988 ob 21. uri vili barvo v skalno odprtino v strugi Pivke. Barva je takoj odtekla, nismo pa mogli ugotoviti, koliko pod površjem se zadržuje gladina kraške vode. V Matijevi jami je bila tedaj gladina na 516,4 m, v Kobiljih grižah na 517,8 m in v vrtini pri Stari vasi na 512,8 m. Nihanje gladine v naslednjih mesecih je prikazano na sliki 5.



Slika 4 Odplake iz naselja se izgublajo ob nizkih voda v strugi Pivke predno dosežejo požiralnik v Trnju

Fig.4 During the low waters the wastes from the settlement disappear in Pivka river bed before reaching the swallow-hole near Trnje

Po dežju 22. in 23. 8. se je nekoliko povečal dotok iz kanalizacije, vendar Pivka ni pritekla iz izvirov pri Zagorju in Parju. Ob povečanem dotoku (50 l/s) je bil požiralnik pri Trnju zalit, toda voda ni odtekala naprej po strugi. Pivka se je dvignila iz podzemlja po dežju šele sredi septembra, ob koncu tega meseca pa je ponovno presahnila in vse do začetka marca 1989 se ni več pojavila v strugi. Ves ta čas so odplake iz Pivke ponikale v podzemlje in, kot kažejo rezultati sledenja, odtekale neposredno v zajetja v Malnih.



Slika 5 Nihanje vodne gladine v vrtinah pri Stari vasi in pri Kobiljih grižah v primerjavi s padavinami v Postojni od avgusta 1988 do marca 1989

Fig.5 Water level oscillations in the bore holes near Stara vas and near Kobilje griže compared to precipitations in Postojna from August 1988 to March 1989.

SLEDENJE STRŽENA V POŽIRALNIKU PRI RAKITNIKU

Stržen napajajo kraške vode iz izvirov ob robu Javornikov med Staro vasjo pri Postojni in Rakitnikom. Ko dotok iz krasa preneha, hranijo Stržen vodice s fliša južno od Postojne in mestne odplake, ki jih sedaj delno očistijo na skupni čistilni napravi.

V strugi Stržena pri Rakitniku se je 10. februarja 1982 prvič pojavil grez, ki je nekaj časa požiral vso, takrat še neočiščeno vodo postojnske kanalizacije. O grezu nas je prvi obvestil Zmago Žele, uslužbenec Postojnske jame iz Prestranka. Pojav smo si ogledali 16.2.1982 in ugotovili, da je nastal grez v mladih naplavinah Stržena, ki v tem delu doline prekrivajo zakrasele apnenice. Dolina Stržena je sicer izoblikovana ob stiku apnenca in fliša, pri Rakitniku pa se zoži prav tam, kjer je ujeta v apnenice. Tu je dolina Stržena najožja, zato jo tam tudi najlažje prečka cesta Postojna – Pivka. Ob robu nizke skalne police na levem bregu Stržena, na kateri je nameščena večina hiš Rakitnika, je dvoje polkrožnih zatrepov. V njih zastajajo vode, ki se tja stekajo po plitvih strugah iz Stržena. Nakopičena umazanija ob robu nakazuje mesto izgubljanja Stržena v podzemlje. Ponikve ob robu ravnice so očitno že dalj časa aktivne, nanje pa dotlej nismo bili posebno pozorni.

Grez v strugi Stržena je požiral do 50 l/s, pri večjem dotoku se je napolnil in voda je tekla naprej po strugi. Požiralnik se je sredi februarja 1982 večkrat zamašil in ponovno odprl. Dne 23.2.1982 smo po dogovorih s Komunalnim podjetjem in občinsko upravo Postojne izvedli sledilni poskus z 10 kg uranina. Opazovali smo oba rokava Planinske jame, izvire v Malnih, Škratovko in Kotličice v Rakovem Škocjanu. Vzorce smo zajemali od 22.2. do 4.3. dvakrat dnevno, od 4.3. do 26.3. štirikrat dnevno, le v Škratovki in Rakovem Škocjanu enkrat na dan. Skupno smo zajeli v 21 dneh 392 vzorcev.

Vodna gladina je bila ob začetku sledenja februarja 1982 pri Stari vasi v višini 513,6 m, pri Žejskih izvirih 515 m in v Kobiljih grižah 517,3 m. Po vodomeru Pivke pri Postojnski jami ($H=80$) je znašal pretok $1,27 \text{ m}^3$, Unice pri Hasberku ($H=47$) pa $7,36 \text{ m}^3$. Vode v tistem času niso bile posebno nizke, vendar je bila gladina v krasu ob strugi Pivke vsaj 10 m pod površjem.

Zajete vzorce je po ustaljeni metodi analizirala ing. Martina Zupan iz HMZ SRS v Ljubljani. Zelo šibke sledove uranina je ugotovila v vzorcih Škratovke in Raka. V vzorcih iz Planinske jame in Malnov ni bilo nobenih sledov uranina. Kasneje smo izvedeli, da so v tistem času z uraninom barvali neki potok na Blokah in ni izključeno, da so sledovi v Raku in Škratovki z Blok in ne iz Stržena.

Po neuspešnem sledenju leta 1982 se je pojavila vrsta vprašanj in pomislov o morebitni razgradnji uranina v komunalnih odplakah ali o daljšem zadrževanju od treh tednov, ali o povsem drugi smeri odtoka. Po kritičnem pretresu raznih možnosti smo se leta 1988 lotili ponovnega sledenja z razširjeno mrežo opazovanja.

Požiralnik v strugi Stržena se je ob koncu marca 1982 zamašil in se kasneje ni več odprl. Pred tremi leti pa je nastal prav v bližini, le dobrih 10 m vstran od struge, na njenem levem bregu nov grez, širok 2 m in globok 4 m. Pod dober meter debelo plastjo ilovice je bila vidna

zakrasela skalna podlaga. Očitno je bil to že star, z ilovico in drobirjem zasut požiralnik. Niha-joča gladina kraške vode pod strugo Stržena je počasi spodkopavala naplavino in končno se je skrita votlina odprla na površje. Ob regulaciji Stržena so grez že nameravali zasuti, vendar smo se z domačini in urejevalci struge iz VGP HIDRO iz Kopra dogovorili, da bomo prej skušali ugotoviti, kam lahko odteka voda iz tega požiralnika.

Ob visokih vodah je bil grez popolnoma preplavljen (Sl. 6), ob nizkih pa je voda iz njega odtekala v neznano podzemlje. Dejanskega znižanja gladine ni bilo mogoče opazovati globlje od 4 m, spremljali smo jo lahko le posredno v vrtinah pri Stari vasi in Kobiljih grizah. S poskusnim dovajanjem vode iz Stržena smo ugotovili, da požira grez do 100 l/s. Pri višjih dotokih ga voda sicer zalije, vendar se njegova požiralnost bistveno ne zmanjša. Le pri zelo visokih vodah nismo mogli ugotoviti, ali grez deluje tudi kot izvir.



Slika 6 Ob višjih vodah je bil požiralnik ob Strženu pri Rakitniku poplavljen
Fig.6 During higher waters the swallow-hole Stržen near Rakitnik was flooded

V začetku avgusta 1988 smo pred poskusom ponovno preskusili požiralne lastnosti greza z umetnim uravnavanjem dotoka iz Stržena. Dne 9.8.1988 ob 12. uri smo nato v požiralnik, s pretokom 10 l/s, vlili 20 kg raztopljenega rodamina. Obarvana voda je nemoteno odtekla, v požiralnik pa smo nato še dober mesec odvajali 10 l/s vode iz Stržena (Sl. 7). Sredi oktobra so delavci VGP grez zasuli s kamenjem, še prej pa vanj vgradili 4 m dolgo cev za opazovanje gladine.



