

11-26-1987

Acta carsologica, Volume 16, November 26, 1987

Peter Habič

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Follow this and additional works at: https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles

Recommended Citation

Habič, Peter, "Acta carsologica, Volume 16, November 26, 1987" (1987). *KIP Articles*. 67.
https://digitalcommons.usf.edu/kip_articles/67

This Article is brought to you for free and open access by the KIP Research Publications at Digital Commons @ University of South Florida. It has been accepted for inclusion in KIP Articles by an authorized administrator of Digital Commons @ University of South Florida. For more information, please contact digitalcommons@usf.edu.

SLOVENSKA AKADEMIJA ZNANOSTI IN UMETNOSTI
ACADEMIA SCIENTIARUM ET ARTIUM SLOVENICA

RAZRED ZA NARAVOSLOVNE VEDE
CLASSIS IV: HISTORIA NATURALIS

ZNANSTVENORAZISKOVALNI CENTER SAZU
INŠTITUT ZA RAZISKOVANJE KRASA * INSTITUTUM CARSOLOGICUM

ACTA CARSOLOGICA

KRASOSLOVNI ZBORNIK

XVI
1987



LJUBLJANA
1987

SPREJETO NA SEJI
RAZREDA ZA NARAVOSLOVNE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 19. 11. 1987
IN NA SEJI PREDSEDSTVA
DNE 26. 11. 1987

UREDNIŠKI ODBOR
JOŽE BOLE, IVAN GAMS, MARIO PLENIČAR, RADO GOSPODARIČ,
PETER HABIČ

UREDILA
PETER HABIČ IN RADO GOSPODARIČ

Zamenjava — Exchange:
Biblioteka SAZU
Novi trg, 5/1, 61001, P. P. 323, Jugoslavija

Tiskano s subvencijo Raziskovalne skupnosti Slovenije in
Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU

POSVEČENO
AKADEMIKU PROF. DR. SREČKU BRODARJU
1893—1987

Akademik prof. dr. Srečko Brodar

6. 5. 1893—4. 5. 1987

Ustanovitev in začetno delovanje Inštituta za raziskovanje krasa SAZU v Postojni je bilo tesno povezano z imenom akademika prof. dr. Srečka Brodarja.

Skupaj z akademiki dr. A. Melikom, dr. J. Hadžijem, dr. M. Kosom in dr. I. Rakovcem je namreč uspel premagati številne začetne prostorske, kadrovske in administrativne prepreke ter osnovati raziskovalno enoto v Postojni, na nacionalno zelo pomembnem in izpostavljenem območju krasa. Zavedal se je, da bo priključitev Primorske matični domovini potekala uspešneje, če bo pravočasno vzpostavljena in organizirana tudi raziskovalna dejavnost v teh krajih, če se bo uveljavilo znanje slovenskih raziskovalcev na klasičnem in matičnem krasu, kjer so dotlej prevladovali nemški in italijanski, dostikrat nacionalistično obarvani raziskovalni motivi.

Dr. Srečko Brodar pa se ni zadovoljil samo z organizacijskimi rešitvami, pač pa je (po smrti dr. A. Šerka 1948) prevzel tudi upravljanje inštituta ter izvajanje raziskovalnega dela, ki mu je bilo blizu. Z izkušnjami paleolitskih raziskav Potočke zijalke ter drugih kraških jam osrednje in vzhodne Slovenije je zastavil načrtna izkopavanja v jamah Pivške kotline, da bi našel ostanke pračloveka. Iz leta v leto je osebno vodil raziskave v Betalovem spodmolu, v Parski golobini, v Postojnski jami, v Jami v Lozi in Risovcu in odkrival obdelane kosti, artefakte in ostanke pepela ter kosti sesalcev, vse v raznovrstnih jamskih sedimentih. Geološko usklajevanje kulturnih in sterilnih plasti iz različnih jam mu je odkrivalo pogled v življenje in čas ledene dobe, v kvartarno zgodovino krasa. Spoznanja je sproti objavljaj v znanstvenih razpravah in poljudnoznanstvenih prispevkih.

V temeljnem delu »Prispevek k stratigrafiji kraških jam Pivške kotline, posebej Parske globine (Geografski vestnik, 24, 43—76, Ljubljana, 1952) je S. Brodar objavil hipotezo o razvoju jam ob Pivški kotlini v štirih časovnih fazah pleistocena. Z dokazi o prvotni erozijski izvotlitvi jam, o njihovem zasipavanju z naplavino fliša in delnem erodiranju tega zasipa ter o sklepni avtohtoni sedimentaciji je vnesel v krasoslovje in speleologijo moderno genetsko gledanje, ki je odločilno vplivalo na nadaljnja preučevanja našega krasa in jam. Svojo hipotezo je S. Brodar dopolnjeval z raziskovalnimi deli v Črnem kalu, Betalovem spodmolu in v Postojnskem jamskem sistemu. Z razčlenjevanjem jamskih sedimentov, z ugotovitvami njihovega sestava in porekla je sklepal na hidrološke in klimatske razmere pleisto-

censkih obdobj ter nam odkrival življenjsko okolje in način življenja pračloveka v ledeni dobi. Tako je ustvaril solidna izhodišča za raziskovanje speleogeneze kraških jam ter utemeljil študij kvartarja na našem krasu v smeri med seboj odvisnih prirodnih pojavov mrtve in žive sfere.

Zamisli in delo S. Brodarja se bo trajno odražalo na različnih področjih kvartarološke znanosti pri preučevanju naše kraške dežele, pri spoznavanju ledenodobnih procesov in pojavov, pri ugotavljanju oblik in načina življenja naših davnih predhodnikov. Generacije raziskovalcev bodo našle v njegovih, v izpiljenem jeziku sestavljenih delih, neizčrpne ideje in vzpodbude za nadaljnje preučevanje kvartarja, te najmlajše, a po prepletenosti problemov najbolj zahtevne geološke epohe.

Rado Gospodarič

The Academician prof. dr. Srečko Brodar

6. 5. 1893—4. 5. 1987

The foundation and initial work of the Institute for karst research SAZU in Postojna are tightly connected with the name of academician prof. dr. Srečko Brodar.

Together with the academicians dr. A. Melik, dr. J. Hadži, dr. M. Kos and dr. I. Rakovec he namely succeeded to surmount numerous initial obstacles connected to premises, workers and administration and to set up the research unit in Postojna, in nationally very important and exposed area of karst. He realized that the annexation of Littoral to mother country will be more successful if research activity would be set and organized in these places in due time, if the knowledge of slovene researchers on classical and central karst will be made valued, as german and italian, frequently nationalistically oriented research motives till now predominated there.

