

PODZEMNE VODNE ZVEZE NA
PODROČJU ČIČARIJE IN
OSREDNJEGA DELA ISTRE

UNDERGROUND WATER CONNECTIONS IN ČIČARIJA
REGION AND IN MIDDLE ISTRIA

PRIMOŽ KRIVIC - MIHAEL BRICELJ -
MARTINA ZUPAN

Izvleček

UDK 556.34.04(497.12/13)

Krivic, P., Bricelj, M., Zupan, M.: Podzemne vodne zveze na področju Čičarije in osrednjega dela Istre (Slovenija, Hrvatska, NW Jugoslavija)

V dveh kombiniranih sledilnih poskusih v letih 1986 in 1987, vsakič so bile obarvane tri ponikalnice s tremi različnimi sledili (uraninom, rodaminom in bakterifagi), so bile ugotovljene razvodnice med izvirom Rižane in izviri ob Kvarnerskem zalivu ter izviri v porečju Mirne. Površina varstvenih pasov za zaščito kvalitete podtalnice izvira Rižane, določena na osnovi večletnih hidrogeoloških raziskav, znaša 237 km².

Ključne besede: sledenje voda, varstveni pasovi, Čičarija, Istra, Slovenija, Hrvatska

UDK 556.34.04(497.12/13)

Abstract

Krivic, P., Bricelj, M., Zupan, M.: Underground water connections in Čičarija region and in Middle Istria (Slovenia, Croatia, NW Yugoslavia)

In the years 1986 and 1987 six sinking brooks were traced with bacteriophages, uranine and rhodamine dye, to prove the connections with the spring of Rižana river, with the springs on the rim of the Kvarner Bay on the Adriatic Sea and with the springs in Mirna river valley. According to the results of several years of hydrogeological investigations, 237 sq. km groundwater quality protection areas of the Rižana spring were determined.

Key words: water tracing, protection areas, Čičarija, Istria, Slovenia, Croatia

Naslov - Address

dr. Primož Krivic, dipl.ing.geol.

Geološki zavod Ljubljana

YU - 61000 Ljubljana, Dimičeva 16

mag. Mihael Bricelj, dipl.biol.

Inštitut za biologijo Univerze Edvarda Kardelja

YU - 61000 Ljubljana, Aškerčeva 12

Martina Zupan, dipl.ing.kem.

Hidrometeorološki zavod SR Slovenije

YU - 61000 Ljubljana, Vojkova 1b

UVOD

Podzemeljske vodne zveze v Istri in Slovenskem Primorju so že od nekdaj vzbujale zanimanje. Številni potoki in reke z neprepustnega flišnega površja na stiku s prepustnimi in zakraselimi apnenci izginjajo v podzemlju in ljudje so se vedno spraševali, kje pridejo te vode zopet na dan, ali v katerem izmed kraških izvirov ali pa kar v morju. Dokazov za posamezne povezave pa, razen ljudskega izročila v obliki pripovedk, ki jih srečamo povsod na krasu, ni bilo in tudi možnosti za njihovo potrditev ne.

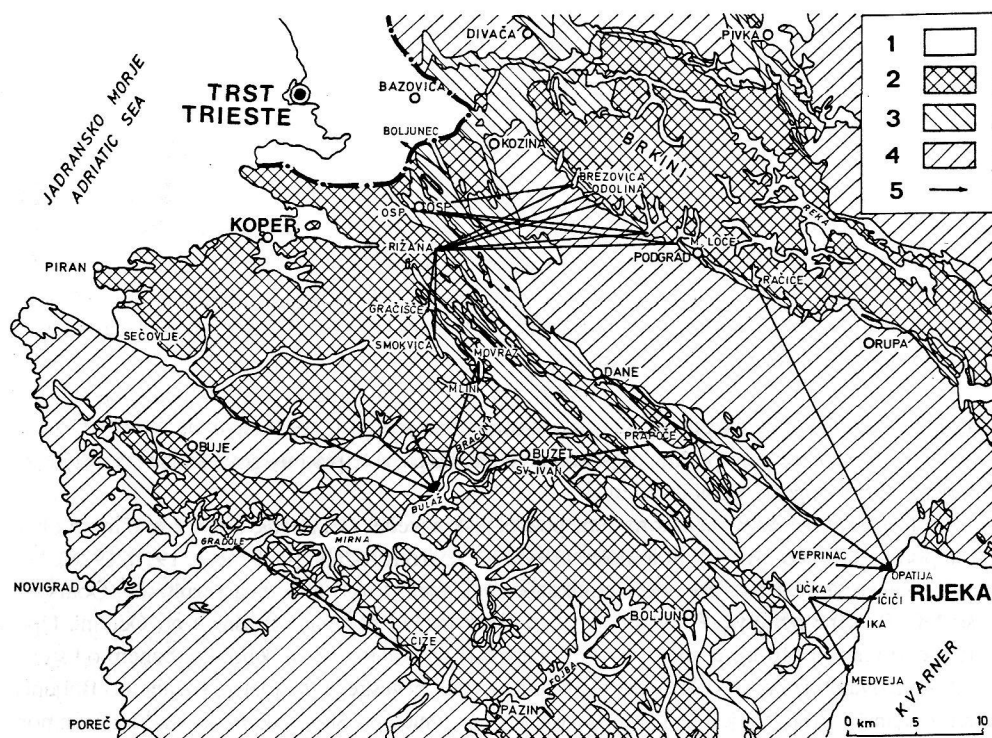
Že znani pisatelj Jules Verne opisuje neuspeli sledilni poizkus med ponikalnico Fojbo pri Pazinu in izviri v Limskem kanalu in kako naj bi kasneje to povezavo ugotovili (J.Verne, 1885). Ali je bil sledilni poskus dejansko izveden, ali pa je le plod njegove bujne domišljije, pa najbrž ne bo mogoče nikoli izvedeti.

Prvi pravi sledilni poskus na tem področju je izvedel G.Timeus, ko je z uraninom obarval potok Brašnico pri Odolini in dokazal zvezo z izvirom Rižane (G.Timeus, 1910, 1928).

Kasnejša sledenja brkinskih ponikalnic (N.Čadež, 1963) niso dala rezultatov. Obarvane so bile Račiške ponikve, Perilo pri Obrovu (Jezerina) in ponovno Brašnica pri Odolini. Uporabljeno barvilo (40 kg uranina in obarvani trosi) pa ni bilo ugotovljeno v nobenem od številnih opazovanih izvirov od Kvarnerskega zaliva, prek hrvaškega dela Istre, Rižane do Boljunca na italijanski strani meje pri Trstu. Barvanje ponikalnice pri Slovenskem Gračišču z uraninom leta 1960 (ustni podatek P.Štefaniča) in ponovno barvanje leta 1961 (N.Čadež, Arhiv JMZ) s 7 kg uranina, tudi nista dokazali zveze z nobenim od opazovanih izvirov (Rižana, Rakovec, Gaber, Mlini).

Geološki zavod Zagreb in Inštitut "Ruđer Bošković" sta izvajala sledenja na področju Čičarije, v letu 1977 v predoru skozi Učko (S.Božičević, V.Goatti, 1987), pri Veprincu nad Opatijo v letu 1986 in v ponoru Prapoče pri Lanišču (slika 1). V prvih dveh primerih se je z uraninom obarvana voda pojavila v obalnih izvirih Kvarnerskega zaliva: med Ičići in Medvejo, oziroma v izvirih pod hoteloma Admiral in Kristal v Opatiji. V tretjem primeru pa je sledenje s tritijem dokazalo zvezo z izvirom Sv.Ivan pri Buzetu. V zaledju izvira Bulaž (Sv.Stjepan) pri Istrskih Toplicah so bili izvedeni sledilni poizkusi s tritijem in uraninom ponikalnic v dolini Zrenj (Mlaka), Oprtalska draga (Pregon) in Pašudija (Jugovski potok) in s tem ugotovljeno padavinsko zaledje tega izvira (A.Magdalena in drugi, 1987). Prav tako je bila z uraninom in tritijem v letih 1968, 1976 in 1988 dokazana zveza ponora Čiže z izviri Gradole na levem bregu Mirne.

V okviru študija padavinskega zaledja izvira Rižane (slika 2) in za določitev varstvenih pasov tega pomembnega vodnega vira, sta bili v letu 1985 v okviru kombiniranega sledilnega poizkusa istočasno obarvani ponikalnici Ločica pri Brezovici in Male Loče v Matarskem podolju in ponikalnici pri Gračišču in pod Lukini (Smokavska vala) v Čičariji, vsaka z drugim sledi-



SI.1 Geološka karta osrednjega dela Istre

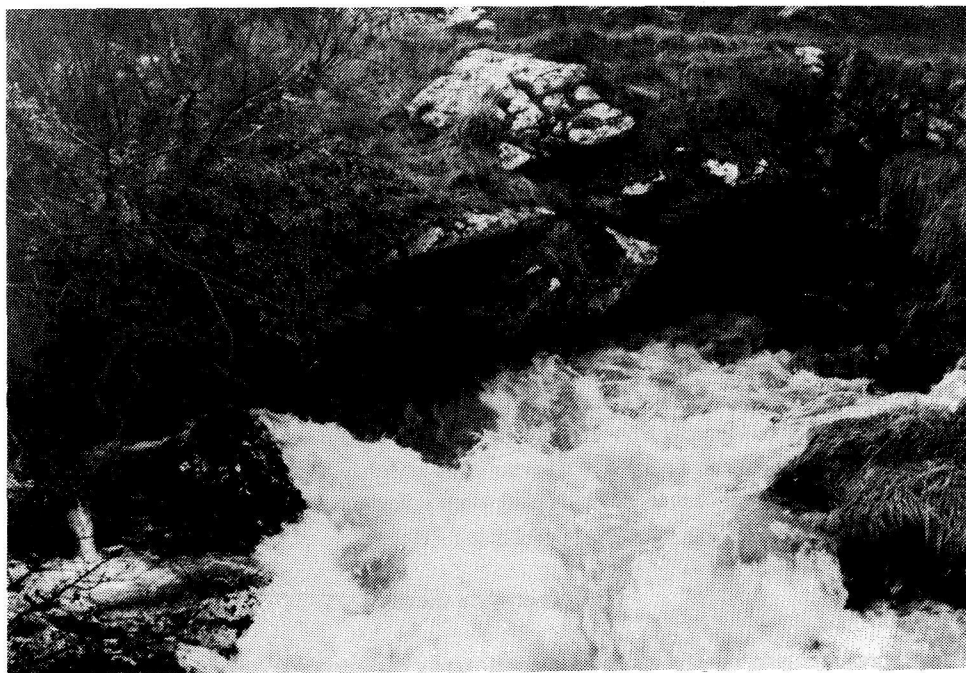
1 - aluvij, 2 - eocenski fliš, 3 - paleogenski apnenci, 4 - kredni apnenci, 5 - s sledenjem dokazane podzemne zveze

Fig.1 Geological map of Middle Istria

1 - alluvion, 2 - Eocene flysch, 3 - Paleogene limestones, 4 - Cretaceous limestones, 5 - underground water connections proved by tracing

lom. Z uraninom obarvana voda iz Brezovice se je že po 4,5 dneh pojavila na vrtini R-6 in na izviru Rižane. Barvilo rodamin iz Gračišča je prišlo do izvira Rižane po 6,5 dneh. Bakteriofagi iz Smokavske vane so bili z gotovostjo ugotovljeni v izviru Rižane prvič po 10,5 dneh, v močni koncentraciji po 14 dneh, le sledovi sledila pa so bili ugotovljeni tudi v Mlinih (Sušec, Sopot) in v izviru Sv.Ivan pri Buzetu. Sledilo KCl iz ponikalnice Male Loče ni bilo ugotovljeno v nobenem od opazovanih izvirov (P.Krivic in drugi, 1987). S tem smo dobili prve podatke o napajalnem področju izvira in določili okvirni obseg varstvenih pasov, katerih skupna površina je po prvi verziji znašala 183 km² (P.Krivic, 1986), pokazalo pa se je, da je potrebno natančno določiti razvodnice na vzhodni in južni strani padavinskega zaledja, to je na področju Matar-

skega podolja in v Čičariji. Tako je bila glavna naloga v drugi in tretji fazi sledilnih poskusov določitev razvodnic med Kvarnerskim zalivom, porečjem Mirne s pritoki in Rižano. Sledilne poskuse je vodil P.Krivic, analize fluorescentnih sledil je opravila M.Zupan, analize bakteriofagov pa M.Bricelj in M.Šiško.