Slika 7 V požiralnik pri Rakitniku je iz Stržena odtokalo po umetni strugi ves avgust 1988 okrog 10 l/s
 Fig.7 From Stržen during the August 1988 about 10 l/s of water flew into swallow-hole near Rakitnik by the artificial river bed

Zajemanje vzorcev je bilo organizirano skupno s sledenjem Pivke z uraninom. Ves čas smo spremljali tudi nihanje gladine v vrtinah pri Stari vasi in v Kobiljih grizah. Podatki so prikazani v tabeli 2 in sliki 5.

DOKAZANE ZVEZE PIVKE PRI TRNJU

Izviri v Malnih

Prva sled uranina je bila v izvirih Malenščice ugotovljena 7.9.1988 ob 6. uri, to je po 28 dneh in 9 urah ali skupno 681 urah. V 15,3 km oddaljenem izviru se je prva sled pojavila v koncentraciji $0,02 \text{ mg/m}^3$. Pri povprečnem strmecu $5,5 \text{ ‰}$ je znašala navidezna hitrost $0,62 \text{ cm/s}$. Prvi vrh barvnega vala se je pojavil šele po petih dneh, to je 12.9., s koncentracijo $0,7 \text{ mg/m}^3$, drugi pa 14.9. s koncentracijo $0,9 \text{ mg/m}^3$. Tretji vrh se je pojavil 17.9., vendar s precej nižjo koncentracijo $0,05 \text{ mg/m}^3$. Prvemu valu s tremi viški je sledilo 10-dnevno upadanje koncentracije, tja do 26.9. ($0,006 \text{ mg/m}^3$), nato pa je 10 dni koncentracija spet naraščala in dosegla vrh med 6. in 8.10.1988 ($0,4 \text{ mg/m}^3$). Enakomerno upadanje drugega, nižjega, a daljšega barvnega vala smo zasledovali do začetka novembra.

Prvi sklenjeni val s tremi viški se je torej pojavil v Malnih po dobrem mesecu od vlitja uranina v požiralnik pri Pivki. Trajal je dobrih 10 dni, nakar je sledilo izdatno razredčenje, po naslednjih desetih dneh oziroma 50 dni od vlitja se je pojavil drugi val, ki je trajal dober mesec. Podobne razmere smo ugotovili tudi v vzorcih Unice iz Planinske jame, kar nakazuje skupno zaledje in razmeroma sklenjen dotok nizkih voda s Pivke pod Javorniki v izvire Unice na Planinsko polje.

Izvir Unice v Planinski jami

V Unici iz Planinske jame se je prva sled pojavila 5.9. 1988 ob 16. uri v koncentraciji $0,009 \text{ mg/m}^3$. Za komaj 300 m krajšo zračno razdaljo je potrebovalo sledilo 38 ur manj kot v Malne. Navidezna hitrost znaša $0,65 \text{ cm/s}$ ali $23,3 \text{ m/uro}$. Razlika na celotni poti ni bistvena, je pa značilna za že znane razlike v odtoku iz Planinske jame proti Malnom in po Rakovem rokavu na površje (Habič, 1987 a).

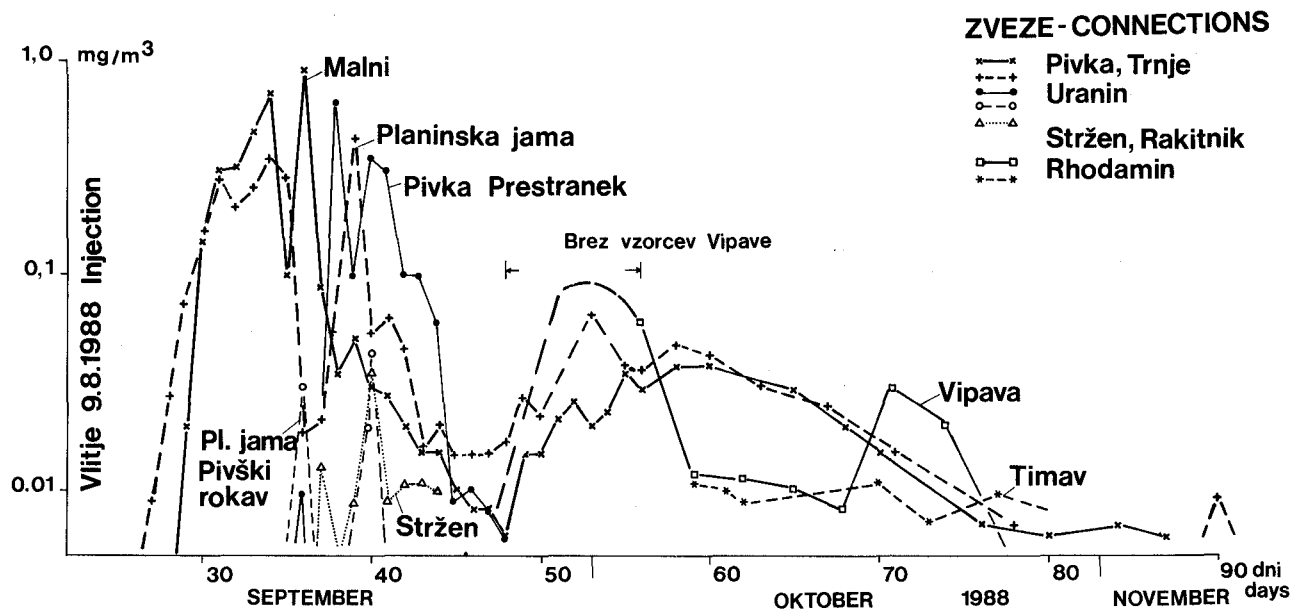
V splošnem je razpored koncentracij uranina v Unici zelo podoben kot v Malenščici (Sl. 8). V prvem desetdnevem višjem valu so prav tako izraženi trije viški, le da prehitvajo one v Malnih za okrog 30 ur. Drugi, nižji in daljši val je skoraj v celoti skladen z drugim valom v Malnih, kar je očitna posledica skupnega hidrološkega zaledja oziroma skupnega napajanja iz javorniškega toka. Znižanje koncentracije med prvim in drugim valom povezujeemo z vplivom septembrskega dežja in povečanim dotokom neobarvane vode iz javorniškega zaledja. Ta dotok je vplival na izdatnejše razredčenje v času od 40 do 50 dni po vlitju uranina v požiralnik. Drugi, nižji val je razumeti kot normalno iztekanje sledila po siceršnjem razredčenju, vendar ob usihanju neobarvanega dotoka.

V krivuljah koncentracij uranina v Malnih in v Unici iz Planinske jame se kažeta le dve pomembnejši razliki. Tretji višek v prvem valu je v Malnih precej nižji kot v Planinski jami, podobna je tudi razlika v začetku drugega vala. Domnevamo, da je na nižje koncentracije v Malnih vplival dotok cerkniških voda, ki sicer odriavajo javorniške vode v Rakov rokav Planinske jame.