But dr. Srečko Brodar was not satisfied with organization solutions only, and (after dr. A. Šerko death in 1948) he has undertaken the head of the Institute and the achievement of research work connected to his profession. Experienced by paleolithic investigations of Potočka zijalka and other karst caves from central and eastern Slovenia he started with planned excavations in the caves of Pivka basin to find the remains of prehistoric man. From year to year he personally led the investigations in Betalov spodmol, in Parska golobina, in Postojnska jama, in Jama v Lozi and in Risovec, discovering bones, artefacts, ashes remains and mammals bones, all in different cave sediments. Geological coordination of cultural and sterile layers from different caves has revealed the view into life and into period of ice ages, into Quaternary karst history. All these cognitions were published in scientific treatises and popular-scientific contributions.

In this basic work »A contribution to the stratigraphy of karst caves of the basin of Pivka. The cave Parska golobina« (Geografski vestnik, 24, 43—76, Ljubljana 1942) S. Brodar published the hypothesis about the cave genesis in Pivka basin in four temporal phases of Pleistocene. By proving the former erosional caves excavation, their filling up with flysch deposits and their partial erosion and the final autochthonous sedimentation he introduced into karstology and speleology modern genetical point of view decisively influencing to further studies of our karst and caves. S. Brodar completed his hypothesis by research works in Črni kal, Betalov spodmol and in Postojna cave system. By detailed study of cave sediments, by statement of their composition and origin he inferred to hydrological and climatical changes in the Pleistocene period and revealed us the environment and way of life of the prehistoric man in the ice ages. Thus he created a solid starting point for investigations of speleogenesis

and grounded the Quaternary studies on our karst in the direction of inter-dependency of natural phenomena of dead and living sphere.

The ideas and the work of S. Brodar will permanently reflect on different branches of quaternary science while studying our karst land, on knowledge of glaciation processes and phenomena, on statement of forms and way of life of our ancient predecessors. The generations of researchers will find in his works, written in perfect language, inexhaustible ideas and stimulations for further studies of Quaternary, the youngest but the most complicated geological epoch.

Rado Gospodarič

VSEBINA — INDEX

<i>In memoriam: Akademik prof. dr. Srečko Brodar (1893—1987)</i>	5
The Academician prof. dr. Srečko Brodar	7
Ob 40-letnici Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU	11
At 40-anniversary of the Institute for karst research of the Scientific-research Center of the Slovene Academy of Art and Sciences	15
<i>Gospodarič, Rado</i>	
Speleogeološki podatki Taborske jame in njene okolice	19
Speleogeological data about Taborska jama and its vicinity	34
<i>Habič, Peter</i>	
Ponorna jama Golobina na Loškem polju	35
The ponor cave Golobina on Loško polje	49
<i>Šušteršič, France</i>	
Drobno kraško površje ob severovzhodnem obrobju Planinskega polja	51
The small scale surface karst and solution dolines at the northeastern border of Planinsko polje	76
<i>Krivic, Primož — Bricelj, Mihael — Trišič, Niko — Zupan, Martina</i>	
Sledenje podzemnih vod v zaledju izvira Rižane	83
Water tracing in the Rižana spring ground water basin	104
<i>Habič, Peter</i>	
Sledilni poskus na kraškem razvodju med Idrijco, Vipavo in Ljub-ljanico	105
Water tracing test on the karst watershed among Idrijca, Vipava and Ljubljana	118
<i>Kogovšek, Janja</i>	
Naravno čiščenje sanitarnih odpadkov pri vertikalnem prenikanju v Pivki jami	121
Natural purification of sanitary sewage during the vertical percolation in Pivka jama	139
<i>Podobnik, Rafael</i>	
Rezultati poskusov z modeli zaganjalk	141
The experiment results with ebb and flow spring models	161
<i>Slabe, Tadej</i>	
Jamske anastomoze v Dimnicah	167
Cave anastomoses in Dimnice	179

Ob 40-letnici Inštituta za raziskovanje krasa Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti

Prizadevanja za ustanovitev speleološkega inštituta v kraju s svetovno znano Postojnsko jamo in z bogato speleološko tradicijo je prekinila prva svetovna vojna. Po njej je bila speleološka dejavnost na območju Postojne in Slovenskega Primorja, ki je po mirovni pogodbi leta 1920 pripadlo Italiji, organizirana v italijanskem državnem speleološkem inštitutu, ustanovljenem leta 1929 v Postojni. S priključitvijo Slovenskega Primorja leta 1947 Jugoslaviji so bili dani pogoji za ustanovitev slovenskega speleološkega inštituta in s tem za razvoj znanstvenoraziskovalnega dela na področju krasoslovja v okviru Slovenske akademije znanosti in umetnosti.

Prvi upravnik inštituta je bil dr. Alfred Šerko (1910—1948), ki je hkrati upravljal turistični zavod Kraške jame Slovenije. Po njegovi tragični smrti je bil 24 let upravnik prof. dr. Srečko Brodar. Za njim je prevzel upravnništvo leta 1971 prof. dr. Maks Wraber, po njegovi smrti leta 1972 pa prof. dr. Svetozar Ilešič. Za njim je bil upravnik od leta 1976 do 1987 dr. Peter Habič, od 1987 dalje pa vodi delo inštituta dr. France Šušteršič. Vršilec dolžnosti upravnika v Postojni je bil od leta 1951 do 1962 dr. Roman Savnik, od 1964 do 1974 je bil pomočnik upravnika dr. Peter Habič, od 1974 do 1987 dr. Rado Gospodarič, od začetka 1987 dalje pa dr. Andrej Kranjc.

Letna poročila o delovanju inštituta so objavljena v letopisih Slovenske akademije znanosti in umetnosti, večina raziskovalnih dosežkov pa je zajeta v 15 številkah Krasoslovnega zbornika *Acta carsologica* in v drugih strokovnih revijah. V njih so sodelavci inštituta objavili skupno 1018 člankov in samostojnih znanstvenih del.

V prvem desetletju (1947—1957) je bila po začetnih težavah in smrti prvega upravnika dr. A. Šerka preseljena zapuščina italijanskega speleološkega inštituta iz sedanje občinske zgradbe v staro graščino sredi Postojne. Prvi trije sodelavci dr. Roman Savnik, Egon Pretner in France Hribar so raziskovali kras v okolici Postojne, Idrije, Hotedršice, Divače in Sežane. Uredili so speleološko zbirko in kataster kraških pojavov. Organizirali so 1. jugoslovanski speleološki kongres in sodelovali na mednarodnih speleoloških zborovanjih. Pripravili so prvo številko zbornika *Acta carsologica*.

V drugem desetletju (1957—1967) se je inštitut številčno okrepil z novimi sodelavci, kar je sprožilo tudi povečano raziskovalno dejavnost. Inštitut so zapustili France Hribar (1961), dr. Roman Savnik (1962) in France Leben (1963), kot novi raziskovalci pa so se zaposlili Rado Gospodarič (1959), dr. Ivan Gams in Peter Habič (1962) ter France Habe (1965). Kadrovski obnovi je sledila nujna obnova delovnih prostorov. Razstavni prostori so bili preurejeni v kabinete in

laboratorij, zbirke pa po dogovoru s Postojnsko jamo vskladiščene čakajo na nove muzejske prostore pri Jami. Novi sodelavci so izmerili in raziskali poglavitne vodne jame v predelu med Postojno, Planino in Cerknico. Organizirali so IV. mednarodni speleološki kongres, ki je zasedal v Postojni, Ljubljani in Dubrovniku. Tedaj je bila pri nas ustanovljena mednarodna speleološka zveza, ki pomeni novo vzpodbudo razvoju speleologije, ne le pri nas, temveč tudi v svetu. Objavljene so tri številke zbornika *Acta carsologica* in obsežno kongresno gradivo v petih zvezkih.