Sl.2 Izvir Rižane

Fig.2 Spring of Rižana river

SLEDILNI POIZKUSI V LETIH 1986-1987

V maju 1986 smo izvedli sledenje treh ponikalnic v Matarskem podolju in sicer v Hotični, Malih Ločah in Jezerini. V maju 1987 pa so bile obarvane ponikalnice pri Movražu, Račiške ponikve in Dane pri Vodicah. V obeh primerih smo uporabili sledila uranin, rodamin in bakteriofage.

Sledenje v hotični, jezerini in malih ločah

V sledilnem poskusu druge faze raziskav smo sledila injicirali v tri ponikalnice: Hotiški potok, Jezerino in Male Loče. V slepo dolino Jezerine pri Obrovu dotekata dva vodotoka. Za injiciranje smo določili zahodno ponikalnico imenovano Pogoran ter kot sledilo izbrali fluore-

scenčno barvilo rodamin v količini 20 kg. Drugo injicirno mesto je bilo v območju Ločkih ponikev pri Malih Ločah, kjer ponikuje potok Velika voda. Za sledilo smo izbrali fluorescenčno barvilo uranin v količini 20 kg. Ponor Hotiškega potoka pri Hotični je bil določen za sledenje z bakteriofagi.

Lokacije in program vzorčevanj

Določili smo sledečih osem mest za vzorčevanje, katerih položaj podajamo na sliki 10.

- Rižana–vodarna
- Osapska reka – Osp
- izvir Ara – Mlini
- pritok Bračane – Mlini
- izvir Sv.Ivan – Buzet (zajet je za istrski vodovod)
- izvir pod hotelom Kristal – Opatija
- izvir pod hotelom Admiral – Opatija
- izvir v Medveji – avtokamp

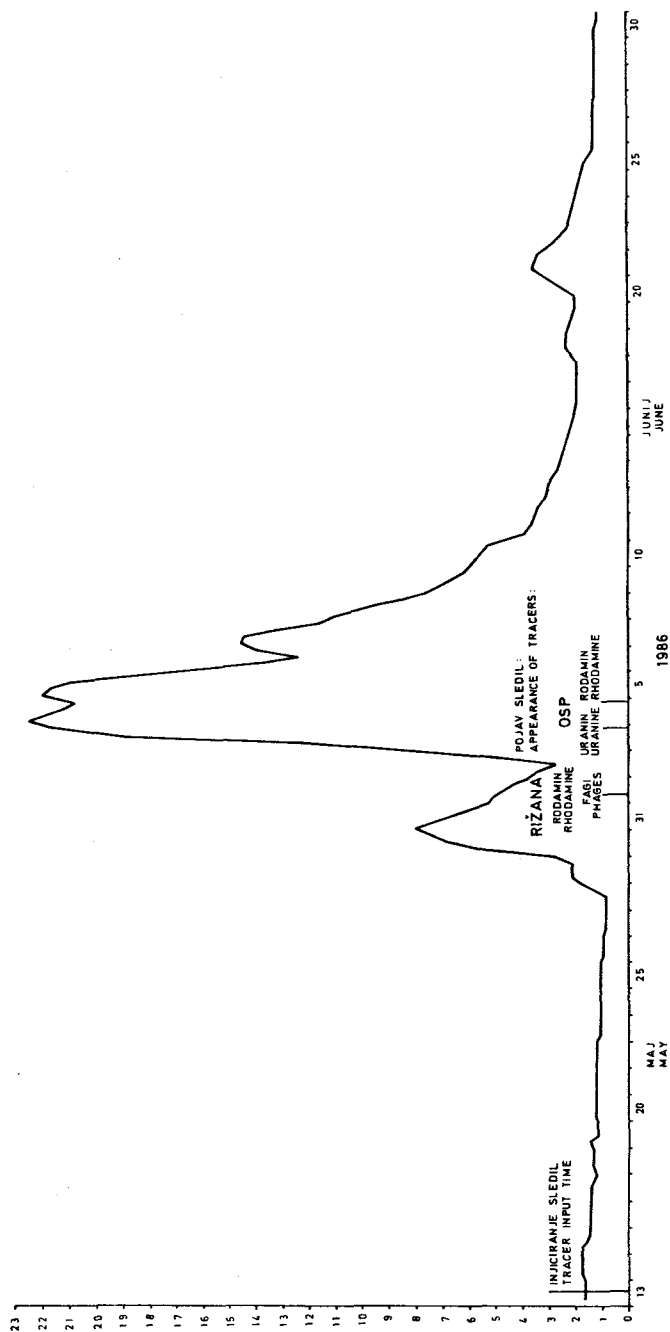
Vzorčevanje se je začelo 13.maja 1986 in je trajalo do avgusta 1986. V začetni fazi sledilnega poskusa je bilo predvideno vzorčevanje na izviru Rižane 4 x dnevno, na izviri Osapske reke v času aktivnosti izvira 3 x dnevno in na izviri v Opatiji in Medveji 1 x dnevno. Program vzorčevanj naj bi med sledilnim poskusom prilagajali rezultatom orientacijskih analiz vzorcev.

Hidrometrične meritve

Reprezentativna postaja za določitev pretokov v času sledenja (slika 3) je bila vodomerska postaja Rižana – Kubed, ki je opremljena z limnigrafom. Hidrometrične meritve smo izvedli na nizu ponikalnic v Matarskem podolju od Ločice v Brezovici do ponikalnice Golobnjak pri Hrušici. Dnevna opazovanja vodostajev smo organizirali na profilih Ločica–Brezovica, Velika voda–Male Loče, ter na pritoku Bračane v Mlinih, kjer smo tudi izvajali hidrometrične meritve.

Injiciranje sledil

Vsa tri sledila, bakteriofagi, rodamin in uranin so, po predhodni pripravi, istočasno injicirana v izbrane ponore, dne 13.maja 1986 od 13. uri. Injiciranje fagnega sledila je bilo izvedeno pri vходу v ponor Hotiškega potoka na nadmorski višini 530 m. Potok je imel v času injiciranja pretok 8 l/sek. V desetih sekundah smo v ponor zlili 17550 ml fagne juhe s skupnim titrom $4,1 \cdot 10^{14}$ pfe.



SL3 Hidrogram Rižane v času sledilnega poskusa

Fig.3 Hydrograph of Rižana river during tracing test

Na območju slepe doline Jezerine pri Obrovu, ki se nahaja na 500–520 m n.m. smo obarvali zahodni potok Pogoran. Dvajset kilogramov sledila rodamin smo predhodno suspenzirali v 2 posodah s skupno 70 l vode. Barvilo smo vlivali v strugo potoka 10 m nad zalitim ponorom, ki se nahaja na začetku niza ponorov na tem območju. Pretok vode je bil v času injiciranja merjen 200 m gorvodno od injicirnega mesta in je znašal 81 l/s.

Pretok sosednje ponikalnice Gabrški potok (Perilo) je v času injiciranja znašal 75 l/s.

Na območju Ločkih ponikev, kjer pri naselju Male Loče ponika Velika voda na 500 m n.m. smo uporabili sledilo uranin. Dvajset kilogramov uranina smo predhodno dobro premešali v 80 l vode. Suspenzijo smo vlili v prvi ponor na začetku niza ponorov, kjer je ponikala vsa voda. Pretok Velike vode je v času injiciranja znašal v vodomerskem profilu pri mostu 79 l/s.

Analiza sledil

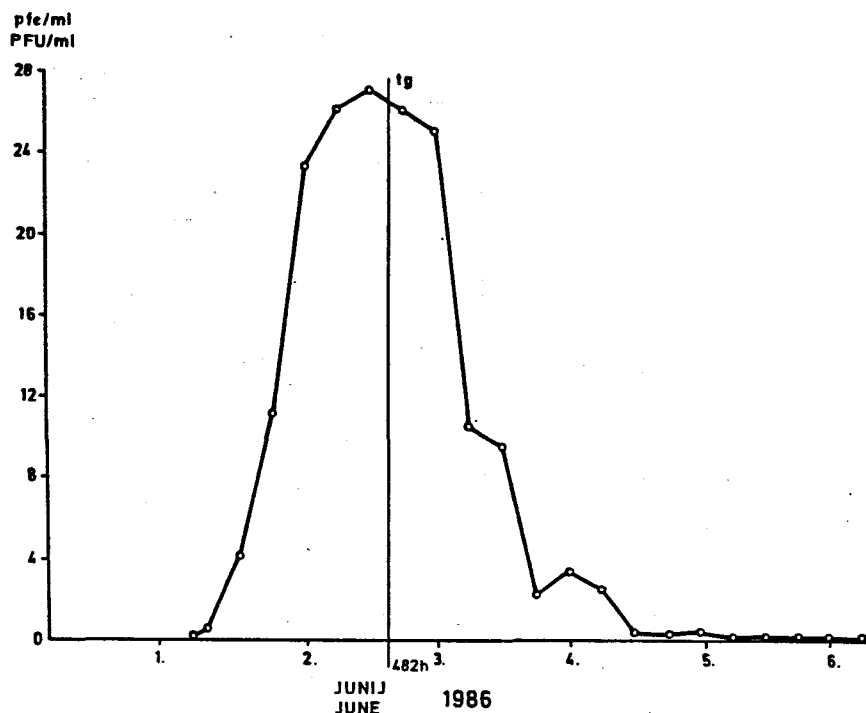
Vsebnost in koncentracije fluorescenčnih barvil v 864 vzorcih vode izvirov smo določali na fluorescenčnem spektrofotometru Perkin Elmer 204. Merili smo z metodo konstantne razlike med ekscitacijsko in emisijsko valovno dolžino – 25 nm. Meja določljivosti je bila za uranin 0,004 ppm in za rodamin 0,008 ppm (Behrens, 1973).

Količino bakteriofagov oziroma plak formirajočih enot (=pfe) smo določevali z dvema metodama in sicer z metodo agarskega preliwa in z MPN metodo ali metodo določanja najbolj verjetnega števila. Meja detekcije metode agarskega preliwa pri uporabi 5 x 1 ml vzorca je 0,2 Pfe/ml, kar pomeni 1 razjednina na pet uporabljenih ploščah. Meja detekcije MPN metode je pri uporabljeni količini 3 x 10 ml, 1 x 1 ml in 1 x 0,1 ml vzorca pri 6 Pfe/100 ml vzorca, kar pomeni, da smo zasledili prisoten bakteriofag le v enem 10 ml vzorcu. Pri tem moramo omeniti, da 6 Pfe/100 mililitrov ne moremo dokazati z metodo direktnega agarskega preliwa.

Rezultati analiz bakteriofagov

Z vzorčnega mesta Rižana smo obdelali 140 vzorcev z obema zgoraj omenjenima metodama. Prvi pozitivni rezultat smo dobili z obema metodama na vzorcu z dne 1. junija ob 6^h. Nato smo v obdobju pojavljanja bakteriofagov v vzorcih vzorce obdelovali samo z metodo agarskega preliwa, pri kateri lahko zračunamo Pfe v mililitru vzorca. Maksimalno ali gornjo vrednost smo opazili v vzorcu dne 2. junija ob 12^h in sicer smo določili 27,6 Pfe v mililitru. Od tedaj pa do 6. junija ob 6^h je količina fagov v vzorcih padala in dosegla 6. junija ob 12^h ničelno vrednost, katero smo nato lahko določili v vseh vzorcih do konca vzorčevanja. Iz dobljenih pozitivnih rezultatov z metodo agarskega preliwa smo sestavili sledilno krivuljo, ki jo predstavlja slika 4. Analize vzorcev na bakteriofage iz vseh ostalih izvirov pa so bile negativne.