Pivka pri Prestranku

Dobrih deset dni po vlitju uranina v požiralnik Pivke pri Trnju ni bilo omembe vrednih padavin. Nekaj več je bilo dežja 22. in 23. avgusta, nato še 26. in 30.8.1988, ko so v Postojni namerili skupno 180 mm padavin. Razsušena zemlja je vpila precej vlage, zato se kraške vode niso prelele iz Javornikov na površje. Šele izdatnejši dež sredi septembra, ko je s 13. na 14.9. padlo prek 100 mm, je napolnil kraško Pivko.

Z opazovanjem Pivke pri Prestranku smo želeli ugotoviti, če se lahko del sledila iz požiralnika pri Trnju pojavi v površinski Pivki. Prvi vzorec Pivke je bil pri Prestranku zajet 14.9. ob 8. uri in v njem je že sled uranina v koncentraciji $0,01 \text{ mg/m}^3$. V vzorcu naslednjega dne ni bilo sledu uranina, dne 16.9. ob 8. uri pa je bil zabeležen že prvi višek koncentracije z $0,645 \text{ mg/m}^3$, čez dva dni pa drugi s koncentracijo $0,380 \text{ mg/m}^3$. Barvni val je v površinski Pivki upadel do končne presahnitve Pivke, dne 27.9.1988.



Slika 8 Primerjava koncentracij uranina in rodamina v opazovanih izviroh ob sledenju Pivke pri Trnju in Strženu pri Rakitniku
 Fig.8 Comparison of uranine and rhodamine concentrations in the observed springs during the Pivka near Trnje and Stržen near Rakitnik water tracing

Razmeroma pozen pojav uranina v komaj 5 km od požiralnika oddaljenem Prestranku in dobrih 10 dni po prvem pojavu tega sledila v 15 km oddaljenih Malnih in Planinski jami je nedvomno posledica posebnih vodnih razmer in dolgotrajnega zadrževanja sledila v ožjem zaledju požiralnika. Zelo podobne koncentracije v površinski Pivki pri Prestranku kot v Unici na Planinskem polju to še posebej potrjuje, čeprav gre v obeh primerih vendarle za različno stopnjo razredčenja ob dotoku čistih voda, ki so praktično oprale podzemlje pod požiralnikom in spravile vlito barvilo spet na površje. Del uranina je po zaslugi narasle vode potoval s površinsko Pivko skozi Postojnski jamski sistem proti Planinskemu polju. Tega barvnega vala na poti skozi Postojnsko jamo nismo v celoti spremljali, čeprav bi nam lahko prinesel nekaj novih spoznanj. Nanj enostavno nismo bili pripravljeni, tudi zaradi drugih obveznosti. Vzorčevanje Pivke v Prestranku smo zastavili še v času, ko o pojavu uranina v Unici in Malenščici še nismo nič vedeli, analize vzorcev pa so v HMZ v Ljubljani opravili šele kasneje. V prihodnje bi morali sproti ugotavljati prisotnost sledil v vzorcih.

Pivški rokav Planinske jame

Z vzorčevanjem Pivke v tem rokavu smo začeli hkrati kot v Prestranku, vendar že ob naraščanju vode po dežju med 13. in 14.9.1988. V prvem vzorcu ob 12. uri še ni sledu uranina, v drugem ob 20. uri pa je že izdatna sled s koncentracijo $0,032 \text{ mg/m}^3$. Sled uranina se v naslednjih dneh, verjetno zaradi razredčenja, izgubi, zadnji dan vzorčevanja v Pivškem rokavu pa koncentracija uranina spet zraste (Sl. 8). Žal je bilo vzorčevanje Pivke v Planinski jami zaradi nepredvidenih ovir prekinjeno. Po izkušnjah o hitrosti pretakanja Pivke skozi Postojnsko jamo lahko domnevamo, da se je dne 18.9.1988 začel pojavljati v Pivškem rokavu obarvani val površinske Pivke. Najvišja koncentracija ob 22. uri je znašala $0,046 \text{ mg/m}^3$, kar pa najbrž še ni višek vala, ki bi ustrezal višku pri Prestranku, dne 16.9. ob 8. uri s koncentracijo $0,645 \text{ mg/m}^3$. Sicer lahko računamo z vsaj 10–kratnim znižanjem koncentracije ob sploščanju vala pri pretoku skozi postojnsko podzemlje.

Vodostaji Unice v Planinski jami nakazujejo postopno upadanje pretoka po nalivu v noči na 14.9.1988:

14.9.1988 ob 12^h H=3,20

16.9.1988 ob 14^h H=2,65

18.9.1988 ob 10^h H=2,43

Stržen pri Rakitniku

Po dežju v septembru smo pričakovali, da se bo iz požiralnika ob Strženu vrnil na površje del vlitnega rodamina. Z vzorčevanjem Stržena pri mostu, dobrih 100 m od požiralnika, smo začeli ob naraščanju vode 14.9.1988. Namesto pričakovanega rodamina pa se je v Strženu pojavil uranin. Prva sled je zabeležena 15.9., naslednji dan je uranin izginil in se 17.9. znova pojavil. Višek je sledil 18.9. ob 8. uri, nato pa je val trajal do zadnjega dne prelivanja kraške vode iz Javornikov v Stržen.

Sočasne sledi uranina v Strženu in v površinski Pivki skušamo razložiti z vzporednim podzemeljskim tokom kraških voda med požiralnikom pri Trnju in izviri Stržena. Nekaj nižje koncentracije v Strženu je mogoče pojasniti z vmesnim razredčenjem z dotokom kraške vode. Preseneča pa skoraj sočasen pojav uranina v Strženu in v Pivškem rokavu Planinske jame, podobne pa so tudi koncentracije uranina. Domnevamo, da gre za vzporeden tok z glavnim tokom javorniških voda med Trnjem in Malni, ki je že pred dežjem skoraj dosegel Pivški rokav Planinske jame. Najbrž je ta tok ob naraslih vodah obarval tudi Stržen. Sočasen pojav uranina v različnih krajih je seveda mogoče pojasniti tudi drugače. Do zanesljivejših ugotovitev pa bi prišli le z večkratnim sledenjem v različnih hidroloških razmerah. Zveze, ki izhajajo iz sledenja v suhem poletju 1988, so prikazane na sliki 9, sočasen pojav uranina v različnih delih zaledja Unice pa na sliki 8.

UGOTOVLJENE ZVEZE STRŽENA PRI RAKITNIKU

Izvir Vipave

Rodamin se je pojavil v izviri Vipave. S tem je dokazana presenetljiva zveza javorniških voda z vipavskimi, pojasnjen pa je tudi neuspeli poskus z uraninom leta 1982. Po vsej verjetnosti je uranin "ušel" naši kontroli, ker smo ga napačno pričakovali v izviri Unice. Takrat še nismo niti pomislili, da se pod flišem Postojnske kotline pretakajo kraške vode iz Javornikov v Vipavo. Ta bifurkacija med črnomořskim in jadranskim porečjem je bila z drugim poskusom v Strženu leta 1988 prvič dokazana.