V tretjem desetletju (1967—1977) je bilo raziskovalno delo povezano s poglobljanjem teoretskega znanja in neposrednim prenosom spoznanj o naravi našega krasa v prakso. Opravljene so pomembne raziskave vodnih virov na Notranjskem in Primorskem. Izvedene so speleološke raziskave krasa za potrebe projektiranja in izgradnje avto ceste čez kras od Vrhnike do Postojne in Sežane. Pomembne so tudi speleološke in hidrološke raziskave Cerkniškega jezera v zvezi s poskusom trajne ojezeritve. V mednarodnem okviru odmevajo hidrološke raziskave in kombiniran sledilni poskus v porečju kraške Ljubljane ob 3. mednarodnem simpoziju o sledenju podzemeljskih voda, ki ga je inštitut v sodelovanju s Hidrometeorološkim zavodom in Zvezo vodnih skupnosti organiziral leta 1976. V tem obdobju se prične izdelava osnovne speleološke karte Slovenije. Razširjene naloge zahtevajo tudi več sodelavcev; v delovno razmerje sta stopila asistenta Andrej Kranjc in France Šušteršič. Značilna pa je tudi štirikratna menjava v vodstvu inštituta. Po preselitvi speleobiološkega oddelka v Ljubljano se je število sodelavcev nekoliko zmanjšalo. Odšli so: Božo Drovenik, Tone Novak in Valika Kuštor, upokojil pa se je Egon Pretner. S priključitvijo Notranjskega muzeja in ustanovitvijo Kraške muzejske zbirke pa se je število sodelavcev spet povečalo. Izšle so tri številke zbornika *Acta carsologica*. Razširjeno pa je bilo tudi mednarodno sodelovanje.

V četrtem desetletju (1977—1987) je bila dokončana osnovna speleološka karta Slovenije. Zasnovane so nove študijske obravnave kraškega površja, voda in podzemlja na Notranjskem, Primorskem in Dolenjskem krasu, ki so izvajane s pomočjo novih sodelavcev Jožeta Čara (zaposlen 2 leti), Janje Kogovšek, Andreja Mihevc in Tadeja Slabeta. Izvedene so sistematične meritve prenikanja vode ter raztapljanja in odlaganja apnenca v Planinski, Postojnski in Škocjanskih jamah. Odprti so novi pogledi na oblikovanje kraškega reliefa, v katerem se poleg zunanjih, klimatsko pogojenih procesov pomembno odraža tudi zgradba in mlada tektonika. Ta spoznanja so oprta na podrobno geološko kartiranje ozemlja med Postojno, Planino in Cerknico. Sistematska preučevanja sedimentov v podzemlju pripomorejo k časovni opredelitvi nastajanja in razpadanja kraških votlin in njihovega kapniškega bogastva. Razčlenjeni so procesi izvotljevanja, zasipanja in podiranja jam pod vplivom klimatskih sprememb in tektonskih premikanj v mlajši geološki preteklosti, v ledenih in medledenih dobah in v obdobju vse pomembnejših človekovih posegov v kras. Vedno bolj je v ospredju skrb za ohranitev čistega krasa in kraških voda, ki pomenijo poglavitni vir pitne vode za oskrbo južne in zahodne Slovenije.

Izsledki sodelavcev inštituta vzbujajo vse večje zanimanje domače in tuje javnosti, vse številnejši so obiski tujih strokovnjakov pri nas, pa tudi med-

narodno sodelovanje se v tem obdobju še krepi, zlasti z Italijo, Francijo, Nemčijo, Romunijo, Poljsko, Grčijo in Kitajsko. Izšlo je 8 števil zbornika *Acta carsologica*. V okviru Kraške muzejske zbirke je bilo pripravljenih več samostojnih razstav o krasu, ki so bile prikazane v raznih krajih Slovenije, pa tudi v sosednji Italiji. Z inštitutom se Postojna vse bolj uveljavlja kot pomemben mednarodni speleološki center, kar se kaže tudi v povečanem zanimanju tujih raziskovalcev za študijsko izpopolnjevanje pri nas.

Ob raziskovalnem delu so sodelavci inštituta pridobili 3 magistrske in 4 doktorske naslove.

In kakšna je naloga inštituta v prihodnje? Glavne smernice daje raziskovalni program ZRC SAZU, Naravna in kulturna dediščina slovenskega naroda. Trajne in dolgoročne naloge inštituta so tako zbiranje podatkov in urejanje katastra kraških pojavov Slovenije, proučevanje nastanka in razvoja kraškega površja in podzemlja ter študij zakonitosti pretakanja kraških voda in preučevanje geografskih funkcij krasa. Tako zastavljeno raziskovalno področje je seveda izredno obsežno in daleč presega zmožnosti inštituta, če bi ga hoteli pokrivati v celoti. Z mislijo, da bo nekoč postopoma pokrita celota, se bomo morali, kot doslej, posvečati posameznim podrobnostim, ki so v določenem trenutku najbolj aktualne.

Čeprav je zbranih že precej podatkov o kraških pojavih Slovenije, saj obsega kataster že prek 5800 jam, lahko pričakujemo še številna nova odkritja. Vsi kraški predeli še niso enako intenzivno raziskani. Marsikaj novega bodo prinesla razna tehnična dela in organizirane speleološke, še posebej potapljaške raziskave. Novo znanje bo treba urediti in predstaviti javnosti v pregledni, poljudni in monografski obliki. Ko bo zgrajen nov speleološki muzejski center pri Postojnski jami, ne bo težko napolniti razstavnih prostorov s sodobno krasoslovno vsebino. Bodoče raziskave pa bodo nedvomno usmerjene v nadaljnje spoznavanje krasa, v odkrivanje podzemeljskih vodnih poti in v varovanje vodnih virov, pa tudi v razvijanje novih raziskovalnih postopkov ter poglobljanje teoretskega znanja, ki ga bo treba preveriti z raznimi poskusi in modeli. Vse to naj bi prispevalo k reševanju in usklajevanju aktualnih življenjskih problemov na krasu, ki jih narekuje svojevrstno naravno okolje.