Ker smo imeli prejšnje leto precej majhno vrednost v količini povrnjenih bakteriofagov (P. Krivic in drugi, 1987), smo tokrat v vzorce vode potoka Hotična, reke Rižane in ostalih izvirov dodali znane količine bakteriofaga in inkubirali v jamskem laboratoriju v temi pri temperaturi 14° C. Ko smo na Rižani dosegli ničelno vrednost sledilne krivulje, smo določili



Sl.4 Časovni potek koncentracij bakteriofagov iz Hotične v izviru Rižane

Fig.4 Concentration curve of bacteriophages in the Rižana spring injected in Hotična

tudi količino bakteriofagov v vzorcih vode iz jamskega laboratorija. Pri tem se je količina bakteriofagov v vzorcu vode iz potoka Hotična zmanjšala z $2,2 \times 10^9$ na $1,9 \times 10^8$ pfe v mililitru vzorca. Količina pfe v vzorcu vode iz Rižane pa je padla z $2,2 \times 10^9$ na $3,0 \times 10^8$. Iz teh rezultatov smo izračunali faktor znižanja količine bakteriofagov, ki je v primeru potoka Hotična 11,57 (f_1) in v primeru Rižane 7,3 (f_2).

Z znano težišnico vala in faktorji zmanjšanja količine bakteriofagov v vzorcu smo izračunali po empirični formuli potrebno količino bakteriofagov:

$$P_{\text{mark}} = a \times t \times Q$$

pri čemer pomeni

- P_{mark} – število bakteriofagov, potrebnih za sledilni poskus (pfe)
- a – faktor z vrednostjo: v primeru $f_1 = 11,57$ in v primeru $f_2 = 7,3$
- t – ocenjeni čas do pojava sledila v vzorcu (vrednost težišnice vala) v s
- Q – pretok v m^3/s

Po zgornji formuli smo v primeru upoštevanja f_1 izračunali potrebno količino bakteriofaga kot $4,7 \times 10^{13}$ pfe in v primeru uporabe f_2 dobili potrebno količino $2,9 \times 10^{13}$ pfe. Ker

smo v našem poskusu uporabili bakteriofagno juho s skupnim titrom $4,1 \times 10^{14}$ pfe, lahko zaključimo, da je bila uporabljena količina bakteriofagov dovolj velika za uspešno sledenje.

Rezultati analiz fluorescenčnih barvil

V vseh vzorcih smo analizirali vsebnost fluorescenčnih barvil uranin in rodamin. Barvilo uranin smo v različnih koncentracijah določili v vseh izviri v razponih koncentracij, ki jih podajamo v tabeli 1.

TABELA 1: Minimalne in maksimalne koncentracije uranina ter koncentracija uranina v slepih vzorcih

Izviri	Minimalna in maks. koncentr.uranina (mg/m ³)	Koncentracija uranina v slepih vzorc. (mg/m ³)	Število slepih vzorcev
Rižana–vodarna	0,004 – 0,018	<0,004 – 0,008	(6)
Osapska r.–Osp	0,005 – 0,022	<0,004	(1)
Ara – Mlini	0,004 – 0,009	<0,004	(3)
Pritok Bračane–Mlini	0,004 – 0,010	<0,004	(3)
Sv.Ivan–vodarna	0,004 – 0,010	<0,004	(2)
Opatija–Admiral	0,004 – 1,42	<0,004	(1)
Opatija–Kristal	0,004 – 1,83	<0,004	(1)
Medveja–kamp	0,005 – 0,018	<0,004	(1)

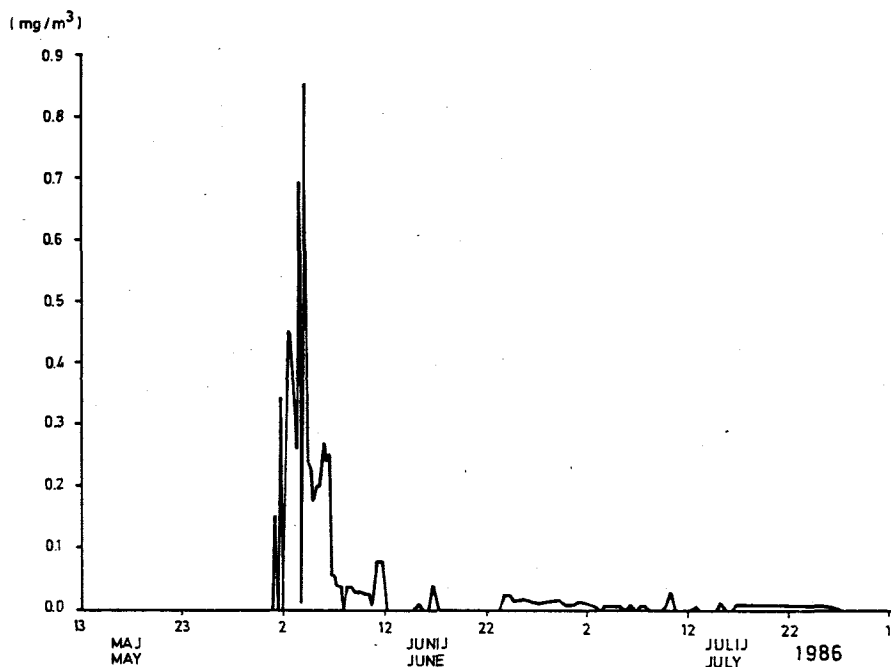
Visoke koncentracije uranina, ki smo jih izmerili v izviri ob kvarnerski obali izvirajo iz sledilnega poskusa, ki je bil istočasno izveden na področju Veprinca nad Opatijo. V izviru Rižane je uranin prisoten skoraj v vseh vzorcih, tudi slepih.

Maksimalne izmerjene koncentracije, razen na Rižani, so razmeroma nizke ter se pojavljajo nekontinuirano. Zaradi tega je težko z gotovostjo trditi, da izvirajo iz inžicirnih mest. Vendar pa z ozirom na sovpadanje pojavov sledil in padavin obstoja možnost povezave ob višjih vodah. Zaradi ponavljajočih se sledilnih poskusov na tem območju je prav občasno pojavljanje sledil v manjših koncentracijah lahko posledica prelivanja podzemnih voda ob višjih vodnih stanjih izven direktni povezav. Te manjše koncentracije barvil so lahko tudi ostanki prejšnjih sledilnih poskusov. Še najbolj prepričljiv je pojav uranina v izviru Osapske reke, kjer se je barvilo prvič pojavilo po 511 urah in doseglo maksimalno koncentracijo 1,83 mg/m³ po 577 urah. Koncentracije so sicer nizke, vendar so se pojavljale zvezno, kar je razvidno iz krievlje časovnega poteka koncentracij (slika 6).

Barvilo rodamin se je v višjih koncentracijah, ki jih lahko smatramo kot dovolj visoke za dokaz podzemeljske vodne zveze s ponorom Jezerine pojavilo v izviri Rižane in Osapske reke. Barvilo se je v obeh izviri pojavilo šele po deževju konec maja in v začetku junija.

TABELA 2: Minimalne in maksimalne koncentracije rodamina ter koncentracija rodamina v slepih vzorcih

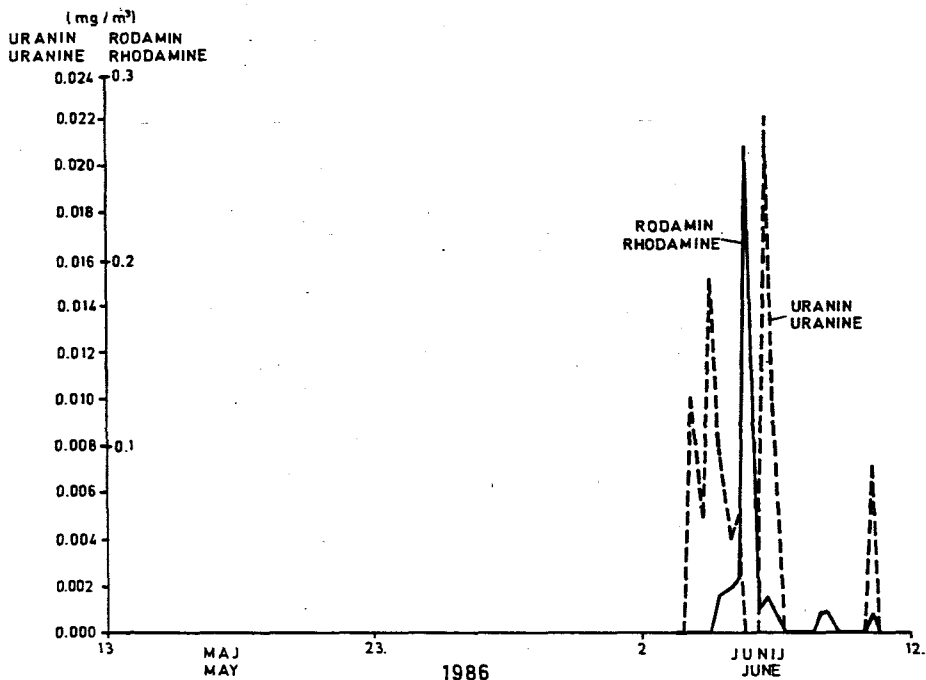
Izviri	Minimalna in maks. koncentr.rodamina (mg/m ³)	Koncentracija rodamina v slepih vzorc. (mg/m ³)	Število slepih vzorcev
Rižana–vodarna	0,008 – 0,850	<0,008	(4)
Osapska r.–Osp	0,010 – 0,260	<0,008	(1)
Ara – Mlini	0,008 – 0,010	<0,008	(3)
Pritok Bračane–Mlini	0,008 – 0,020	<0,008	(3)
Sv.Ivan–vodarna	0,008 – 0,030	<0,008	(3)
Opatija–Admiral	0,008 – 0,018	<0,008	(1)
Opatija–Kristal	0,008 – 0,010	<0,008	(1)
Medveja–kamp	0,008 – 0,020	<0,008	(1)



Sl.5 Krivulja koncentracij rodamina iz Jezerin v izviru Rižane

Fig.5 Concentration curve of rhodamine injected in Jezerina swallow-hole as appeared in Rižana spring

Krivulja je še posebno v izviru Rižane pulzirajoča in značilna za povezave, ki nastopijo ob prekoračitvi določenega nivoja vode v podzemlju (slika 5,6).



Sl.6 Časovni potek koncentracij uranina iz Malih Loč in rodamina iz Jezerine v Ospu

Fig.6 Concentration and temporal distribution of uranine from Male Loče and rhodamine from Jezerina as appeared in Osp

V ostalih izviri se je rodamin pojavil nezvezno in v nizkih koncentracijah. Za te pojave velja isto kot smo že povedali pri uraninu. Lahko so posledica ponavljajočih se sledilnih poskusov, zastajanja barvila v podzemlju in s tem razredčenja barvila. Pri sledilnem poskusu leta 1985 nismo ugotavljali tolikšnih pojavljanj rodamina in uranina v opazovanih izviri in lahko sklepamo, da izmerjene koncentracije ne izvirajo iz ozadja, temveč ta barvila izvirajo iz prejšnjih sledilnih poskusov.

Izračun količin povrnjenih sledil in hitrosti pretakanja

Izračun količine povrnjenega sledila smo izdelali za izvire, na katerih smo poleg analiz vzorcev določili tudi časovni potek pretokov: Rižana – v.p. Kubeč, Osapska reka – Osp ter pritok Bračane – Mlini.

V izviri Rižane se je 1. junija 1986 z gotovostjo pojavilo barvilo rodamin, injicirano v ponikalnico Pogoran – Jezerina. Do tega dne se sledilo v analiziranih vzorcih ne pojavlja niti v sledovih na meji detekcije, tako da je časovni potek koncentracij sledila jasno izražen. Sledilo

se je pojavilo po 440 urah in se je, ob upoštevanju prvega pojava, pretakalo s hitrostjo 35 m/h. Maksimalna koncentracija sledila je nastopila 515 ur po injiciranju, hitrost ob upoštevanju maksimalne koncentracije je 30 m/h. Od prvega pojava sledila do 7. junija je v izvir Rižane z vodnim valom pritekla glavina (1952 g) celotne količine povrnjenega barvila. Do zadnjega zajetega vzorca 30. julija 1986 znaša skupna količina povrnjenega injiciranega sledila rodamina 2129 g oziroma 10,6% v ponor injicirane količine.