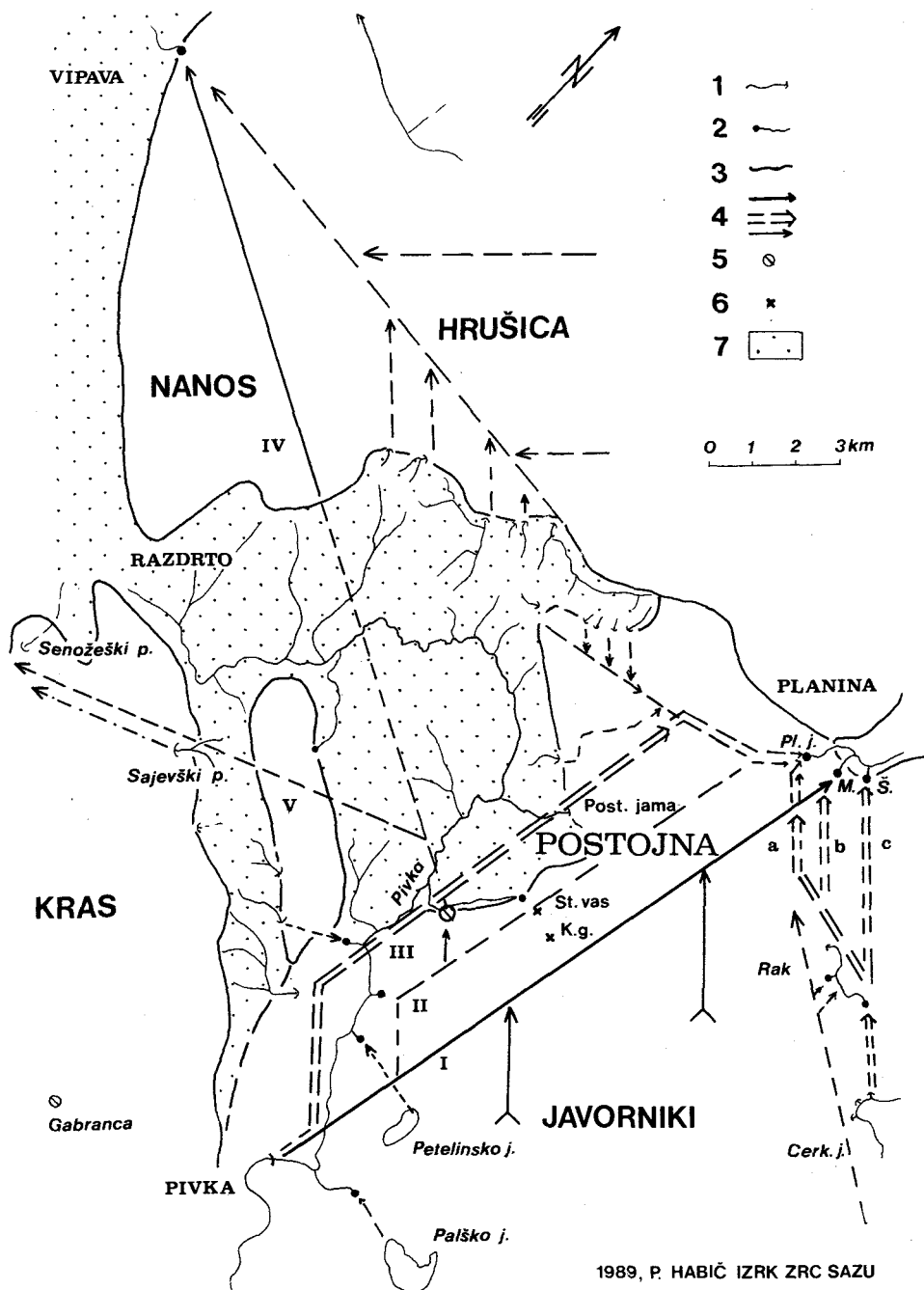
Čeprav smo zastavili opazovanja in zajemanja vzorcev v Bistrici in Vipavi, s to možnostjo nismo resno računali. Še vedno smo bili prepričani, da se vse vode iz Javornikov stekajo proti Malnom. Ker do konca septembra ni bilo še nikjer nobene sledi o rodaminu, smo že skoraj obupali. V takšnem razpoloženju smo se obrnili še na sodelavce ACEGA iz Trsta dr. F. Gemittija in M. Miliča s prošnjo, da nam posredujeta vzorce iz izvirov Timava. Ker smo za nekaj časa prenehali z vzorčevanjem Vipave, nimamo vzorcev za čas od 26.9. do 3.10. V zadnjem vzorcu z dne 15.9. ni bilo sledi rodamina, v vzorcu od 4.10. pa je rodamin že dosegel najvišjo znano koncentracijo in sicer $0,06 \text{ mg/m}^3$ (Sl. 8).

Slika 9 Shematični prikaz podzemeljskih zvez in mešanja voda v zaledju Unice in Vipave na podlagi sledenja v poletju 1988

1) požiralnik, 2) izvir, 3) meja med flišem in apnencem, rob polja, 4) podzemejske zveze, 5) estavela, 6) opazovana vrtina, 7) eocenski fliš

Fig.9 Schematic presentation of underground connections and water mixing in Unica and Vipava hinterland on the base of water tracing in Summer 1988

1) swallow-hole, 2) spring, 3) border between flysch and limestone, border of the polje, 4) underground connections, 5) estavela, 6) observed bore-hole, 7) Eocene flysch



1989, P. HABIČ IZRK ZRC SAZU

V naslednjih dneh se je koncentracija znižala, po 20 dneh pa je spet nekoliko narasla in val je nato trajal vse do konca decembra. Domnevamo, da se je prvi val pojavil v zadnjih dneh septembra ali najkasneje 1. oktobra. Rodamin bi tako potreboval od Rakitnika do Vipave vsaj 50 dni ali 1200 ur, to je najmanj 20 dni več kot uranin do Planine. Navidezna hitrost 18 m/uro ali okrog 0,5 cm/s ni bistveno manjša.

Znižanja koncentracije rodamina v Vipavi med 7. in 16. 10. ustrezajo znižanim koncentracijam uranina v izvirih Unice. Tudi glede na trajanje jih lahko primerjamo z razredčenjem, ki je sledilo septembrskemu deževju. Drugi val rodamina v Vipavi po 16.10. lahko upravičeno primerjamo z drugim valom uranina v Unici. Podobni potek barvnega vala z nižjimi koncentracijami in večjo razvlečenostjo v smeri proti Vipavi kot proti Unici lahko z vso zanesljivostjo pripišemo podobnim hidrološkim razmeram ob postopnem praznjenju kraškega podzemlja v dolgem sušnem obdobju od poletja 1988 do začetka marca 1989. Navidez neugodne vodne razmere za sledenje so dale nekatere presenetljive podatke in dokaze, ki bi jih sicer v normalnih, srednjih in visokih vodah nikoli ne spoznali.

Izvir Timava

V vzorcih Timava, ki sta nam jih ljubeznivo posredovala dr. F. Gemitti in M. Milič v času od 30.9. do 15.11.1988, se nakajkrat pojavijo sledovi rodamina v zelo nizkih koncentracijah. Zaradi velike razredčenosti, saj so pretoki Timava v primerjavi z Vipavo desetkrat večji, več kot dvakrat je večja tudi razdalja od Rakitnika do Timava, je le občasna določitev sledila v Timavu razumljiva. Zanesljivo zvezo bi seveda dobili šele z daljšo sklenjeno krivuljo koncentracije.