Peter Habič

Delavci IZRK, dne 1. 6. 1987 (letnica zaposlitve)

Leon D r a m e — višji tehnični delavec (1982)
Franjo D r o l e — tehnični delavec (1986)
dr. Rado G o s p o d a r i č, dipl. ing. geol. — znanstveni svetnik (1958)
dr. Peter H a b i č, dipl. geogr. — znanstveni svetnik (1962)
Jurij H a j n a — samostojni tehnični delavec (1975)
mgr. Janja K o g o v š e k, dipl. ing. chem. — višja raziskovalna sodelavka
(1975)
dr. Andrej K r a n j c, dipl. geogr. — znanstveni sodelavec (1967)
Maja K r a n j c — višja strokovna delavka (1969)
Marjan L u z a r — višji tehnični delavec (1978)
Franci M a l e č k a r — strokovni delavec (1980)
Andrej M i h e v c, dipl. geogr. — raziskovalni asistent (1980)
Samo M o r e l — tehnični delavec (1983)
Tadej S l a b e, dipl. geogr. — raziskovalni asistent (1986)
Slavuljka Š u š a k — čistilka (1983)
dr. France Š u š t e r š i č, dipl. ing. geol. — znanstveni sodelavec (1974)
Stanka T o m š i č — tajnica (1985)
Mehtilda U r l e b, dipl. arheolog — strokovna svetnica (1974)
Alojz V a d n j a l — jamski vodnik (1963)
Milena Z l o k o l i c a, dipl. ing. geol. — raziskovalni asistent (1987)

At 40-anniversary of the Institute for karst research of the Scientific-research Center of the Slovene Academy of Arts and Sciences

The efforts for the foundation of the speleological institute in the place with world famous Postojnska jama and with rich speleological tradition were cut by the First world war. After it the speleological activity in the region of Postojna and in the slovene Littoral, belonging to Italy according to treaty of piece from 1920, was organized in italian national speleological institute, founded in 1929 in Postojna. In 1947 the Slovene Littoral was annexed to Yugoslavia thus the conditions for the foundation of the slovene speleological institute and the possibilities for the development of scientific research work in the sphere of karstology within the frame of Slovene Academy of Arts and Sciences have arisen.

The first director of the Institute was dr. Alfred Šerko (1910—1948) who managed the tourist organisation Karst caves of Slovenia at the same time. After his tragical death prof. dr. Srečko Brodar was director for 24 years. In 1971 the director was prof. dr. Maks Wraber, after his death in 1972 prof. dr. Svetozar Ilešič. After him director was from 1976 to 1987 dr. Peter Habič, from 1987 onwards on the head of the Institute is dr. France Šušteršič. Acting manager in Postojna was from 1951 to 1962 dr. Roman Savnik, from 1964 to 1974 the director assistant was dr. Peter Habič, from 1974 to 1987 dr. Rado Gospodarič and from the beginning of 1987 dr. Andrej Kranjc.

The annual reports on the Institute work were published in annals of the Slovene Academy of Arts and Sciences, the majority of research results are included into 15 volumes of karstological miscellany *Acta carsologica* and in other professional serials. 1018 articles and autonomous scientific works in total were published by the Institute's collaborators.

In first decade (1947—1957) after the initial troubles and death of the first director dr. Alfred Šerko the legacy of Italian speleological institute was moved from actual community building into old manor-house in the center of Postojna. The first three collaborators dr. Roman Savnik, Egon Pretner and France Hribar explored the karst near Postojna, Idrija, Hotedršica, Divača and Sežana. They arranged the speleological collection and karst phenomena register. They have organized the first yugoslav speleological congress and have participated on international speleological meetings. They have prepared the first volume of *Acta carsologica*.

In the second decade (1957—1967) the Institute augmented by new collaborators as research activity increased. France Hribar (1961), dr. Roman Savnik (1962) and France Leben (1963) left the Institute and new researchers Rado Gospodarič (1959), dr. Ivan Gams and Peter Habič (1962) and France Habe (1965) were employed. Because of staff membres increase the restoration of working

places was necessary. Exhibition spaces were transformed into cabinets and laboratory, while the collections, according to agreement with Postojnska jama, wait stored to new museum building near the Cave. New collaborators have surveyed and explored the main water caves in the region among Postojna, Planina and Cerknica. They have organized the 4th International Congress of Speleology, having its sessions in Postojna, Ljubljana and Dubrovnik. In this time the International Speleological Union was founded at us, meaning new impulse for the speleology development, not at us only but in the whole world. Three volumes of *Acta carsologica* and huge congress material in five volumes were published.

In third decade (1967—1977) the research work was connected to engaged theoretical knowledge and direct putting of research achievements about nature of our karst into practice. Important investigations of water sources in Notranjsko and Primorsko were achieved. Speleological karst investigations for the needs of projects and motor-way construction across the karst from Vrhnika to Postojna and Sežana were done. Important were speleological and hydrological investigations of Cerknica polje connected to the experiment of making a permanent lake. Within the international frame hydrological investigations and combined water tracing test in the river basin of karst Ljublanica at the occasion of 3rd International Symposium on Underground Water Tracing, organized in the collaboration with Hydrometeorological Institution and Union of water communities in 1976 found a deep resounding. In the same period the elaboration of the Basic speleological map of Slovenia started. Widened tasks demanded more collaborators: the assistants Andrej Kranjc and France Šušteršič stepped into labour relations. Characteristical is four times change in the head of the Institute. After removal of speleobiological department into Ljubljana the number of collaborators diminished a little. Božo Drovenik, Tone Novak, Valika Kuštor went off and Egon Pretner retired. By annex of Notranjski museum and foundation of Karst museum collection the number of collaborators increased again. Three volumes of *Acta carsologica* were published. The international collaboration was widened.

In fourth decade (1977—1987) the Basic speleological map of Slovenia was achieved. New study researches of the karst surface, water and underground on Notranjsko, Primorsko and Dolenjsko were planned and performed by the help of new collaborators Jože Čar (employed 2 years), Janja Kogovšek, Andrej Mihevc and Tadej Slabe. Systematical measurements of water percolation and dissolution and deposition of limestone in Planinska jama, Postojnska jama, and Škocjanske jame were achieved. New views to the formation of karst relief, where beside outer, climatically conditioned processes the lithology and neotectonics play an important role were presented. This knowledge was based on detailed geological mapping of the region among Postojna, Planina and Cerknica. Systematical studies of sediments in the underground contribute to temporal definition of origin and degradation of karst caverns and their speleothem richness. The processes of excavation, filling up and caves collapse under the influence of climatic changes and tectonic movements in younger geological past, in glacial and interglacial periods and in the period of more and more important human impact on karst were defined. More and more is accentuated the need

for preservation of pure karst and karst waters, meaning the main source for drinking water supply in southern and western Slovenia.

The results of the Institute collaborators arouse great interest of our and foreign public, the visits of foreign experts at us are more and more frequent and the international collaboration in this period is in increase, with Italy, France, Germany, Romania, Poland, Greece and China in particular. Eight volumes of *Acta carsologica* were published. Within the frame of Karst Museum collection several independent exhibitions on karst were prepared and presented in different places in Slovenia and in near Italy. Because of the Institute Postojna is more and more valued as an important speleological center, shown in increased interest of foreign researchers for study improvement at us.

During the research work the Institute collaborators have obtained 3 PhD and 4 DSc degrees.