Izračun količine povrnjenega barvila v izviru Rižane je narejen tudi za uranin, injiciran v ponor v Malih Ločah. Vendar pa ne moremo trditi, da so izmerjene koncentracije in izračunana količina povrnjenega sledila dokaz za povezavo med tem ponorom in izvirom Rižane. Uranin je v nižjih koncentracijah prisoten skoraj v vseh vzorcih Rižane. Zaradi visokega ozadja in nizkih maksimalnih koncentracij ni mogoče določiti časa prvega pojava sledila, injiciranega v Malih Ločah. Po izračunu količine povrnjenega barvila je do 1. junija povrnjenega 7,6 g barvila, do 12. junija pa zaradi visokih pretokov še 30 g. Do konca vzorčevanja izračunana količina povrnjenega barvila doseže 51,2 g. Predpostavljamo, da se v Malih Ločah injicirano barvilo uranin ne bi pojavilo veliko prej kot sledilo rodamin, injicirano v Jezerinah, ki so bližje izvirom Rižane. Zato lahko izračunano količino povrnjenega barvila, do 1. junija 7,6 g, od celotne izračunane količine 51,2 g odštejemo. Pri interpretaciji rezultatov smo zato upoštevali 43,6 g povrnjene količine uranina. V kolikor bi pri izračunu upoštevali za ozadje srednjo koncentracijo slepih vzorcev $0,006 \text{ mg/m}^3$ kot ničelno vrednost, bi dobili le 4 do 5 g povrnjenega sledila uranin v izviri Rižane.

V profilu Osapske reke v Ospu sta se obe fluorescenčni barvili pojavili v vodnem valu, ki je nastopil 3. junija 1986. Naravno ozadje obeh barvil v Osapski reki je pod mejo določljivosti, zato je kljub nizkim maksimalnim koncentracijam pojav obeh sledil v zaporednih vzorcih izrazit. Zato smatramo povezavo Osapske reke s ponori v Malih Ločah in Jezerinah za zelo verjetno.

Pojav rodamina je izrazitejši. Izmerili smo ga v 7 zaporednih vzorcih od 4. junija ob 20⁰⁰ do 6. junija 1986 ob 20³⁰ in je v tem času povrnjena količina rodamina 48,3 g. Do konca vzorčevanja oziroma aktivnosti izvira 11. junija pa je skupno povrnjenega 49 g rodamina oziroma 0,25% injicirane količine. Ob upoštevanju prvega pojava barvila (535 ur po injiciranju) je sledilo dotekalo v izvir s hitrostjo 32 m/h, oziroma ob upoštevanju maksimalne koncentracije (po 559 urah) je bila hitrost pretakanja 30 m/h.

Sledilo uranin se je v Osapski reki pojavilo že na začetku vodnega vala. Z ozirom na razdalje med ponori in izvirom je presenetljivo, da se je uranin v izviru pojavil pred rodaminom. Hitrost pretakanja uranina ob upoštevanju prvega pojava uranina (511,5 ur po injiciranju) je znašala 33 m/h. V prvih šestih pozitivnih vzorcih znaša količina povrnjenega uranina 14,5 g, do usahnjenja izvira 11. junija pa se je povrnilo skupno 16,7 g uranina oziroma 0,08% injicirane količine.

Količine povrnjenega barvila smo izračunali tudi za pritok Bračane v Mlinih, vendar so količine povrnjenih barvil tako uranina (1,029 g) kot rodamina (0,453 g) minimalne, oziroma 0,005% ter 0,002% injiciranih količin barvil. Najvišje koncentracije uranina ($0,01 \text{ mg/m}^3$) in

rodamina ($0,02 \text{ mg/m}^3$) so izmerjene še pred nastopom vodnega vala. Uranin in rodamin se pojavita v vzorcih prvič 264 ur po injiciranju in ker sta obe injicirni mesti od lokacije vzorčevanja enako oddaljeni sta tudi izračunani hitrosti pretakanja za obe barvili enaki – 67 m/h . V vzorcih izmerjene koncentracije rodamina v izviru Are so redke in zelo nizke. Najvišja koncentracija nastopi v vzorcu z dne 23. junija 1986 ob 7^{h} in doseže le $0,010 \text{ mg/m}^3$.

Na izviru Sv.Ivan v Buzetu se uranin prvič pojavi v sledovih v vzorcu, zajetem 246 ur po injiciranju. Izračunana hitrost pretakanja znaša 76 m/h . Le nekaj nižja hitrost 72 m/h je izračunana za rodamin, ki se je pojavil po 258 urah.

Za izvire, vzorčevane v Kvarnerskem zalivu, izračunov hitrosti nismo delali, saj izmerjene koncentracije uranina niso primerljive, koncentracije rodamina pa so redke in nizke. Zvezno nastopajo koncentracije rodamina le v izviru pod hotelom Admiral v vzorcih od 8. junija do zaključka vzorčevanja 24. julija 1986.

Izkoristek bakteriofagov oziroma količino povrnjenega sledila smo izračunali po naslednji formuli:

$$\text{izkoristek} = M_2/M_1 \times 100$$

pri čemer pomeni:

M_1 – količina injiciranega bakteriofaga v pfe

M_2 – količina povrnjenega bakteriofaga v pfe

$$M_2 = \sum_{i=1}^n c_i \times Q_i \times (t_i - t_{i-1})$$

pri čemer pomeni:

c_i – koncentracija fagov v vzorcu i

Q_i – pretok v času jemanja vzorca i

T_i – čas, ki je potekel od injiciranja do zajetja vzorca i

Pri sledenju ponikalnic pri Hotični smo za izvir Rižane dobili izkoristek sledila 6,26%. Če upoštevamo faktor zmanjšanja količine bakteriofagov f_1 oziroma f_2 iz jamskega poskusa, znaša izkoristek sledila med 45,7 in 72,4% pri čemer moramo upoštevati, da so se fagi pojavili le v Rižani. Navidezna hitrost podzemeljskega pretoka od Hotične do izvira Rižane pa je znašala v času sledenja 26 m/h z ozirom na maksimum koncentracije.

Upoštevajoč vse tri lokacije, za katere smo izvedli račun, so količine povrnjenega rodamina sledeče:

Rižana	– 2129	g
Osapska reka	– 49	g
Mlini	– 0,45	g

S k u p n o – 2178,45 g (10,9% injicirane količine)

Pri skupni količini povrnjenega sledila uranina, smo za izvir Rižane upoštevali količino povrnjenega barvila od 1. junija 1986 do konca vzorčevanja:

Rižana	– 43,6 g
Osapska reka	– 16,7 g
Mlini	– 1,0 g

S k u p n o – 61,3 g (0,3% injicirane količine sledila)

Če odštejemo visoko ozadje za Rižano, preostane le 22,2 g uranina oziroma 0,1% injicirane količine.

Rezultati sledenja z gotovostjo dokazujejo le pripadnost območja Hotične in Jezerin izvirom Rižane. Povezava območja Jezerin in Malih Loč z izvirom Osapske reke je na podlagi podanih rezultatov zelo verjetna. Prisotnost sledila rodamin tako v izviri Rižane kot tudi Osapske reke dokazuje, da gre pri slednjem za visokovodni preliv iz podzemne akumulacije Rižane. Zato domnevamo, da se del voda z območja Malih Loč pretaka tudi v izvire Rižane. Samo na podlagi analiz in izračunane količine povrnjenega sledila uranina pa tega ne bi mogli trditi.

Hitrosti pretakanj od injiciranih mest proti izvirom Rižane in Osapske reke so praktično iste in ne presegajo 35 m/ h. Hitrosti pretakanj, izračunanih na podlagi prvih pojavov barvil v izviri v povodju Mirne so znatno višje in naj bi presegale 60 m/h. Na podlagi razdalj, višinskih razlik in splošnih značilnosti kraških sistemov je ta hitrost možna (P.Krivic in drugi, 1987). Na podlagi rezultatov sledilnega poskusa ne moremo trditi, da se vode z območja Brkinov pretakajo v povodje Mirne, te možnosti pa tudi ne moremo povsem izključiti. Isto velja za povezavo ponora na Jezerinah z izviri v Kvarnerskem zalivu, medtem ko za povezavo s ponorom v Malih Ločah ne moremo podati nobenih zaključkov zaradi sočasnega sledilnega poskusa z istim barvilom v Veprincu nad Opatijo.

Količine povrnjenih sledil so nizke. Razlog za to je lahko veliko razredčenje sledil, do katerega prihaja še posebej ob intenzivnih padavinah zaradi hudourniškega značaja nekaterih dotokov na Brkinih (Gabrski potok) ter zaostajanje sledil v prekatih podzemnega pretočnega sistema. Hitrosti in smeri pretakanja skozi tako obsežen podzemni sistem so tudi zelo odvisne od hidrološkega stanja in so težko primerljive ob različnih vodnih stanjih.

SLEDENJE V DANAH, RAČIŠKIH PONIKVAH IN MOVRAŽU

Injicirna mesta in določitev sledil

Prva lokacija injiciranja je bil ponor Račiške Dane pri Račicah (470 m n.m.) na jugovzhodnem obrobju Brkinov (slika 1). Ponor leži v nadaljevanju niza že raziskanih ponorov na južnem robu Brkinov. Vodotok, katerega zaledje se nahaja na flišnem območju Brkinov, ponika na koncu slepe doline v jami, ki se nahaja pod strmo steno v paleogenskih apnencih. Rezultati predhodnih sledilnih poskusov so nakazali, da voda z območja vzhodno od Obrova verjetno odteka pretežno v smeri proti Kvarnerju. Z ozirom na to, da je razdalja med tem ponorom in izviri Rižane največja, smo za ta ponor določili 20 kg uranina.

Drugo izbrano mesto za injiciranje je bil potok, ki ponika v Danah pri Vodicaх v Čičariji

(590 m n.m.). Potok priteče z dolomitnih pobočij in pri nižjem vodnem stanju ponikne že nad naseljem, pri višjem vodnem stanju pa v slepi dolini pod naseljem. Za ta ponor smo izbrali 15 kg rodamina. Kot tretje injicirno mesto je bil izbran ponor na Movraškem polju (170 m n.m.), kjer smo za sledenje uporabili bakteriofage.

Opazovani izviri in program vzorčevanja

Med sledilnim poskusom smo opazovali 10 izvirov, na katerih smo že pred injiciranjem jemali slepe vzorce. Ti izviri so bili isti kot pri predhodnem sledenju, poleg njih pa še izvir Sv.Stjepan (Bulaž) pri Istrskih Toplicah in posebej še izvir Sopot v Mlinih, poleg skupnega vzorca vode iz izvirov v Mlinih. Število slepih vzorcev (150) je bilo razmeroma veliko, vendar potrebno zaradi prejšnjih sledilnih poskusov, ki smo jih izvedli za ugotavljanje zaledja Rižane. V programu je bilo predvideno, da bo vzetih 900 vzorcev, analiziranih pa 700. Dejansko je bilo vzetih in analiziranih 1077 vzorcev.

Hidrometrične meritve

Zaradi omejenih finančnih sredstev je bil program hidrometričnih meritev tokrat zmanjšan na minimum. Pretoke smo izmerili le na 8 profilih in to na petih ponorih in treh izvirih. Med sledilnim poskusom so bili opazovani vodostaji na izvirih Osapske reke, Rižane (postaji hidrološke mreže) in pritoka Bračane.

Hidrološke razmere med sledilnimi poskusi v letih 1985, 1986 in 1987 so bile dokaj različne, kot je razvidno že iz izmerjenih pretokov na dan injiciranja sledil (tabela 3).