Po izkušnjah s sledenjem Sajevškega potoka, Senožeškega potoka in Raše v poletju 1987 (Habič, 1989) lahko tudi občasne sledove rodamina v izvirih Timava povezujemo s sledenjem Stržena. Prve sledi so zabeležene med 7. in 10.10., nato še 18. 10., 21. in 25.10 (Sl. 8). Te sledi se časovno skladajo s pojavi rodamina v Vipavi, kar govori v prid neposredne povezanosti Stržena z Vipavo in Timavom. Takšna zveza je možna tudi po geološki zgradbi, kakor jo je nakazal v svoji zadnji razpravi Gospodarič (1986), kjer nakazuje pod flišem možen stik apnencev treh različnih gradbenih enot: javorniške, nanoško-hrušiške in kopenske. Poleg dokazane zveze Sajevškega potoka lahko bogatijo vodnati Timav tudi javorniške vode. Zaledje Timava je po znanih podatkih veliko premajhno glede na njegovo minimalno izdatnost. Za okrog 9 m³ nizkih voda bi po minimalnem specifičnem odtoku 3 l/s/km², ki je značilen za kraško porečje Ljubljaničice, pričakovali kar 3.000 km² veliko zaledje. Po površinskih in hidrogeoloških razmerah pa mu lahko pripišemo le okrog 1.000 km². Ob tem se odpira dvojno vprašanje, ali ima zaledje Timava morda trikrat večji minimalni specifični odtok, ali pa odteka v Timav več vode iz neznanega zaledja.

Tabela 1: **Sledenje Pivke in Stržena** Pregled razdalj (D), časa (T), hitrosti (V), koncentracij (K) in razredčenosti (R)

Uranin – Pivka pri Trnju, vlitje 9.8.1988 ob 21. uri, 20 kg

	km ^D	h ^T	V ₁	V ₂	K mg/m ³	R x 10 ⁻¹²
Malni	15,3	681	0,62	0,50	0,900	45
Planinska jama	15,0	643	0,65	0,45	0,430	20
Pivka, Prestr.	5,0	852	0,16	0,15	0,645	30
Pivški ro kav	15,0	852	0,48	0,45	0,032	16
Stržen	6,8	900	0,22	0,20	0,038	19

Rodamin – Stržen pri Rakitniku, vlitje 9.8.1988 ob 12.uri, 20 kg

	km ^D	h ^T	V ₁	V ₂	K mg/m ³	R x 10 ⁻¹²
Vipava	21	1200	(0,5)	0,44	0,60	3
Timav	47	1360	0,92	–	0,012	0,6

NIHANJE VODNE GLADINE V ZAHODNEM OBROBJU JAVORNIKOV

V razpravi o vodni gladini na Notranjskem in Primorskem krasu Slovenije smo skušali na podlagi razpoložljivih speleoloških podatkov prikazati vodne razmere v zaledju Malnov in pod Javorniki (Habič, 1985). Nakazani so tudi nekateri problemi, ki so nas vodili k sklepni ugotovitvi, da brez novih podatkov in dognanj lahko o razmerah v podzemlju le ugibamo.

Razpolagali smo s podatki o nihanju vodne gladine v vrtinah pri Stari vasi, Kobiljih grižah in Žejah. Zaradi napačno določene višine vrtine v Kobiljih grižah smo domnevali, da se ob srednjih vodah območje zgornje Pivke in zahodnega obrobja Javornikov prazni mimo Kobiljih griž proti Malnom. S to domnevo se niso v celoti skladale vodne razmere v vrtini pri Stari vasi. Ob nizkih vodah naj bi bila gladina nagnjena od Stare vasi proti Žejam in ne proti Malnom. Prav tako si nismo znali razložiti razlik ob visokih vodah med Staro vasjo in Kobiljimi grižami, saj bi normalno pričakovali, da pritekajo v Stržen vode iz okolice Kobiljih griž, gladina pa je bila, sodeč po višinah vode v vrtinah, nagnjena pod Javornike. To neskladje nas je prisililo, da smo naročili ponovno niveliranje vrtin v Stari vasi in v Kobiljih grižah. Po novi izmeri se je pokazalo, da je bila višina vrtine v Stari vasi pravilna, v Kobiljih grižah pa za 13,37 m prenizka.

S tem popravkom so postale razmere v pivškem obrobju Javornikov razumljivejše. V Kobiljih grižah je gladina stalno višja od gladine pri Stari vasi. Primerjava obeh gladin pri različnih vodnih razmerah nakazuje precej skladno nihanje, manjše razlike izhajajo najbrž iz lokalnih razlik v polnjenju in praznjenju krasa ob vrtinah.

Ob nižjih vodostajih je gladina nagnjena od Kobiljih griž in Stare vasi tudi proti Žejam.

Ta usmerjenost je sedaj lažje razumljiva, ko vemo, da se kras med Rakitnikom in Prestrankom ter Žejami prazni pod flišem Pivške kotline proti Vipavi.

Omenili smo že razlike v zniževanju gladine v posameznih vrtinah. Pri Žejah se zniža gladina v krasu za dobrih 20 m pod prelivni rob, pri Stari vasi le za 10 m, razlika v Kobiljih grižah pa znaša po nepopolnih podatkih ob najvišjih vodostajih za 15 do 20 m, v Matijevi jami na Palškem jezeru niha gladina za 40 m.

Za podrobnejše poznavanje hidroloških razmer v krasu ob zahodnem obrobju Javornikov kot tudi za opredelitev vpliva jadranskega porečja v krasu črnomskega povodja na Zgornji Pivki, bi morali sistematično meriti nihanje vodne gladine v nedostopnem podzemlju. V predelu med Pivko, Prestrankom in Rakitnikom, na Palškem in Petelinjskem jezeru, v Jerodovcih, pri Počku in še kje bi morali imeti piezometrične vrtine, opremljene z ustreznimi instrumenti. Koristna bi bila tudi strukturna vrtina v flišu pri Hruševju, ki bi poleg zgradbe lahko osvetlila tudi vodne razmere v skritem krasu pod flišem. Predlagane vrtine bi omogočale tudi preučevanje vplivov onesnaženja in njihovo širjenje od ponikalnic proti zajetjem. Pri varovanju tako pomembnega vodnega vira, kot so Malni, bo prej ali slej potrebna razvejana mreža kontrolnih točk po vsem zaledju in še posebej v najbolj ogroženih predelih.

Tabela 2: Primerjava vodnih gladin v vrtinah pri Stari vasi in v Kobiljih grižah

Datum	Stara vas H_1	Kobilje griže H_2	$H_2 - H_1$
10/8-88	512,86	517,87	5,01
22/8-88	512,98	516,74	3,76
25/8-88	513,90	(517,41)	3,51
26/8-88	516,20	521,24	5,04
16/9-88	522,59	529,44	6,85
4/10-88	516,76	519,14	2,38
2/11-88	519,00	520,04	1,04
1/12-88	513,41	517,04	3,63
26/12-88	513,24	516,84	3,60
20/1-89	512,86	516,44	3,58
21/2-89	512,81	514,64	2,03
28/2-89	518,26		
7/3-89	521,87	527,64	5,77

ONESNAŽENOST PONIKALNIC NA PIVKI IN NJIHOV VPLIV NA ZAJETJA V MALNIH IN V VIPAVI

Vzorci za analizo onesnaženosti smo vzeli dan pred sledilnim poskusom. Predpostavljamo, da gre za enakomerno onesnaženost skozi celotno sušno obdobje, od julija 1988 do

marca 1989. V tabeli so prikazane koncentracije Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , KPK in BPK_5 voda iz kanalizacije Pivke, Stržena kot odvodnika delno očišćenih odpadkov iz Postojne in Slavenskega potoka, v katerega se steka del vaške gnojnice iz Slavine. S tem niso zajete vse kemične in biološke obremenitve podzemeljskih voda na območju Pivke, v Malne in Vipavo odteka še druga nesnaga.