And what are the Institute's tasks in future? The main directions are given by the research program of Scientific-research Center of the Slovene Academy, Natural and cultural legacy of the Slovene people. Permanent and long-term tasks of the Institute are to gather and arrange the data of Karst phenomena register, study of origin and development of karst surface and underground, study of lawfulness of karst waters flow and study of geographical karst functions. Thus defined research sphere is very huge and exceeds the possibilities of the Institute if it should be covered entirely. Hoping to cover the total in future, we have to, as so far, devote our attention to particular details which are the most actual in a defined moment.

Although a lot data on karst phenomena of Slovenia are gathered, as the cave register includes more than 5800 caves, numerous new discoveries can be expected. All the karst regions are not equally intensively investigated yet. Different technical works, speleological expeditons, diving in particular, will bring a lot of new. New recongnitions have to be arranged and presented to public in clear, popular and monographic form. When new speleological museum center at Postojnska jama will be constructed it will not be difficult to fill the exhibition spaces with actual karstological content. Without doubt the further investigations will be directed into further karst recognition, in discovery of underground water courses and protection of water sources as well into development of new research methods and deepening of theoretical knowledge which has to be checked by different models and tests. All this will contribute to the solution and harmony of actual living problems on karst dictated by peculiar natural environment.

Peter Habič

Workers of the Institute on June 1, 1987 (year of employment)

Leon D r a m e — higher technical worker (1982)

Franjo D r o l e — technical worker (1986)

dr. Rado G o s p o d a r i č, dipl. ing. geol. — scientific councillor (1958)

dr. Peter H a b i č, dipl. geogr. — scientific councillor (1962)

Jurij H a j n a — autonomous technical worker (1975)

mgr. Janja K o g o v š e k, dipl. ing. chem. — higher research collaborator (1975)

dr. Andrej K r a n j c, dipl. geogr. — scientific collaborator (1967)

Maja K r a n j c — higher professional worker (1969)

Marjan L u z a r — higher technical worker (1978)

Franci M a l e č k a r — professional worker (1980)

Andrej M i h e v c, dipl. geogr. — research assistant (1980)

Samo M o r e l — technical worker (1983)

Tadej S l a b e, dipl. geogr. — research assistant (1986)

Slavujka S u š a k — charwoman (1983)

dr. France Š u š t e r š i č, dipl. ing. geol. — scientific collaborator (1974)

Stanka T o m š i č — secretary (1985)

Methilda U r l e b, dipl. archaeol. — professional councillor (1974)

Alojz V a d n j a l — cave guide (1963)

Milena Z l o k o l i c a, dipl. ing. geol. — research assistant (1987)

SPELEOGEOLOŠKI PODATKI TABORSKE JAME
IN NJENE OKOLICE

SPELEOGEOLOGICAL DATA ABOUT TABORSKA JAMA
AND ITS VICINITY

RADO GOSPODARIČ

Izveleček

(UDK 551.442(497.12 Taborska jama)

Speleogeološki podatki Taborske Jame in okolice

Pri speleogeoloških raziskavah Dolenjskega krasa so bile l. 1986 preučene lito-loško-stratigrafske, tektonske in hidrogeološke razmere Taborskega hrbta in Taborske jame južno od Grosupljega. Ugotovljeni so novi podatki o razširjenosti liasnega apnenca in dolomita, o sestavi Taborske sinklinale ter o položaju Taborske jame v NE krilu te sinklinale. Doslej znani speleološki podatki o Taborski jami so dopolnjeni z ugotovitvijo dveh morfoloških etaž na višini 450 in 425 m, kjer so ohranjene naplavine in sige. Jamski sedimenti so domnevno mladopleistocenske starosti in odloženi v stratigrafskem zaporedju, ki je podobno akumulacijskim fazam v jamah Notranjskega krasa.

Abstract

(UDC 551.442(497.12 Taborska jama)

Speleological Data about Taborska jama and its Vicinity

During speleological investigations of Dolenjski kras in 1986 the lithologico-stratigraphical, tectonical and hydrogeological conditions of Tabor ridge and well known show cave Taborska jama south from Grosuplje have been studied. New data about karstified Liassic limestone and dolomite distribution, Tabor sinkline structure and geological setting of Taborska jama have been inferred. Till now known speleological data about Taborska jama were completed by statement of two morphological levels in the altitudes 450 and 425 m, where clastic sediments and flowstones of Late Pleistocene are preserved. Cave sediments are deposited in stratigraphical sequences similar to accumulation phases in the caves of Notranjski kras around Postojna.

Naslov — Address

dr. RADO GOSPODARIČ, znanstveni svetnik, izr. prof.
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
66230 Postojna, Titov trg 2
Jugoslavija

UVOD

Osnovni raziskovalni program Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU zajema tudi sistematska geografska in speleogeološka preučevanja kraških regij Slovenije. Za obdobje 1986—1990 je težišče raziskovanja usmerjeno na Dolenjski kras, v kraške ravnike in polja ter jame povodij Krke in Kolpe.

Speleogeološki del raziskav poskuša spoznati vzročno povezanost geološke zgradbe z morfologijo površja in podzemlja, z razporeditvijo površinske in podzemeljske vodne mreže, pa tudi najti odgovore na vprašanja o geološkem nastajanju in oblikovanju kraških votlin. Ti problemi doslej na Dolenjskem niso bili posebej študirani. Dosedanja spoznanja sicer prinašajo dosti geografskih, geoloških, hidrogeoloških in speleoloških podatkov, ne dajejo pa povezanih odgovorov na navedena vprašanja.

Osnovne podatke za speleogeološke raziskave Dolenjske smo dobili v katastru kraških pojavov Slovenije (Arhiv Inštituta v Postojni in Jamarske zveze v Ljubljani) ter v kartah in tolmačih Osnovne speleološke karte Slovenije na listih Cerknica, Ljubljana, Novo mesto in Delnice v merilu 1 : 50 000, nadaljnje pa zbrali z ustreznim terenskim delom, zaenkrat na ozemlju južno od Grosupeljskega polja, kjer imamo kraški svet Taborskega hrbta, v njem pa znano Taborsko jamo.

Kras okrog Taborske jame so raziskovali že ljubljanski jamarji med obema vojnama. Med večje dosežke šteje preučevanje in monografska obdelava tedanje Županove jame (V. Bohinec, 1927) ter uspešno sodelovanje teh jamarjev pri nadaljnjem odkrivanju in turističnem urejanju te jame.

V letih 1961—1962 so sodelavci Inštituta za raziskovanje krasa SAZU iz Postojne poleg Taborske jame preučevali tudi druge kraške votline, ponikalnice in izvire tukajšnjega krasa. Podatki so zbrani v katastru kraških pojavov (Arhiv Inštituta v Postojni) ter v manuskriptni Speleološki karti Slovenije 1. Cerknica 2 a in v njenem tolmaču (R. Gospodarič, 1972), katerega povzetek je tudi objavljen (P. Habič, A. Kranjc, R. Gospodarič, 1974). Podatki o speleogenezi Taborske jame in speleologiji Taborskega hrbta pa so v marsičem nedorečeni.