TABELA 3: Vodne množine na dan injiciranja sledil

Vodomerski profil (vodotok.lokacija)	ponor/izvir (p/i)	1985 (m ³ /s)	1986 (m ³ /s)	1987 (m ³ /s)
Ločica-Brezovica	p	0,125	0,032	0,233
Velika voda-Male Loče	p	0,013	0,019	0,228
Račiške ponikve	p	0,014	—	0,080
Rižana-VP Kubed	i	2,8	1,73	8,79
pritok Bračane-Mlini	i	0,150	0,064	0,814

Sledenje v letu 1987 je bilo izvedeno namenoma pri nekoliko višjem vodnem stanju, da se zagotovi zadosten pretok vode v podzemlje na slabo vodnatih ponorih v Danah in v Movražu. Glede na velike razdalje med ponori in izviri je bil za izid poskusa ugoden nastanek vodnega vala 7 dni po injiciranju. Hidrološke razmere so bile najbolj neugodne leta 1986, ko je konstantno dokaj nizko vodno stanje bilo ves čas od injiciranja do prvih pojavov sledil na izvirih. V letu 1985 je bilo hidrološko stanje ugodno, ker je porast vodnega stanja 2 dni po injiciranju pospešil pretok sledil skozi podzemlje (P. Krivic in drugi, 1987).

Izdatnosti izvirov ob obali Kvarnerja se redno ne meri. Podjetje "Vodoprivreda" Rijeka je vršilo meritve pretokov za izvira pri hotelih Admiral in Kristal le v sušnih poletnih obdobjih. Podajamo podatke za pretoke, merjene v letih 1985, 1986 in 1987.

TABELA 4: Izdatnosti izvirov v Opatiji v sušnih obdobjih (meritve "Vodoprivreda" Rijeka) v m³/s

Izvir/Datum	10/9–1985	25/7–1986	27/8–1986	21/9–1987
Hotel "Kristal"	0.408	0.413	0.609	0.739
Hotel "Admiral"	0.042	0.078	0.004	0.104

Na podlagi razpoložljivih podatkov predpostavljamo skupno izdatnost obeh izvirov v sušnih obdobjih cca 0,5 m³/s, po primerjavi s pretoki Rižane pa cca 0,9 m³/s v mesecu maju, cca 0,8 m³/s v juniju in cca 0,6 m³/s v juliju 1987. Verjetno so skupni podzemni pretoki v neposrednem zaledju Kvarnerja precej večji, ker v urbaniziranem okolju ni možno kartirati vseh izvirov, ponekod je otežkočeno meriti izdatnosti zaradi vpliva morja, nekaj sladke vode pa izteka pod morjem.

Injiciranje sledil

Sledila smo v izbrane ponore injicirali 6.maja 1987 ob 14. uri, ko je bila hidrološka situacija po padavinah 4. in 5. maja 1987 za injiciranje primerna, čeprav še vedno ne idealna. Pretok v izbranih ponorih je namreč zadosten za injiciranje le v obdobjih z izdatnejšimi padavinami. Obenem pa pretoki v izvirih ne smejo biti previsoki, ker so sicer razredčitve sledil prevelike. V ponor Račiške Dane smo injicirali 20 kg uranina Kemika ob pretoku vode v ponor 80 l/s.

V potok, ki teče skozi Dane pri Vodicaх v Čičariji smo injicirali 15 kg rodamina FB (BASF). Pretok vode v potoku je bil kljub dežju v prejšnjih dneh in rosenju v času sledenja nizek. Injicirali smo pod zajetjem za lokalni vodovod, zato je bil pretok vode v profilu pod umetnim vplivom porabnikov in je nihal za približno 1 l/s. Barvilo smo vlili v tolmun okoli 50 m gorvodno od cestnega mostu, kjer je bil pretok ocenjen na 5 l/s. Nizvodno od injicirnega mesta voda ponika in je bil okoli 20 m nizvodno izmerjen pretok 4 l/s. Potok je dokončno ponikal pod cestnim mostom.

Na tretjem injicirnem mestu, požiralniku na Movražu, smo injicirali bakteriofag P22H5. Požiralnik je bil v času injiciranja zalit, pretok merjen v kanalu nad zalitjem je znašal 10 l/s. V jezero blizu ponora smo zlili 16600 ml fagne juhe s skupnim titrom $8,3 \times 10^{14}$ pfe.

Rezultati analiz bakteriofagov

Iz dobljenih pozitivnih rezultatov z metodo agarskega preliva smo sestavili sledilne kri-

vulje, ki so predstavljene v diagramih. Iz podatkov smo izračunali tudi težišnico vala po naslednji formuli:

$$tg = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \times t_i}{\sum_{i=1}^n c_i}$$

pri kateri pomeni:

c_i – koncentracija fagov v vzorcu i

t_i – čas, ki je potekel od injiciranja do zajetja vzorca i

Ker smo imeli prejšnje leto precej majhno vrednost v količini povrnjenih bakteriofagov, smo tudi tokrat v vzorce vode injiciranega potoka, reke Rižane in ostalih izvirih dodali znane količine bakteriofaga in inkubirali v jamskem laboratoriju v temi pri temperaturi 14° C. Upadanje količine bakteriofagov v teh vzorcih smo spremljali od dneva injiciranja do konca vzorčevanja v vseh izvirih. Iz teh rezultatov smo izračunali faktor znižanja količine bakteriofagov s pomočjo regresijske krivulje.

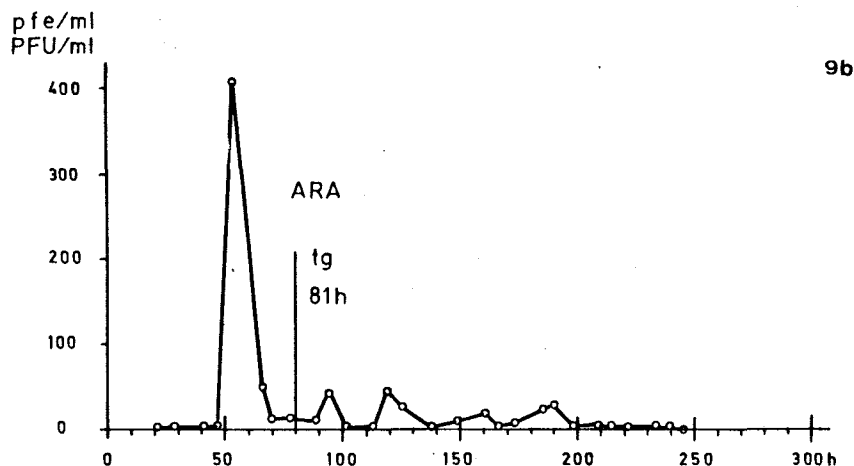
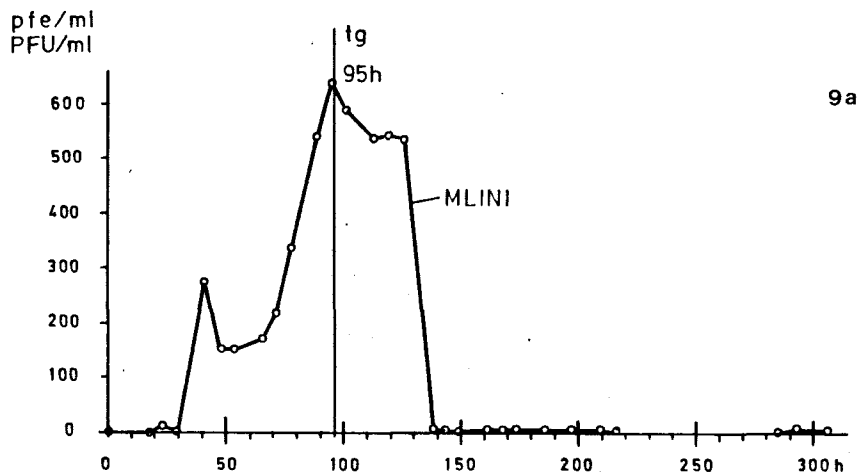
Z znano težišnico vala in faktorji zmanjšanja količine bakteriofagov v vzorcu smo izračunali po empirični formuli potrebno količino bakteriofagov, ki znaša $2,25 \times 10^{11}$ pfe. V sledilnem poskusu pa smo uporabili $8,3 \times 10^{14}$ pfe, kar pomeni, da je bila uporabljena količina sledila v presežku.

Z vzorčnega mesta Mlini smo obdelali vzorce, ki so bili jemani od maja do junija 1987 trikrat dnevno in sicer ob 8^h, 14^h in 20^h. Vzorci so bili obdelani z obema metodama: metodo agarskega preliava in MPN metodo. Prvi pozitivni rezultat smo dobili 7. maja 1987 ob 14^h, maksimalno koncentracijo 654 pfe/ml pa 10. maja 1987 ob 14^h. Sledilna krivulja je podana na sliki 9, kjer je tudi označena težišnica vala, ki znaša 94,6 ur. Delež vrnjene snovi, izračunan po zgoraj navedeni formuli, ne da bi upoštevali faktor znižanja števila bakteriofagov, je 3,4%, ob upoštevanju faktorja pa 5,3%.

Vzorce z vzorčnega mesta Ara smo obdelali za obdobje od 6. maja do 9. junija 1987. Vzorci so bili jemani trikrat dnevno in sicer ob 8^h, 13^h in 20^h. Vzorci so bili obdelani z metodo agarskega preliava in MPN metodo. Prvi pozitivni rezultat smo dobili 7. maja 1987 ob 20^h, maksimalno koncentracijo 416 pfe/ml pa 8. maja ob 20^h. Sledilna krivulja je prikazana na sliki 9. Težišnica vala znaša 80,8 ur.

Z vzorčnega mesta Sopot smo obdelali vzorce, ki so bili jemani od 6. maja do 9. junija 1987 po trikrat dnevno. Vzorce smo obdelali z obema metodama. Prvi pozitivni rezultat je bil 7. maja 1987 ob 13^h, maksimalno koncentracijo 32,4 pfe/ml pa smo ugotovili 14. maja ob 8^h. Na sliki 9 je podana sledilna krivulja. Težišnica vala znaša 145 ur.

Iz izvira Bulaž smo analizirali od 6. maja do 9. junija 1987 po en vzorec dnevno. Vzorci so bili jemani ob različnih urah, vsak dan v drugem delu dneva. Obdelali smo jih z obema metodama. Prvi pozitivni rezultat smo dobili 12. maja ob 18^h, maksimalno koncentracijo 0,4 pfe/ml pa 14. maja ob 9^h. Zaradi izredno nizkih vrednosti, v glavnem pod mejo detekcije metode agarskega preliava, podajamo na sliki sledilno krivuljo, izdelano na osnovi podatkov



Sl.9 Časovni potek koncentracij bakteriofagov injektiranih v Movražu v nekaterih izviri v porečju Mirne

Fig.9 Concentration curves of bacteriophages injected in Movraž as appeared in some springs

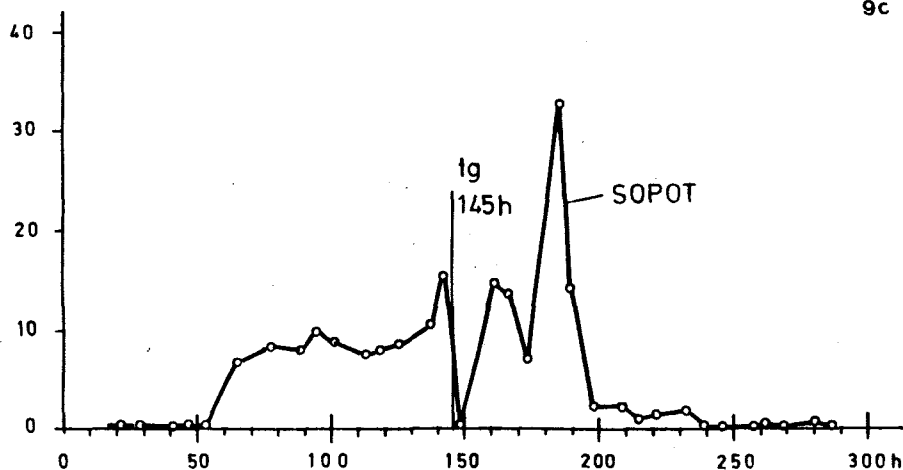
dobljenih z MPN metodo. Iz krivulje je dobljena težiščnica vala z vrednostjo 192,5 ur, izračunana prav tako na osnovi podatkov, dobljenih z MPN metodo.

Popolnoma negativni rezultati vzorčevanja so bili na izviri Sv.Ivan, Osapska reka in Rižana.