Za primerjavo s podzemeljskimi vodami so prikazane koncentracije izbranih kationov v kraških podzemeljskih vodah Matijeve jame, Kobiljih griž in v vrtini pri Stari vasi. Razlike v kemični sestavi (Tabela 3) ne nakazujejo medsebojne povezanosti teh površinskih in podzemeljskih voda. Onesnažene ponikalnice neposredno ne vplivajo na kakovost podzemne vode v opazovanih jamah.

Nobenega dvoma pa ni, da so z omenjenimi ponikalnicami prispele v podzemlje znatne količine snovi, ki negativno vplivajo na kakovost pitne vode. V tabeli so prikazane skupne količine snovi, ki so jih vode v sušnem obdobju odnesele v podzemeljske žile, te pa, kot je dokazano z barvanjem, napajajo zajetja v Malnih in v Vipavi.

Tabela 3: **Kemijska sestava vode**

Vzorec	Datum	Cl^- mg/l	NO_3^- mg/l	PO_4^{3-} mg/l	SO_4^{2-} mg/l	KPK mg/l	BPK mg/l	5 O_2 mg/l
Stržen pri Ra- kitniku Slavenski potok Pivka, požir. pri Trnju	8/8-88	42,3	7,4	14,6	41,6	29	25	10,5
	8/8-88	36,4	8,3	7,3	20	128	5,0	3,8
	8/8-88	29,9	5,1	11,4	26	70	2,5	3,5
Matijeve jama	10/8-88	3,6	0,4	0,05	6,0			
	25/8-88	3,0	1,3	0,03	5,0			
Stara vas	10/8-88	3,0	0,3	0,05	5,7			
	23/8-88	6,0	0,6	0,04	6,4			
	25/8-88	6,0	0,5	0,03	7,0			
	26/8-88	4,0	0,6	0,03	7,0			
	2/11-88	2,2	0,4	0,04	5,3			
Kobilje griže	10/8-88	7,3	0,2	0,16	7,3			
	23/8-88	2,0	0,5	0,04	6,9			
	26/8-88	3,0	0,9	0,03	5,0			
	2/11-88	2,5	1,2	0,04	5,2			

Tabela 4: Trdote voda v Stari vasi, Kobiljih grižah in Matijevi jami

	T ^o C	S cm ⁻¹	h _m	Karb. mg CaCO ₃ /l	Kalc.	Celokup.
Stara vas						
22/8-88	11,5	420	0,37	213	215	224
2/11-88	9,8	370	6,39	200	211	225
1/12-88	8,9	414	0,80	208	221	227
26/12-88	9,3	401	0,63	208	211	219
20/1-89	9,1	410	0,25	216	217	223
21/2-89	9,0	405	0	208	220	223
7/3-89	9,5	385	9,26	173	174	180
Kobilje griže						
22/8-88	9,8	255	2,1	128	124	137
2/11-88	9,3	271	5,4	134	132	147
1/12-88	9,1	268	2,4	131	131	136
26/12-88	8,7	275	2,2	136	133	147
20/1-89	9,1	274	1,8	145	140	151
21/2-89	8,9	287	0	142	146	160
7/3-89	9,1	300	3,8	150	144	155
Matijeva jama						
18/1-89	8,2	396	0,4	212	212	219
21/2-89	7,9	387	0	206	194	218

Tabela 5: Skupna obremenitev podzemnih voda z odpadkami Pivke od julija 1988 do konca februarja 1989

Volumen vode	v m ³	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	KPK v kg
Stržen pri Rakitniku	26.000	1.000	200	380	1.000	750
Slavenski potok	40.000	1.500	330	290	800	5.000
Pivka pri Trnju	104.000	3.000	530	1.200	2.700	7.000
	107.000	5.500	1.060	1.870	4.500	12.000

Tabela 6: Primerjava višin vodne gladine

Datum	Žeje	Stara vas	Kobilje griže
22/2-82	515,03	513,61	517,34
23/2-82		513,41	517,0
25/2-82	509,43	513,37	516,94
9/3-82	509,10	513,02	514,69
11/3-82		515,8	517,9
12/3-82	510,03	516,9	519,0
15/3-82	513,53	516,6	617,5
31/3-82	529,88	521,97	

Datum	Stara vas	Kobilje griže	Matijeva jama
10/8-88	512,86	517,87	516,45
25/8-88	513,90	(518,5)	521,70
18/1-89	512,86	516,44	516,00
21/2-89	512,60	514,60	515,60

PREGLED UGOTOVITEV IN SKLEP

V razpravi so navedeni primeri raztekanja ali bifurkacije kraških voda v Sloveniji, ki so podobno kot drugod povezani z različnimi vzroki in posledicami. Poglavitni vzrok vsake kraške bifurkacije je prepustnost in zakraselost kamnin na različnih razvodjih. Ker so razvodja pogostejša na višjih predelih, so bifurkacije izrazitejše v visokem krasu, niso pa izključene tudi v nižjih kraških predelih, le da gre tam za manjša lokalna razvodja.

V hidrološkem pogledu ločimo predvsem dva tipa kraških bifurkacij. Prvi je povezan z raztekanjem voda v debelejši vadozni coni, kjer se v ožjem ali širšem pasu visokega krasa razteka prenikajoča deževnica v manjših ali večjih curkih, podobno kot tudi voda visečih ponikalnic, v dvoje ali več povodij ali porečij. K temu tipu prištevamo dokazane bifurkacije Hotenjke, Pikeljšice in Žejskega potoka v zaledju kraških izvirov Idrije in Ljublanice na jadransko črnemorskem razvodju (Höttl, Maurin, Zötl, 1976), ponikalnice na Vodcah in Črnem vrhu nad Idrijo (Habič, 1987) in Čepovanskega potoka na Trnovsko-banjski planoti (Habič, 1982). V to skupino spadajo tudi dokazane bifurkacije v Severnoapneniških Alpah (Zötl, 1974). Pričakujemo pa lahko še več podobnih primerov v alpskem in dinarskem krasu Slovenije in Jugoslavije, ki doslej še niso bili preverjeni s sledilnimi poskusi.

Ugotavljanje širine bifurkacijskega pasu v visokem krasu oziroma v vadozni coni je precej zahtevna naloga. Pas je vsekakor širši v debelejši in homogeno zakraseli vadozni coni. Manjše ali večje, delne ali popolne hidrogeološke zapore zožujejo in prostorsko omejujejo raztekanje. Kjer s preučevanjem geološke zgradbe ni mogoče ugotoviti dejanskih hidrogeoloških

kih razmer, je možno le s postopnimi ali kombiniranimi sledilnimi poskusi omejiti razvodno območje. Šele tedaj je mogoče tudi oceniti hidrološki pomen posamezne bifurkacije glede na čas in količino raztekanja v eno ali drugo smer. V znanem razvodnem območju lažje določimo varovalne ukrepe za ohranitev količine in kakovosti vode pripadajočega vodnega vira. Kjer bifurkacijsko območje ni zanesljivo omejeno, je treba varovati širše zaledje.

Drugi tip kraške bifurkacije je vezan na poplavno ali epifreatično in stalno zalito ali freatično cono krasa. V teh conah se preliva voda iz enega v drug hidrografskega sistem glede na prepustnost razvodnega območja in višino vodne gladine v njem. Prelivanje je v tem primeru možno na površju ali v podzemlju in v obeh predelih hkrati. Če gre za preliivanje zaradi različne prepustnosti, je lahko trajno, ali občasno. Kjer pa je preliivanje odvisno od višine vodne gladine, je časovno omejeno na krajša ali daljša razdobja v odvisnosti od padavinskega in siceršnjega vodnega režima. V ta tip kraške bifurkacije spadajo raztekanja na kraških poljih, na Cerknškem, Ribniškem in drugod (Jenko, 1959). V to skupino lahko uvrstimo tudi raztekanje Donave (Zötl, 1974), pa tudi na novo dokazano bifurkacijo Pivke na jadransko črnorskem razvodju.