Speleološka karta 1. Cerknica 2 a združuje morfološke, hidrografske in speleološke značilnosti Grosupeljskega in Radenskega polja ter njunega kraškega obrobja. Vključuje pa tudi geološko zgradbo, kakršno navaja Osnovna geološka karta SFRJ 1. Ribnica (1969) in o njej piše C. Šleibinger (1969, 1970). Z obstoječimi podatki pa ni bilo možno zadovoljivo pojasniti geološkega položaja Taborske jame ter hidrogeoloških vzrokov za ponikanje površinskih potokov pri Podtaboru in njihovo izviranje vzhodno od Ponove vasi. Ta dva problema in še nekaj drugih smo poskušali rešiti s podrobnejšim speleogeološkim kartiranjem Taborskega hrbta med Ponovo vasjo na severu in V. Lipljenami na jugu ter grapami Medvednice na zahodu in dolino Podlomščice na vzhodu. Za karti-

ranje smo uporabljali topografske podlage listov Ljubljana 48 in 49 ter delno V. Lašče 9 v merilu 1 : 5000. Pri terenskem delu na površju in v podzemlju so sodelovali F. Šušteršič, T. Slabe, S. Morel, M. Zlokolica in L. Drame ter J. Kogovšek in M. Luzar, ki sta zbirala in analizirala vzorce vode. Vsem se za sodelovanje lepo zahvaljujem.

GEOLOŠKA ZGRADBA TABORSKEGA HRBTA

Po geološki karti Ribnica 1 : 100 000 (1969) gradijo Taborski hrbet zgornjetriasni norijskoretski dolomiti in spodnjeturški liasni apnenci. Kamnine so upognjene v Taborski sinklinali tako, da sta vzhodno pobočje hrbita in dolina Podlomščice v dolomitu, greben in zahodno pobočje pa v apnencu. Ob dolini Podtaborščice in grapah Medvednice je jugozahodno krilo sinklinale porušeno ob coni dobrepoljskega preloma in naslonjeno na kamnine srednjega in spodnjega triasa.

Litolško-stratigrafske razmere

Zgornjetriasni dolomit vidimo v naseljenih in obdelanih predelih Ponove vasi in Male vasi ter v gozdnatem delu NE pobočja Taborskega hrbita proti Cerovemu in Podlomu. Na vzhodni strani je dolomit še v ravnici Podlomščice in pobočju Sp. Slivnice, na zahodni strani pa med Malo vasjo in naplavno ravnico Podtaborščice.

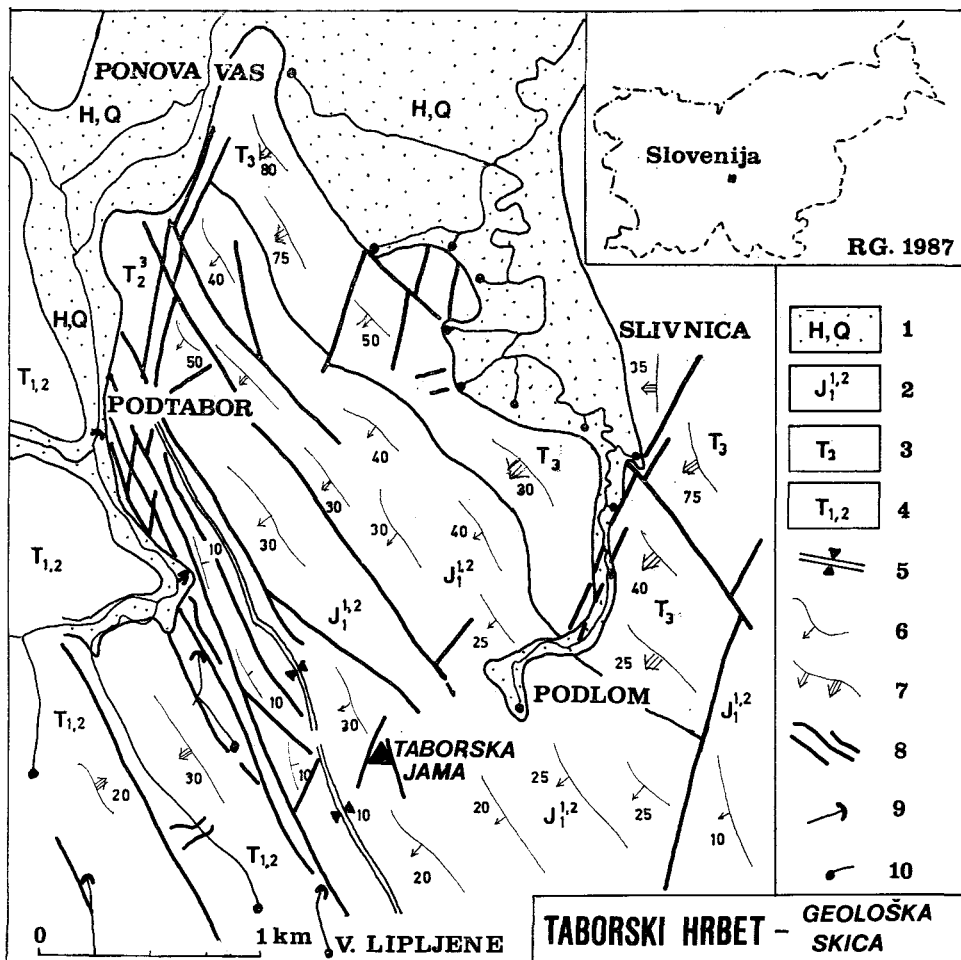
Opraviti imamo s skladnatim, drobnozrnatim in pasnatim dolomitom, in sicer z zgornjim delom te formacije, ki vključuje tudi nekaj manjših leč svetlosivega mikritnega apnenca, kakršnega omenja tudi legenda h geološki karti list Ribnica. Nad temi lečami prehaja norijskoretski dolomit zvezno v liasni apnenec oziroma dolomit.

Liasni apnenec in dolomit gradita pretežni del Taborskega hrbita. Do meter debeli skladi mikritnega apnenca vsebujejo v spodnjem delu še stromatopore in drobne oolite, v zgornjem delu pa poleg oolitov in roženca še tri horizonte makrofavne, predvsem litiotide. Med apnencem smo kartirali nepravilna telesa debelozrnatega, roženastega neskladnatega dolomita, ki se pri Ponovi vasi in Podlomu naslanjajo na zgornjetriasni dolomit, pri Cerovem in Podlomu ter v Viru pa se apnenec in dolomit facielno nadomeščata.

V Taborskem hrbitu je skadovnica liasnih kamnin debela do 500 m, najdebelejša je v območju Taborske jame, najtanjša (250 m) nad Ponovo vasjo. Po litiotidnih horizontih sklepamo, da gre za spodnje in srednje liasne člene.