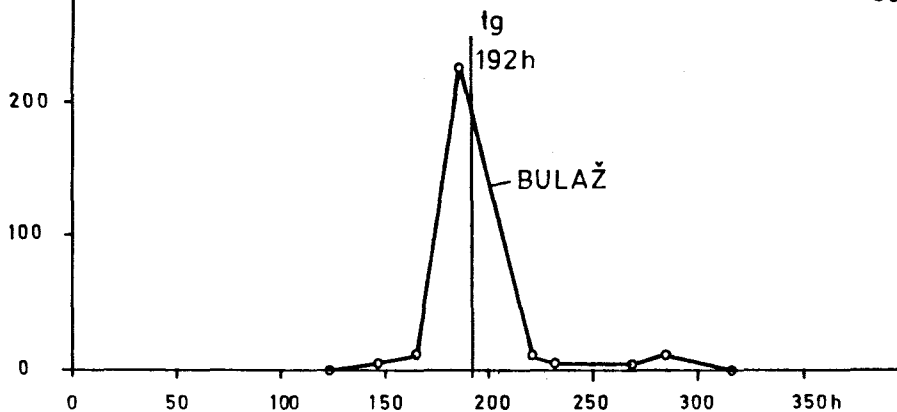
Z zgoraj navedenimi rezultati je bila dokazana zveza ponikalnice na Movraškem polju z izviri Ara, Sopot in Slapi v Mlinih in z izvirom Bulaž pri Istrskih Toplicah. Zaradi zelo nizke

pfe/ml
PFU/ml

9c

pfe/100ml
PFU/100ml

9d

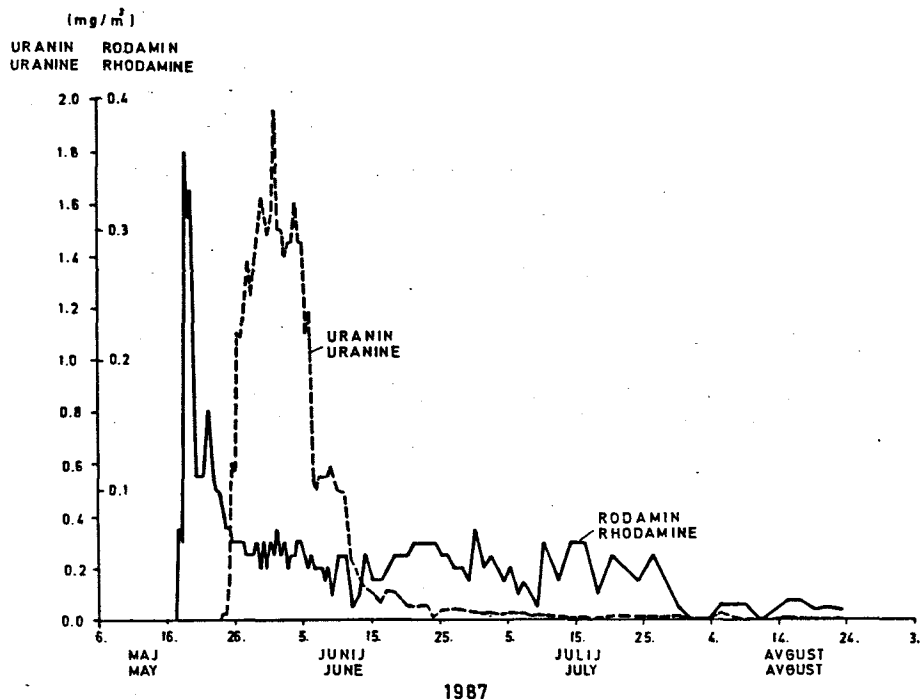


koncentracije bakteriofagov in časovnega zaostanka je možno, da se v tem izviru pojavlja tudi del vode Bračane in Mirne, ki tečeta v zaledju izvira Bulaž preko apnenčevih plasti in napajata podtalnico. Tako je možna, poleg podzemске povezave Movraškega polja z izvirom pri Istrskih Toplicah, tudi posredna povezava, preko izvirov v Mlinih in površinskega toka Bračane do izvira Sv.Stjepan (Bulaž). Z injiciranjem sledila direktno v potok Bračane in vzorčevanjem na Bulažu bi bilo možno to hipotezo tudi preveriti.

Rezultati analiz

Pri tokratnem sledilnem poskusu smo analizirali 150 slepih vzorcev. Signali na valovnih dolžinah, ki so značilni za fluorescenčna barvila, se občasno pojavljajo tudi v čistih vodah. Te signale povzročajo največkrat organske snovi, ki se v vodah pojavljajo kot produkt razpadanja rastlinskih in živalskih organizmov. Pri izviri, kjer so signali prisotni v tolikšnem številu slepih vzorcev, kot je to primer pri izviru Rižane in morda tudi pri izviru Sv.Ivan, je to najverjetneje znak, da je nekaj barvila ostalo v podzemlju še od sledilnih poskusov v letih 1985 in 1986.

V 1077 vzorcih, vzetih po injiciranju sledil, smo analizirali vsebnost fluorescenčnih barvil uranin in rodamin. Rezultati analiz so prikazani na slikah 7 in 8. Iz teh diagramov je razvidno, da sta se obe fluorescenčni barvili pojavili z značilnim časovnim potekom koncentracij v obeh izviri v Opatiji pod hoteloma Admiral in Kristal. Koncentracije in časi pojavov po injiciranju v teh dveh izviri so podani v tabelah 5 in 6.

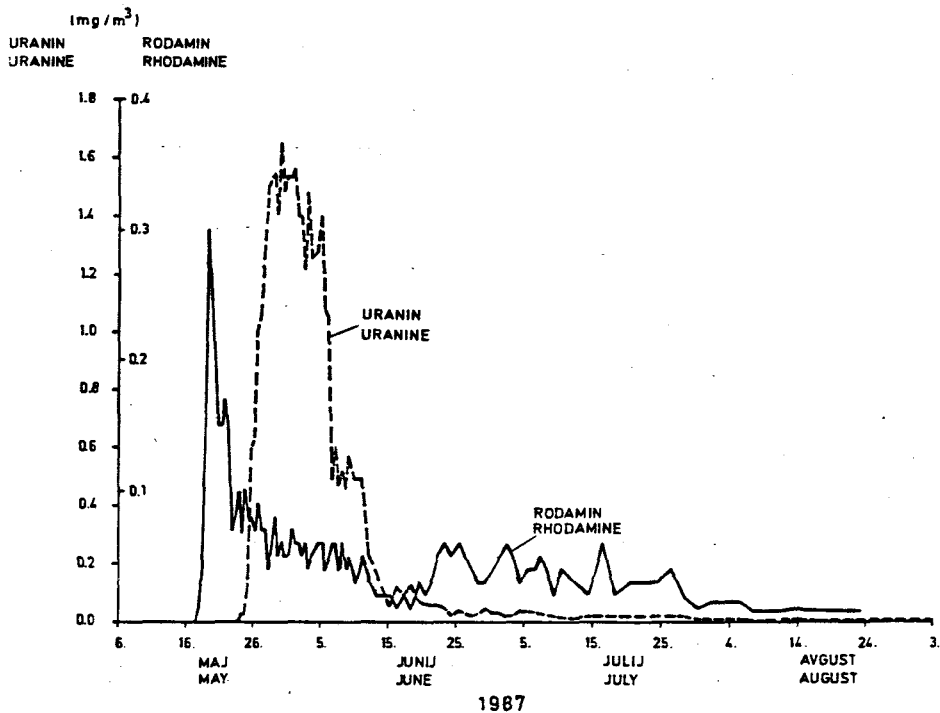


Sl.7 Koncentracija in časovni razpored uranina iz Račičkih ponikev in rodamina iz Dan v izviru pod hotelom Admiral v Opatiji

Fig.7 Concentration and temporal distribution of uranine from Račice swallow-hole and rhodamine from Dane as appeared in the spring under the hotel Admiral in Opatija

TABELA 5: Podatki o pojavu uranina v izviri v Opatiji

Izvir	Čas prvega pojava uranina (ure po injic.)	Konc.prvega pojava ura= nina (mg/m^3)	Čas pojava maks.konc. (ure po injec.)	Maksimalna konc. uranina (mg/m^3)
Admiral-Opatija	426	0.025	569/617	1,630/1,950
Kristal-Opatija	426	0.025	569	1,650



Sl.8 Koncentracija in časovni razpored sledil v izviru pod hotelom Kristal v Opatiji

Fig.8 Concentration and temporal distribution of dyes in the spring under the hotel Kristal in Opatija

TABELA 6: Podatki o pojavu rodamina v izviri v Opatiji

Izvir	Čas prvega pojava rodam. (ure po injic.)	Konc.prvega pojava roda= mina (mg/m^3)	Čas pojava maks.konc. (ure po injec.)	Maksimalna konc. rodam. (mg/m^3)
Admiral-Opatija	268,5	0.070	293/316,5	0,360/0,330
Kristal-Opatija	268,5	0,010	306	0,300

V diagramih (sliki 7, 8) za izvira pod hotelom Admiral in Kristal opazimo nihanje koncentracij barvil. To nihanje pripisujemo občasnemu vplivu morske vode na oba izvira v Opatiji ob plimi (razredčevenje). V ostalih opazovanih izvirih sta se rodamin in uranin pojavljala le občasno v sledovih na meji detekcije in v nizkih koncentracijah, enako tudi v slepih vzorcih.

Izračun količine povrnjenih sledil in hitrosti vodnih tokov

Izračun povrnjenih sledil smo naredili za 5 izvirov, za katere smo imeli podatke o pretokih, ne glede na izvor signalov na valovni dolžini, značilni za obe fluorescenčni barvili (prejšnji sledilni poskus, ozadje). Pretoki za izvire v Opatiji (hotela Admiral in Kristal) so bili ocenjeni na podlagi razpoložljivih podatkov. Količina povrnjenih sledil je podana v Tabeli 7.

TABELA 7: Količina povrnjenih sledil v izvirih

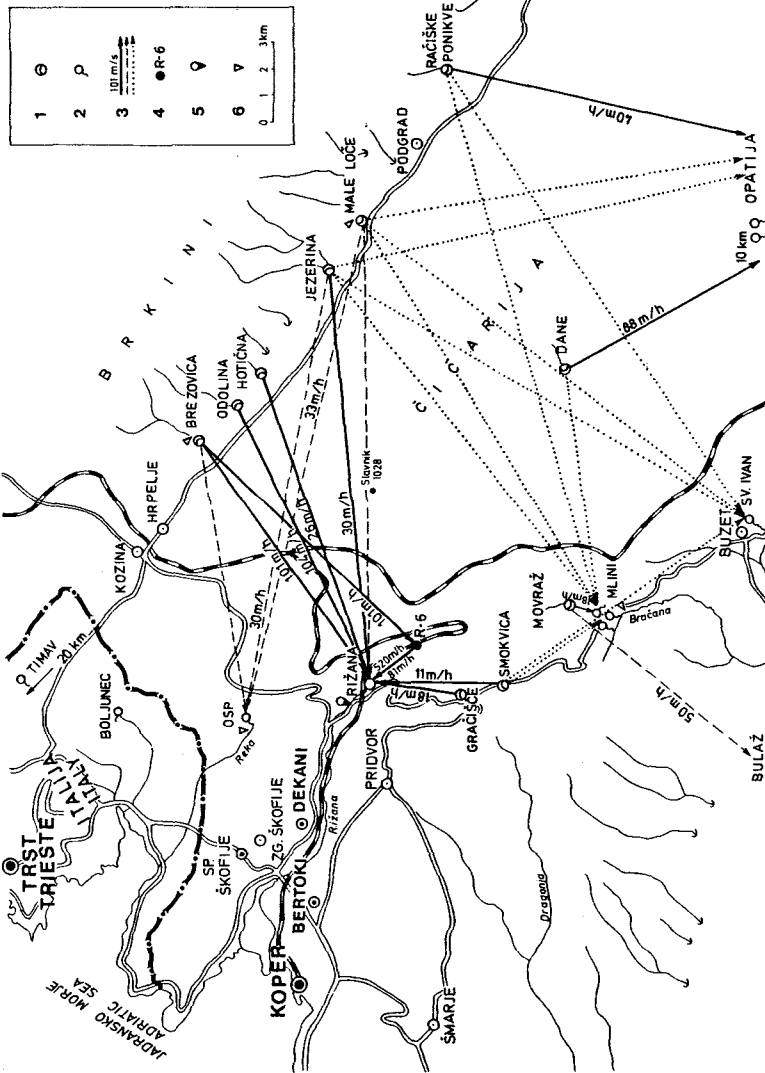
Izvir	Uranin	Rodamin
	g	g
Rižana – vodarna	71	10
Osapska reka – Osp	12	0
Pritok Bračane–Mlini	0,2	0,4
Hotel Admiral–Opatija	307	54
Hotel Kristal–Opatija	1124	202