Prvo bifurkacijo na Pivki pri Knežaku omenja že Jenko (1959), manjše bifurkacijsko območje na Pivki pri Belskem je opisal Habe (1976). V Biševcih pri Hruševju smo ugotovili visokovodno preliivanje iz Slavenskega krasa, ta sicer pripada zaledju Timava, kot je dokazano z barvanjem Sajevščice, v površinsko Nanoščico, ki s Pivko vred pripada črnorskemu porečju. Četrto najboljše bifurkacijsko območje Pivke na jadransko črnorskem razvodju pa je v predelu med Prestrankom in Rakitnikom, od koder del podzemeljskih voda odteka pod flišno Pivško kotlino v Vipavo in Timav, del pa v izvire Unice na Planinskem polju. Ta bifurkacija je bila prvič dokazana z barvanjem Pivke pri Trnju in Stržena pri Rakitniku s sušnem poletju 1988.

Sledilo uranin iz požiralnika v strugi Pivke pri Trnju se je najprej pojavilo v 15 km oddaljenem izviru Unice po 643 urah in 38 ur kasneje tudi v bližnjih izviri Malenščice v Malnih na Planinskem polju. Navidezna hitrost podzemeljskega toka znaša torej 0,65 in 0,62 cm/s. Sledilni poskus je bil izveden v začetku avgusta ob splošnem upadanju gladine podzemne vode. K pospešenemu odtoku sledila je pomagal dež v sredini avgusta, nato pa še drugi v sredini septembra, ki je z dotokom čiste vode in z razredčenjem prispeval k oblikovanju dvojnega vala in delnim preliivanjem podzemeljske Pivke na površje. Narasle vode so dodatno sprale sledilo iz ponornega območja, ki se je nato po drugih kanalih in delno celo po površju in skozi Postojnski jamski sistem prelilo v izvire Unice. Razlike v razporeditvi in koncentraciji uranina v drugem valu so povezane z razredčenjem zaradi dotoka kraških voda iz Javornikov in Cerknice. Pojav uranina ob drugem valu v površinski Pivki, v izviri Stržena in kasneje tudi v izviri Vipave dodatno osvetljuje način podzemeljskega pretakanja in kraško bifurkacijo na območju Pivke (Sliki 1,9).

Z barvanjem požiralnika Stržena pri Rakitniku je dokazano, da se znaten del zahodnega obrobja Javornikov in srednje doline Pivke, ki smo ga doslej v celoti pripisovali zaledju Unice, odceja proti Vipavi in morda tudi v izvire Timava. Po nagnjenosti vodne gladine v predelu

med Staro vasjo pri Postojni in Prestrankom, nihanje gladine smo opazovali v vrtinah pri Stari vasi, v Kobiljih grižah, pri Žejskih izvirih in v Matijevi jami na Paškem jezeru, upravičeno sklepamo, da se v Vipavo in z njo v Jadransko morje odteka jo tudi ponikalnice s fliša od Selc, mimo Slavine do Prestranka, ki sicer le ob visokih vodah dosežejo površinsko Pivko in z njo odteka jo v Črno morje. Ker se sledilo rodamin iz Stržena pri Rakitniku ni pojavilo v izvirih Unice, uranin iz požiralnika pri Trnju pa je dosegel Vipavo ob drugem vodnem valu, sklepamo, da se podzemlje okrog Prestranka hitreje prazni proti Vipavi, kar potrjuje tudi izdatno znižana gladina v vrtini pri Žejskih izvirih (Habič, 1985), območje Zgornje Pivke do Trnja pa je bolj usmerjeno v izvire Unice. S takim raztekanjem kraških voda na območju srednje Pivke, kjer jih ogrožajo industrijske in komunalne odplake, je treba računati pri varovanju obeh izvirov Vipave in Unice, ki sta že zajeta za vodno oskrbo.

Natančnejša opredelitev bifurkacijskega območja na zahodnem obrobju Javornikov bo možna le na podlagi podrobnejšega spremljanja nihanja vodne gladine in zaporednih sledilnih poskusov. Na splošno lahko sklenemo z ugotovitvijo, da zajemajo površinske in podzemeljske bifurkacije v poplavni in stalno zaliti coni razmeroma velika območja z zapletenimi vodnimi razmerami in količinsko različnim odtokom v eno ali drugo smer. Dokler režim raztekanja in drugi hidrološki problemi v zaledju vodnih virov niso razjasnjeni, je potrebno varovati celotno bifurkacijsko območje.

LITERATURA

- Avdagić, I., N. Preka, N. Preka-Lipold, 1976: Sodium chloride tracing of Pivka river underground flow. Papers 3rd Int. Symp. of Underground Water Tracing, 9-16, Ljubljana
- Bögli, A., 1978: Karsthydrographie und physische Speläologie. 1-292, Springer-Verlag, Berlin
- Fairbridge, R.W., 1968: The Encyclopaedia of Geomorphology. Dowden, Hutchison and Ross Inc., 1-1295, Stroudsburg, Pennsylvania
- Gams, I., 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniskim poljem. Acta carsologica, 4, 5-50, Ljubljana
- Gams, I., 1970: Maksimiranost kraških podzemeljskih pretokov na primeru ozemlja med Cerkniskim in Planinskim poljem. Acta carsologica, 5, 171-187, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1970: Speleološke raziskave Cerkniskega jamskega sistema. Acta carsologica, 5, 109-169, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1976: Razvoj jam med Pivško kotlino in Planinskim poljem v kvartarju. Acta carsologica, 7, 5-139, Ljubljana
- Gospodarič, R., 1986: Vodnogospodarske osnove občine Postojna, 3. faza. ORS Postojna, 24 str, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- Gospodarič, R., P. Habič, 1979: Kraški pojavi Cerkniskega polja. Acta carsologica, 8, 7-162, Ljubljana
- Gospodarič, R., F. Habe, P. Habič, 1970: Orehovški kras in izvir Korentana. Acta carsologica, 5, 97-108, Ljubljana
- Habe, F., 1963: Hidrološki problemi severnega roba Pivške kotline. Treči jugoslovanski speleološki kongres, 77-84, Sarajevo