Pliokvartarni sedimenti (rdeča ilovica, rjava redzina) so ohranjeni na strukturnih terasah, na pobočjih in vzpetinah. Rdeče ilovice je več na dolomitu kot na apnencu, kjer je v glavnem ohranjena v kraških špranjah. Kot bomo videli pozneje, pa je naplavljena tudi v Taborsko jamo.

Danje ravnice južnega dela Grosupeljskega polja, ki Taborski hrbet obdajajo, so iz holocenskih sedimentov, kjer prevladujeta organogena glinasta prst in peščena ilovica. Karbonatno silikatni prod v talnini teh sedimentov je že lahko pleistocenski (D. Meze, 1981).



- Sl. 1. Taborski hrbet — geološka skica
- 1 — naplavine na Grosupeljskem polju
 - 2 — liasni apnenec in dolomit
 - 3 — zgornjetriasni dolomit
 - 4 — triasne klastične kamnine
 - 5 — os Taborske sinklinale
 - 6 — smer in vpad liasnih skladov
 - 7 — smer in vpad triasnih skladov
 - 8 — prelomi
 - 9 — ponori
 - 10 — izviri

- Fig. 1. Tabor ridge — geological sketch
- 1 — sediments on Polje of Grosuplje
 - 2 — Liassic limestone and dolomite
 - 3 — Uppertriassic dolomite
 - 4 — Triassic clastic rocks
 - 5 — axis of Tabor sinkline
 - 6 — strike and dip of Liassic beds
 - 7 — strike and dip of Triassic beds
 - 8 — faults
 - 9 — ponors
 - 10 — springs

Tektonska zgradba

Po tolmaču h geološki karti l. Ribnica (S. Buser, 1874) je obravnavano ozemlje sestavni del Zahodnodolenjskih mezozojskih grud. Na zahodni strani Taborskega hrbta se grudasta zgradba dotika Želimeljsko-ortneške grude, vmes pa je cona dobrepoljskega preloma.

V Taborskem hrbtu so skladi zelo enotno usmerjeni od severozahoda proti jugovzhodu, nagnjeni pa med 20—85° proti jugozahodu. Ker pa med Podtaborom in V. Lipljenami vpadajo za 10—15° proti severovzhodu, sestavljajo asimetrično, vergentno sinklinalo s skoraj vodoravno osjo v smeri NNW—SSE. To je tako imenovana Taborska sinklinala, ki je zarisana tudi na omenjeni geološki karti. Os gube je vzporedna in le 10—200 m oddaljena od cone dobrepoljskega preloma.

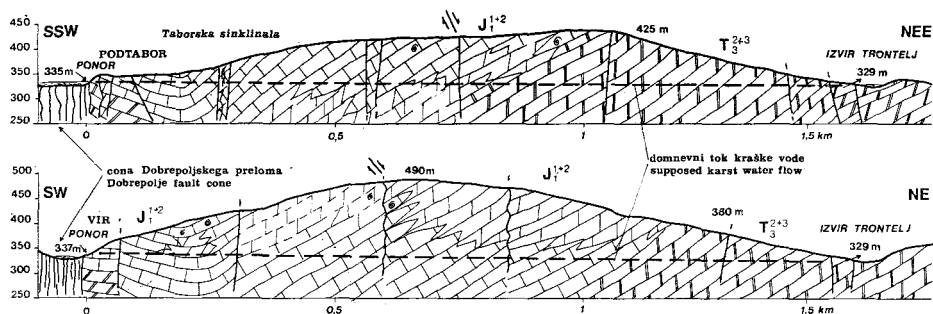
Apnenci in dolomiti sinklinale so prepreženi z razpokami NW—SE in NE—SW smeri (D. Turnšek, R. Gospodarič, 1964), sicer pa prelomljeni v NW—SE in NNE—SSW smereh. Poleg že omenjene zdrobljene cone dobrepoljskega preloma med Podtaborom in V. Lipljenami so izrazitejše take dislokacije še v grebenu Taborskega hrbta in pod njegovim severovzhodnim vznožjem. Prelomi imajo bolj ali manj navpične drsne ploskve in domala vodoravne zmične drsine, pa lahko domnevamo, da so bloki najbolj vodoravno premaknjeni v NW—SE smereh.

V opuščnem kamnolomu ob cesti med Ponovo vasjo in Malo vasjo so mnoge strme lezike spodnjeliasnega apnenca spremenjene v tektonska zrcala NW—SE smeri, na katerih so vidne starejše narivne in mlajše vodoravne drsine. Skladi pa so razlomljeni tudi v smeri N—S. Ti prelomi se proti jugu k Podtaboru razvijajo v 100 m debelo zdrobljeno cono, kjer se stikajo liasne kamnine strmega NE krila Taborske sinklinale z zgornjetriasnim dolomitom Male vasi. Podobno cono približno N—S smeri imamo tudi v dolini Podlomščice ter v grebenu Sp. Slivnice, posamezni taki prelomi pa so tu in tam tudi v samem Taborskem hrbtu (slika 1).

HIDROGEOLOŠKE RAZMERE

Vode Taborskega hrbta se stekajo proti severovzhodu v izvire doline Podlomščice. V južnem, ožjem delu doline, je glavni kraški izvir Podlomščice in več manjših izvirov ob njenem desnem bregu, v širšem severnem delu doline med Ponovo vasjo in Sp. Slivnico pa so izviri pri Klepetu in Trontlju. Razen v široki vrtači pri Cerovem, kjer izvirna voda po 50 m ponikne, v samem hrbtu ni drugih vodnih pojavov. Omenjeni izviri imajo med 1—1000 l/s pretoka, poleg kraške vode iz hrbta dobivajo tudi druge podzemeljske oziroma površinske pritoke iz nekraškega sveta. Zaledje izvirov je znatno večje, kot je obsežen kraški Taborski hrbet.

Domnevamo, da se v izviru Podlomščice pojavlja voda iz ponikalnic Staroapnenskega podolja (D. Meze, 1981). Ponikalnice imamo tudi v grapah Medvednice in v dolini Podtaborščice. Pri Podtaboru izginja del vode v ponore in se pokaže v izvirih pri Klepetu in Trontlju. Kot je pokazalo barvanje l. 1962



GEOLOŠKA PRESEKA ČEZ TABORSKI HRBT MED PONORI PRI VIRU IN PODTABORU TER IZVIROM PRI TRONTELJU

Sl. 2. Geološka preseka Taborskega hrbta

 J_1 — liasni apnenec in dolomit T_3 — zgornjetriasni dolomit

Fig. 2. Geological cross-sections of Tabor ridge

 J_1 — Liassic limestone and dolomite T_3 — Uppertriassic dolomite

(arhiv IZRK Postojna), je voda pretekla premo razdaljo 1,6 km ob 10 m padcu v približno 24 urah s hitrostjo okrog 2 cm/s.