Po naši interpretaciji je barvilo, ki se je pojavilo v izviru Rižane, Osapske reke in Mlinih, ostanek sledil, injiciranih v letih 1985 in 1986 in morda tudi tokratnega sledilnega poskusa kot posledice manjšega prelivanja vode iz glavnih podzemnih kanalov. Količina povrnjenih sledil je torej v vzorčevanih izvirih le 1,4 kg uranina in 0,26 kg rodamina, kar je 7% injicirane količine uranina in 1,7% injicirane količine rodamina. Količina povrnjenih sledil je zelo majhna, kar pripisujemo dvema dejstvom:

a) Vzorcevali smo le v treh izvirih na Kvarnerski obali. Podatki o izvirih in pretočnih količinah vode za to območje niso zanesljivi. Znani so močni podmorski izviri, za katere pa tudi ni podatkov o količinah. Zaradi močno omejenih finančnih sredstev teh raziskav ni bilo mogoče realizirati in smo se omejili le na najnujnejše vzorčevanje, še posebej, ker je bil program študijske naloge usmerjen na ugotavljanje zaledja izvirov Rižane. Ob Kvarnerski obali smo kot reprezentativne izbrali 3 izvire.

b) Različne odstotke obeh povrnjenih sledil si razlagamo z različnimi pogoji na injicirnih mestih. Pretok v potoku v Danah pri Vodicaх je bil zelo majhen (5 l/s), komaj še zadosten za injiciranje fluorescenčnega barvila. Pri tako majhnih pretokih obstoja velika verjetnost zastajanja barvila v podzemlju.

Navedene hitrosti podzemskih vodnih tokov z ozirom na prvi maksimum koncentracije so znašale, v času sledilnega poskusa z bakteriofagi, od 11 m/h od Movraža do izvira Sopot,



Sl.10 Opazovalna mreža in rezultati sledilnih poskusov v zaledju izvira Rižane

1 - obarvan požiralnik, 2 - opazovani izvir, 3 - ugotovljena smer in navidezna hitrost podzemne vode (glavna, stranska in nezanesljiva povezava), 4 - opazovana vrtna, 5 - vodometna postaja z limnigrafom, 6 - vodometrični profil

Fig.10 Topographic map showing the observation network of the Rižana catchment area and results of dye-tracing

1 - swallet of traced sinking stream, 2 - dye monitoring spring, 3 - direction and rate of ground water flow as determined by tracing (main, secondary, uncertain) 4 - well sampled for tracers, 5 - river gauging station with autographic recorder, 6 - river gauging station

18 m/h do izvira Ara, 25 m/h do Mlinov in kar 50 m/h do izvira Bulaž pri Istrskih Toplicah. Navidezna hitrost, ki je bila ugotovljena z uraninom od Račiških ponikev do izvirov v Opatiji znaša 40 m/h in hitrost, ki je bila ugotovljena z rodaminom med Danami pri Vodicah in Opatiji znaša kar 88 m/h (slika 10).

VARSTVENA OBMOČJA ZA ZAŠČITO KVALITETE VODE IZVIRA RIŽANE

Varstvena območja izvira Rižane so bila določena na osnovi rezultatov treh faz raziskav. Predhodno so bile izvršene raziskave, sledilni poizkusi, ugotavljanje smeri toka podtalnice in časa zadrževanja podzemne vode v podzemlju na območju znotraj površinske razvodnice Rižane. To je dolina Rižane z vsemi površinskimi pritoki nad izvirom Rižane in vsa pobočja, ki površinsko gravitirajo proti izviru Rižane. Izvršenih je bilo 15 sledilnih poskusov, večinoma z uporabo Na – fluoresceina, nekaj pa tudi s soljo (NaCl). Sledila so bila injektirana v različne piezometrične vrtine, ki so razporejene po dolini Rižane od izvira pa vse do Hrastovelj in Dola. Opazovanja in vzorčevanja so potekala na izviru Rižane, v vodarni Rižana in občasno v vodnjakih R–6, R–7, R–8, R–3 in R–5 (slika 11).

V okviru prve faze pa je bil izvršen velik kombiniran sledilni poskus z istočasnimi obarvanjem štirih ponikalnic s štirimi različnimi sledili z namenom, da se ugotovi vsaj del vodozbirnega zaledja izvira Rižane na področju Matarskega podolja, Gračišča in Smokvice. Vzorčevanja so potekala od Kvarnerskega zaliva, hrvaškega dela Istre, Rižane do izvirov ob Tržaškem zalivu v Italiji. Tako je bilo ugotovljeno padavinsko zaledje izvira Rižane s 183 km² površine, od katerega je odpadlo na najožji varstveni pas 2,5 km², na ožji varstveni pas pa 43,7 km², na širši varstveni pas 110,8 km² in na vplivni varstveni pas 26 km².

V drugi fazi sledilnih poskusov so bile obarvane ponikalnice v Malih Ločah, Jezerini in Hotični. Vzorci pa so bili redno jemani v Ospu, Rižani, Buzetu, Mlinih in treh izvirih v Kvarnerskem zalivu. Dokazana je bila pripadnost področja od Hotične do Jezerine izviru Rižane. Del vode, ki ponika v Malih Ločah, se tudi pretaka proti izviru Rižane, del vode pa verjetno v izvire ob Kvarnerskem zalivu in v povodje Mirne. Glede na rezultate sledenja tudi izvir Osapske reke pripada zaledju Rižane in predstavlja visokovodni preliv voda iz zaledja Rižane.

Z zadnjimi sledilnimi poskusi, ki so bili izvedeni s tremi različnimi sledili v Račiških ponikvah, Movražu in Danah pri Vodicah pa je bila določena meja padavinskega zaledja Rižane na vzhodnem in jugovzhodnem delu, saj se vode iz teh ponikalnic niso več pojavile v izviru Rižane, pač pa iz Račiških ponikev in Dan v dveh izvirih pri Opatiji, iz Movraža pa v izvirih pri Mlinih in Bulažu pri Istrskih Toplicah (slika 10). S tem so bile določene meje varstvenih pasov, kot smo jih predvideli v letu 1986 in odpadle so vse nejasnosti glede meja padavinskega zaledja Rižane na vzhodnem in jugovzhodnem delu. Površina celotnega padavinskega zaledja znaša 237 km². Od tega na najožji varstveni pas 2 km² (cona 1.a in 1.b), na ožji varstveni pas 90 km², na širši varstveni pas 120 km² in na vplivni varstveni pas 25 km² (slika 12).

Prva verzija varstvenih pasov Rižane je bila določena na osnovi sledenj, opravljenih v

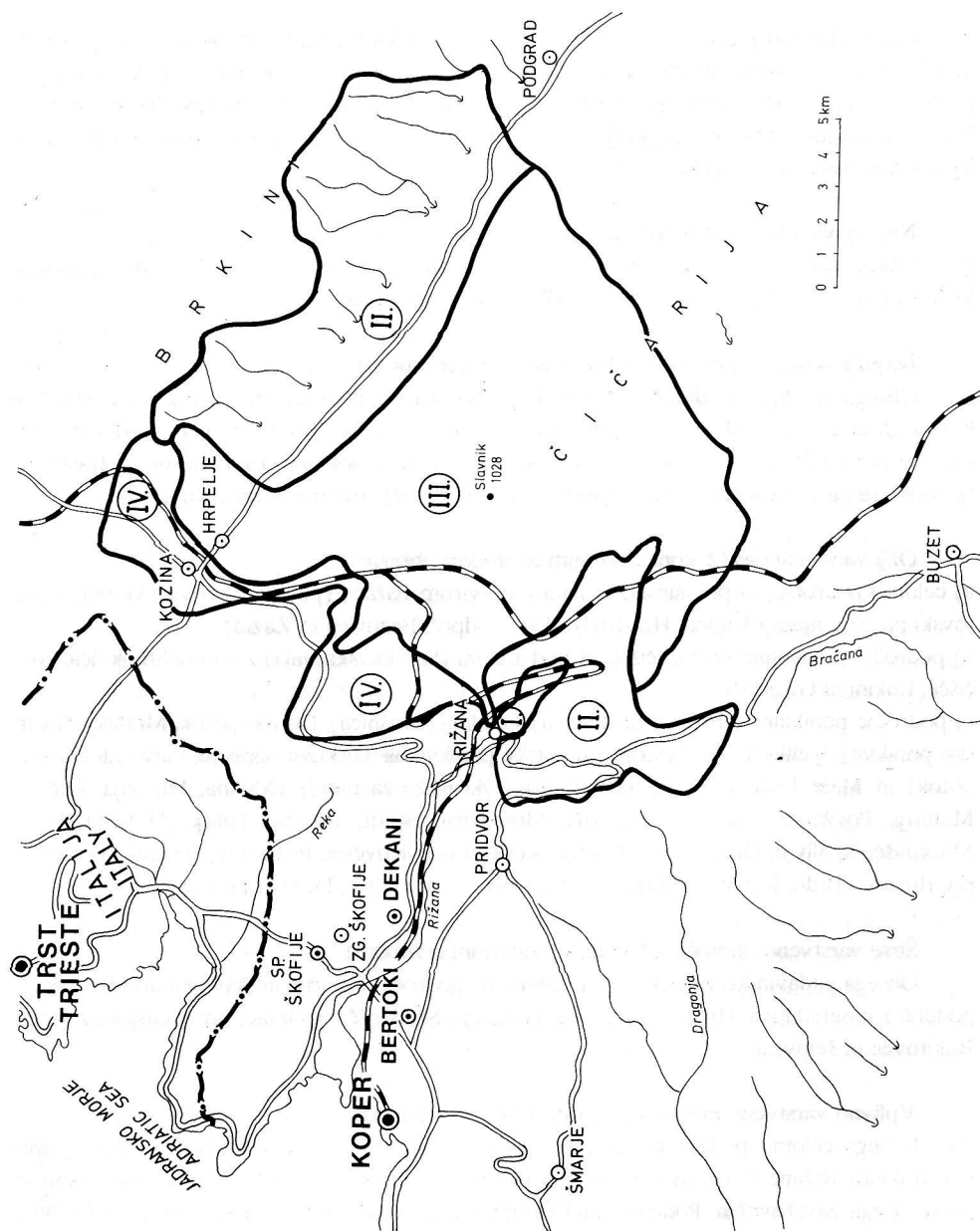


Sl.11 Injiciranje uranina v vrtino v zaledju izvira Rižane

Fig.11 Injection of uranine dye in borehole in the Rižana spring catchment area

letu 1985 (P.Krivic, 1985). Sledilni poskusi, opravljeni v letu 1986 so seveda prinesli nova spoznanja o padavinskem zaledju izvira Rižane, zato je bilo treba prvotni predlog dopolniti (P.Krivic, 1986). Končno verzijo varstvenih pasov izvira Rižane pa podajamo po zaključku tretje faze sledilnih poskusov, ki je prinesla manjše spremembe meja varstvenih pasov na vzhodnem in jugovzhodnem območju zaledja izvira Rižane.