- Habe, F., 1976: Morfološki, hidrografski in speleološki razvoj v studenskem flišnem zatoku. *Acta carsologica*, 7, 141-213, Ljubljana
- Habe, F., F. Hribar, 1964: Sajevoško polje. *Geografski vestnik*, 36(1964), 13-49, Ljubljana
- ✓ Habič, P., 1968: Kraško porečje Pivke in javorniški podzemeljski tok. *Vodni viri za oskrbo Postojne*. 50-101, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- ✓ Habič, P., 1969: Javorniški podzemeljski tok in oskrba Postojne z vodo. *Naše jame*, 10(1968), 47-59, Ljubljana
- Habič, P., 1975: Pivka in njena kraška jezera. *Ljudje in kraji ob Pivki*, 1, 41-50, Postojna
- Habič, P., 1982: Kraški izvir Mrzlek, njegovo zaledje in varovalno območje. *Acta carsologica*, 10, 45-73, Ljubljana
- ✓ Habič, P., 1983: Poročilo o barvanju požiralnika pri Rakitniku. 1-6, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- Habič, P., 1985: Vodna gladina v Notranjskem in Primorskem krasu Slovenije. *Acta carsologica*, 13(1984), 37-48, Ljubljana
- Habič, P., 1986: Površinska razčlenjenost Dinarskega krasa. *Acta carsologica*, 14-15(1985-86), 39-58, Ljubljana
- ✓ Habič, P., 1987: Sledilni poskus na kraškem razvodju med Idrijco, Vipavo in Ljubljano. *Acta carsologica*, 16, 105-118, Ljubljana
- ✓ Habič, P., 1987 a: Raziskave kraških izvirov v Malnih pri Planini. 1-58, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- Habič, P., 1989: Sledenje v zaledju Timava. Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna
- Hötzl, H., V. Maurin, J. Zötl, 1976: Results of the Injection of Lycopodium Spores. *Underground Water Tracing, Investigations in Slovenia 1972-1975*, 167-181, Ljubljana
- Jenko, F., 1959: Hidrogeologija in vodno gospodarstvo krasa. *Državna založba Slovenije*, 1-237, Ljubljana
- Jenko, F., 1959 a: Poročilo o novejših raziskavah podzemeljskih voda na Slovenskem krasu. *Acta carsologica*, 2, 209-227, Ljubljana
- Kogovšek, J., P. Habič, 1981: Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primeru Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 9(1980), 128-148, Ljubljana
- Michler, I., 1955: Rakov rokav Planinske jame. *Acta carsologica*, 1, 73-90, Ljubljana
- Mihevc, A., 1984: Kačna jama. *Deveti jugoslovanski speleološki kongres, Zbornik predavanja*, 417-422, Zagreb
- Mlakar, J., 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. *Geologija*, 16, 317-334, Ljubljana
- Preka, N., N. Preka-Lipold, 1976: Prilog poznavanju autopurifikacione sposobnosti krških podzemnih vodnih tokova. *Hidrologija i vodno bogatstvo krša*, 577-584, Sarajevo
- Pleničar, M., 1959: Tektonski okni pri Knežaku. *Geologija*, 5, 5-10, Ljubljana
- Zötl, J.G., 1974: *Karsthydrogeologie*. 1 -391, Springer- Verlag, Wien - New York

PIVKA KARST BIFURCATION ON ADRIATIC – BLACK SEA WATERSHED

Summary

The examples of bifurcation of karst waters in Slovenia are listed in the treatise. The main reason of each karst bifurcation is permeability and karstificability of rocks on different watersheds. As the watersheds are usually in higher areas the bifurcations are more frequent in high karst, but they are not excluded in lower karst regions only that there the watersheds are local and smaller.

From hydrological point of view two types of karst bifurcation can be distinguished. The first one is connected to water flow in vadose zone where in narrow or wider belt of high karst the percolated rain water flows and the water of hanging sinking streams into two or more water basins. The proved bifurcations of Hotenjka, Pikeljšica and Žejski potok in the hinterland of Idrija and Ljubljana karst springs on Adriatic - Black Sea watershed (Hötzl, Maurin, Zötl, 1976), and the sinking streams on Vodice and in Črni vrh above Idrija (P.Habič, 1987) and Čepovanski potok on Trnovsko-banjška plateau (P.Habič, 1982) belong to this type. To the same group belong the proved bifurcations in Northern Limestone Alps (Zötl, 1974).

The second type of karst bifurcation is connected to epiphreatic and phreatic karst zone. In these zones the water flows from one into another hydrographic system depending on permeability of watershed area and altitude of water level in it. The flow in such case is possible on the surface and in the underground and in both areas at the same time. If the flow depends on different permeability it could be permanent or periodical. When the flow depends on altitude of water table it is temporally limited to shorter or longer periods dependent on precipitation and water regime. To this type of karst bifurcation belong the flows on karst poljes, on Cerknica, Ribnica and elsewhere (Jenko, 1959) and the Donau flow (Zötl, 1974) and now evidenced Pivka bifurcation to Adriatic and Black Sea watershed.

The first bifurcation of Pivka near Knežak was mentioned by Jenko (1959) already, smaller bifurcation area of Pivka near Belsko was described by Habe (1976). In Biščevci near Hruševje the high water table overflow from Slavenski karst, otherwise flowing through Classical Karst to Timavo springs was stated into superficial Nanoščica which belongs to Black Sea water basin together with Pivka. The fourth, the biggest bifurcation area of Pivka on Adriatic - Black Sea watershed lies in the region between Prestranek and Rakitnik, from where a part of underground waters flow under flysch Pivka basin towards Vipava and Timavo, and one part into Unica springs on Planinsko polje. This bifurcation was proved for the first time by Pivka tracing near Trnje and by Stržen near Rakitnik in the dry summer 1988.

The tracer uranine injected into swallow hole in the Pivka river bed near Trnje appeared in 15 km distant Unica spring after 643 hours and 38 hours later in near springs of Malenščica in Malni on Planinsko polje. The apparent velocity of the underground flow is 0.65 and 0.62 cm/s. The water tracing test was achieved in the beginning of August during general decrease of underground water level. The rain in the middle of August have helped the dye to accelerated runoff and the second rain in the middle of September adding pure water and dilution contributed to formation of double pulse and the underground Pivka partly appeared on the surface. The swollen waters additionally washed off the dye from the ponor area and through other channels and partly even on the surface and through the Postojnska jama system they have flown to Unica springs. The differences in uranine distribution and concentration in the second pulse are connected with dilution of additional karst waters from Javorniki

and Cerknica. The uranine appearance in the second pulse in the superficial Pivka, in Stržen springs and later in Vipava springs additionally enlighten the mode of underground runoff and karst bifurcation in the area of Pivka (Fig. 1, 9).

By Stržen tracing near Rakitnik swallow-hole was proved that a considerable part of western Javorniki Mt. border and central Pivka valley waters, which were till now contributed entirely to Unica hinterland, flow towards Vipava and partly into Timavo springs. According to inclination of water level in karst between Stara vas near Postojna and Prestranek, the water table oscillations were observed in bore-holes near Stara vas, in Kobilje griže and at springs of Žeje and in Matijeva jama on Palško lake (Fig.) we can duly infer that to Vipava and thus to Adriatic Sea the sinking streams from flysch at Selce, past Slavina to Prestranek are flowing, otherwise, at high waters only reach the superficial Pivka and flow with it towards the Black Sea. As the tracer rhodamine from Stržen near Rakitnik did not appear in the Unica springs, and the uranine from swallow-hole near Trnje has reached Vipava during the second pulse we infer that the underground around Prestranek evacuate towards Vipava more quickly. This is evidenced by abundant lowering of water level in the bore-hole near springs of Žeje (P.Habič, 1985). The area of Upper Pivka to Trnje is more oriented towards the Unica springs. With such overflow of karst waters in the area of central Pivka, which is endangered by industrial and communal waste waters we have to be aware protecting the both springs Vipava and Unica which are already caught for water supply.

The detailed definition of bifurcation area on the western Javorniki border would be possible on the base of exact observations of water level oscillations and by consecutive water tracing tests. In general we can conclude that the superficial and underground bifurcations in epiphreatic and phreatic zone comprise relatively big areas with complicated water conditions and different share of runoff to one or another direction. Protection measurements in such areas are successful only if we entirely know and consider the character, regime and extent of bifurcation.