Na osnovi predhodno izvršenih raziskav so bili določeni varstveni pasovi in območja izvira Rižane. Za določitev varstvenih pasov so bili uporabljeni kriteriji po metodologiji za



Sl.12 Varstveni pasovi izvira Rižane

Fig.12 Ground water quality protection areas of the Rižana spring

določitev varstvenih pasov v karbonatnih kamninah za kraške vodonosnike (P.Krivic in drugi, 1987). Meja med širšim in vplivnim varstvenim območjem ločuje območje, ki zanesljivo pripada padavinskemu zaledju izvira Rižane, od območja, katerega pripadnost Rižani je manj verjetna. Zaradi pomanjkanja ponikalnic na teh višje ležečih terenih pripadnosti tudi ni mogoče dokazati s sledilnimi poskusi.

Najožji varstveni pas (cona 1.a z najstrožjim režimom)

Obsega področje samega izvira Rižane in zajetja Rižanskega vodovoda s cerkvico Sv.Marije ter območje črpališča Tonaži. Območje je ograjeno.

Najožji varstveni pas (cona 1.b z najstrožjim režimom)

Obsega spodnji del doline Hrastovskega potoka do Podračja in spodnji del doline Rakovca, zaselek Zanigrad in ozemlje do Jerebine (Kovk), kote 350 in Brgada (416). Območje dvakrat prečka železniška proga Divača – Koper, prečka ga lokalna cesta Rižana – Hrastovlje in dotika se ga cesta Koper – Buzet, kar zahteva najstrožje ukrepe zavarovanja.

Ožji varstveni pas (2. cona s strogim režimom) obsega:

- a) celotno področje, ki površinsko gravitira k izvirom Rižane (potoki Rakovec, Gaber, Hrastovski potok z naselji Kubeč, Hrastovlje, Dol, Podpeč, Bezovica in Zazid).
- b) področje ponikalnic pri Gračišču in pod Lukini (Smokavska vala) z naselji Smokvica, Gračišče, Lukini in Galantiči.
- c) področje ponikalnice Brezovica (Ločica), Odolina (Brašnica), Hotiški potok, Mrzlice (Slivarske ponikve), Velike Loče, Jezerina (Javorske ponikve ali Torkove ponikve, Perilo ali Gabrški potok) in Male Loče (Velika voda, Oslica, Okruglik) za naselji Odolina, Materija, Bač pri Materiji, Povžane, Gradiščica, Artviže, Brezovica, Britof, Rožice, Tublje, Hotična, Mrše, Markovščina, Slivje, Orehek pri Materiji, Velike Loče, Kovčice, Ritomeče, Gradišče pri Materiji, Brezovo Brdo, Rjavče, Gabrk, Javorje, Obrov, Male Loče, Huje in Hrušica.

Širše varstveno območje (3. cona s sanitarnim režimom)

Obsega padavinsko zaledje izvira Rižane na področju Čičarije in Slavnika do Matarskega podolja z naselji Slope, Hrpelje, Praproče, Podgorje, Skadanščina, Golac, Brdo, Gojaki, Zagrad, Rakitovec in Jelovica.

Vplivno varstveno območje (4. cona z blagim režimom)

Obsega celotno padavinsko zaledje izvira Rižane; predvsem področja, za katera pripadnosti izviru Rižane ni mogoče z gotovostjo dokazati, in ki niso obsežena že v ostalih območjih strožjega zavarovanja. Področje nad Črnim Kalom z naselji Črnotiče, Petrinje in Prešnica ter okolica Kozine z naselji Brgod, Kozina in Rodik.

ZAKLJUČEK

V aprilu in maju 1986 so bila izvedena pripravljala dela za kombinirani sledilni poskus v zaledju izvira Rižane in Osapske reke. Dne 13. maja 1986 ob 13^h smo obarvali potok pri Hotični z bakteriofagi, potok Jezerina z okrog 20 kg rodamina in potok v Malih Ločah z 20 kg uranina. Vzorcevanje v Ospu, Rižani, Buzetu, Mlinih in treh izvirih v Kvarnerskem zalivu je potekalo do konca julija 1986. Po 18,5 dneh se je na izviru Rižane pojavilo sledilo iz Hotične, po 19 dneh pa iz Jezerine. Barvila iz Malih Loč nismo zasledili v večji koncentraciji, ki bi nedvomno dokazovala zvezo ponora z izvirom. Tako je bila dokazana pripadnost področja od Hotične do Jezerine izviru Rižane. Del voda, ki ponikajo pri Malih Ločah se pretaka proti izviru Rižane, del voda pa verjetno tudi v izvire ob Kvarnerskem zalivu in v povodje Mirne. Glede na rezultate sledenja tudi izvir Osapske reke pripada zaledju Rižane in predstavlja visokovodni preliv voda iz zaledja Rižane. Majhne količine povrnjenih sledil kažejo, da gre za obsežen in zapleten podzemni kraški sistem.

Druge tri ponikalnice so bile obarvane 6. maja 1987 s tremi različnimi sledili in sicer: Račiške ponikve vzhodno od Podgrada z 20 kg uranina, Dane pri Vodicah s 15 kg rodamina in požiralnik med Movražem in Dvori s 16600 ml bakteriofagov s skupnim titrom $8,3 \times 10^{14}$ pfe. Opazovani so bili izviri od Ospa, Rižane, izvirov v dolini Mirne in njenega pritoka Bračane do izvirov v Kvarnerskem zalivu. Barvili rodamin in uranin sta se pojavili le v 22 km, oziroma 26 km oddaljenih izvirih pri Opatiji, bakteriofagi pa v le 1 km oddaljenih Mlinih in v 9,5 km oddaljenem izviru Bulaž pri Istrskih Toplicah. Nobeno od uporabljenih sledil pa se ni pojavilo na izviru Rižane.

S sledilnimi poskusi, opravljenimi na teh treh ponikalnicah so bile določene razvodnice med porečjem Rižane ter Kvarnerskim zalivom na vzhodnem in porečjem Mirne na južnem obrobju, tako da znaša celotno padavinsko zaledje izvira Rižane 237 km². Od tega odpade na najožji varstveni pas 2 km², na ožji varstveni pas 90 km², na širši varstveni pas 120 km² in na vplivni varstveni pas 25 km².

Poleg padavinskega zaledja podzemske akumulacije Rižane smo, zlasti s sledilnimi poskusi na vzhodnem delu Brkinov in v Čičariji, uspeli razjasniti tudi dobršen del podzemnih vodnih zvez v osrednjem delu Istre. Odprto je ostalo le še vprašanje razvodnice med izvirom Bulaž pri Istrskih Toplicah, katerega je pred kratkim zajel Istrski vodovod iz Buzeta in izviri Bužini in Gabrijeli, ki jih že vrsto let izkorišča Rižanski vodovod iz Kopra. Zato predvidevamo nadaljevanje raziskav s sledilnimi poskusi prav na tem področju.

VIRI IN LITERATURA

- Behrens, H., 1973: Eine verbesserte Nachweismethode für Fluoreszenzindikatoren und ihre Anwendung zur Feststellung von Fließwegen im Grundwasser. Zeit.Deutsch. Geol. Ges., 124, 535-544, Hannover
- Božičević, S., V. Goatti, 1987: Ekonomičnije rješavanje vodozahvata u špiljskom prostoru. 9. jugosl. simp. hidrogeol. inž. geol., 47-52, Priština

- Čadež, N., 1963: Barvanje in poizkus z raziskovalno metodo s trosi v Brkinih leta 1963. Arhiv HMZ, Ljubljana
- Gratia, A., 1936: Les relations numériques entre bactéries lysogènes et particules de bacteriophages. Ann. Inst. Pasteur, 57, 652-676, Paris
- Kinnunen, K., 1978: Tracing water movement by means of Escherichia coli bacteriophages. Publication of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland, Helsinki
- Kott, Y., 1966: Estimation of low numbers of Escherichia coli bacteriophages by use the most probable number method. Appl. Microbiol., 14, 141-144
- Krivic, P., 1975: Poročilo o hidrogeoloških raziskavah za določitev varstvenih pasov izvira Rižane. Arhiv GZL, 1-8, Ljubljana
- Krivic, P., 1986: Podzemna voda v Slovenskem Primorju. Arhiv GZL, 1-33, Ljubljana
- Krivic, P., M. Bricelj, N. Trišić, M. Zupan, 1987: Sledenje podzemnih vod v zaledju izvira Rižane. Acta carsologica, 16, 83-104, Ljubljana
- Magdalenic, A., O. Bonacci, V. Jurak, 1987: Sliv izvora Bulaž u središnjoj Istri. Krš Jugoslavije, 12, 1-26, Zagreb
- Pleničar, M., A. Polšak, D. Šikić, 1969: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 - list Trst (OGK), Zvezni geološki zavod, Beograd
- Primrose, S., N.D. Seeley, B. Logan, 1982: Methods for the study of Virus ecology, in Experimental Ecology. Edited by Richard G. Burns and J. Howard Slater, Blackwell Scientific Publications
- Seeley, N.D., S.B. Primrose, 1982: The isolation of Bacteriophages from environment. Journal of Applied Bacteriology, 53, 1-17
- Smith, H.O., M. Levine, 1967: A phage P22 gene controlling integration of phage. Virology, 31, 207-216
- Swaroop, S., 1938: Numerical estimation of E. coli by dilution method. Indian J. Med. Res., 26, 353
- Šikić, D., M. Pleničar, N. Šparica, 1972: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 - list Ilirska Bistrica (OGK), Zvezni geološki zavod, Beograd
- Timeus, G., 1910: Studi in relazione al provvedimento d'acqua per la città di Trieste. 1-82, Trieste
- Timeus, G., 1928: Nei misteri del mondo sotterraneo. Alpi Giulie, 29, 1-38, Trieste
- Verne, J., 1886: Mathias Sandorf. 1-501, Paris

UNDERGROUND WATER CONNECTIONS IN ČIČARIJA REGION AND IN MIDDLE ISTRIA

Summary

Since the year 1885, when famous writer Jules Verne described first tracing test done in swallow-hole of Fojba river near Pazin in Istria a lot of dye-tracings were performed in this region. The very investigations started in the year 1910 when G. Timeus proved by 50 kg of uranine dye the connection between the Brašnica sinking river at Odolina and the spring of Rižana.

On the 13th of May in the year 1986 three sinking brooks at the Matarsko podolje in the S part of the Brkini Mts. were traced at the same time by three different tracers.

20 kg of Uranin has been injected into the swallet of sinking river Velika voda at Male Loče. At Jezerina tracing with 20 kg of rhodamine has been achieved, while the injection of bacteriophage tracer P22H5 was performed with 17.550 ml of phage broth with titer of 4×10^{14} P.F.U. in Hotična.

Bacteriophages and rhodamine appeared at Rižana spring 18,5 and 19 days after the injection, with the apparent velocity of water flow about 26 and 30 m/h respectively. Rhodamine and uranine appeared also at the temporary spring Osp with the velocities of 30 and 33 m/h. As calculated, the 10,6 % of injected rhodamine and 46% of bacteriophages reappeared at the Rižana spring. But only 0.25 % of rhodamine and even only 0,08 % of total injected quantity of uranine reappeared at Osp.

Three different tracers were injected also at the same time in three different swallow-holes, selected for this experiment on the 6th May 1987. Two of them are in the Čičarija region (Dane and Movraž) and one on the foothills of the Brkini Mts (Račice), where 20 kg of uranine dye has been used. 15 kg of rhodamine has been injected in Dane and 16.600 ml of phage broth with titer of $8,3 \times 10^{14}$ P.F.U. in Movraž sinkholes. Samples were collected in both years from the springs Rižana and Osp, from the springs Sopot, Ara, Sušec, Bulaž and Sv. Ivan in the Mirna valley and from the springs under the hotels Admiral and Kristal in Opatija and from Medveja on the rim of Kvarner Bay of the Adriatic Sea in Croatia. Uranine (7 % of the injected quantity) and rhodamine (1,7 %) were detected in the Opatija springs only, with apparent velocities of the ground water flow of 40 and 88 m/h respectively. Phages reappeared at Mlini springs (5,3 %) and in Bulaž spring in Mirna valley with the velocities of about 18 m/h and 50 m/h.

The final established precipitation recharge area of the Rižana spring amounts to 237 sq. km, of which the most narrow ground water quality protection area comprises 2 sq. km, the narrow protection area 90 sq. km, the broader protection area 120 sq. km and the influence protection area 25 sq. km. The results of investigations are very important for Karst water resources protection.