Po geoloških profilih (slika 2) vidimo, da ti podzemeljski tokovi prečkajo NW—SE prelome, teme in severovzhodno krilo sinklinale ter teko skozi liasne apnenec in dolomite oziroma zgornjetriasne dolomite. Niti zdrobljena cona dobrepoljskega preloma, niti dolomit Taborskega hrbta torej nista vodotesna. Da so dolomiti podvrženi zakrsevanju, pričajo tudi vrtače, ki so posebej številne v dolomitu med Podtaborcem in Ponovo vasjo.

Kdaj in zakaj pa so prvotno proti severu in severozahodu v Grosupeljsko kotlino usmerjene vode začele uhajati iz površinskih dolin v karbonatne kamnine Taborskega hrbta, bo pokazala šele regionalna geomorfološka in hidrogeološka analiza.

HIDROKEMIČNI PODATKI

(Janja Kogovšek)

Pri začetnih hidrokemičnih preiskavah l. 1986 in 1987 smo mesečno kontrolirali ponor Krokarice (Podtaboršnice) pri Podtaboru, Klepetov in Trontljev izvir ter izvir Podlomščice. Vzporedno smo študirali tudi preniklo vodo v Taborski jami.

Podatki kažejo, da ima izvirna voda pri Podlomu in pri Klepetu precej stalno (od 9—10,9^o C), pri Trontljevem izviru (od 8,2—11,6^o C) in ponoru Krokarice (od 4,6—11,7^o C) pa manj stalno temperaturo. Glede na vodostaje in letni čas precej niha specifična električna prevodnost (od 370—510 μSm^{-1}) opazovanih voda. Ca/Mg razmerje je manjše pri ponorni vodi in Klepetovem izviru, večje pri Trontljevem izviru in izviru Podlomščice. Pri manjšem Ca/Mg razmerju je sklepati na večji, pri večjem razmerju pa na manjši vpliv dolomitnih

voda. Klepetov izvir ima prek normale povišane nitrata, kloride, O-fosfate, KPK BKP₃ ter manj raztopljenega kisika. Izvir onesnažujejo odpadne vode Ponove vasi.

Prenikle padavine, merjene v Taborski jami, imajo le malo Mg ionov, precejajo se izključno skozi apnenčev, 15—50 m debel jamski strop. Celokupne karbonatne trdote jamske vode in izvirne vode pa so precej podobne.

MORFOLOŠKI IN GEOLOŠKI PODATKI O TABORSKI JAMI

Načrti Taborske jame

Medtem ko sta Ledenico poznala že J. V. Valvasor in B. Hacquet (J. Wester, 1956/57), so Županovo jamo odkrili domačini iz Ponove vasi šele 26. maja 1926 (S. Valentinčič, 1969). Prve meritve in preučevanja so izvedli ljubljanski jamarji. V jamskem katastru (arhiv IZRK Postojna) je ohranjen prvi tloris te jame v merilu 1 : 500, ki ga je meril P. Novikov in objavil V. Bohinec (1927). Načrt kaže podzemeljske oddelke A, B, C in D ter speleografsko označene skalne stopnje in brezenca, podorne skale ter kapnike in vodne ponvice. V monografiji V. Bohinca (1927) so objavljene tudi prve fotografije vhodnega brezna, kapnikov in korozijsko razjedenih skal v jami. Ta tloris jame je objavil kasneje tudi J. Bole (1970). Po l. 1927 so domačini uspeli odkopati skale in ilovico med Ledenico in Županovo jamo ter ju povezati v skupen prehodni podzemeljski rov današnje Taborske jame.

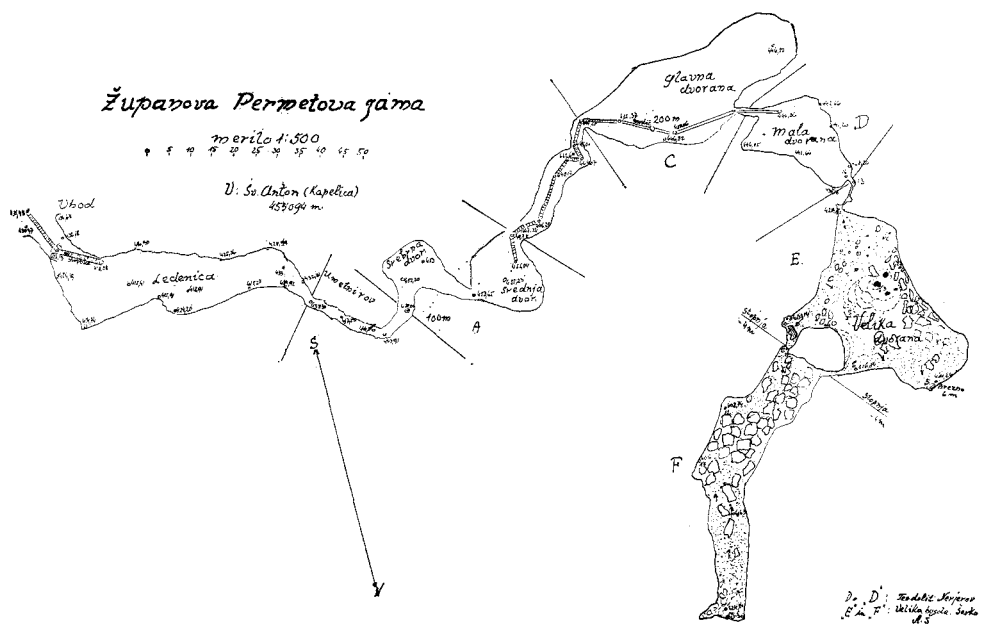
V katastru sta ohranjena še dva načrta, eden prikazuje doseženo povezavo med Ledenico in Županovo jamo (slika 3), drugi, s podpisom A. Šerka (slika 4), pa še novo odkrita oddelka E in F v podaljšku oddelka D. V tako odkriti jami je lastnik in župan J. Perme položil prve stopnice in ograje. »Župana Permetove jame« ali današnja Taborska jama so zaslovele kot turistične v ozemeljsko okrnjeni predvojni Sloveniji. O njej je tedanje časopisje prinašalo dosti novic in fotografij, pa tudi obiskovalcev ni manjkalo.

Po osvoboditvi, natančneje 25. avgusta 1946, so Taborsko jamo vnovič slovesno odprli, nadaljevali pa tudi z zbiranjem gradiva za turistični opis (I. Michler, 1952). Številne skupne ekskurzije je datumsko zapisal E. Pretner. Jamo je prevzelo v upravljanje Turistično društvo Grosuplje, ki jo pod vodstvom neumornega predsednika J. Lesjaka ureja še danes.

Leta 1962 so postojnski raziskovalci sestavili natančnejši tloris in naris Taborske jame v merilu 1 : 500. Ta načrta sta bila že večkrat objavljena (Vodnik po Dinarskem krasu, 1965; I. Gams, 1974), uporabili pa smo ju tudi pri novejši speleogeološki preučitvi. Tloris smo le malenkostno dopolnili, naris pa predrugali. Zgornjo in spodnjo etažo smo zarisali eno pod drugo, kar je bolj usklajeno z morfologijo in geologijo jame (slika 6 v prilogi).

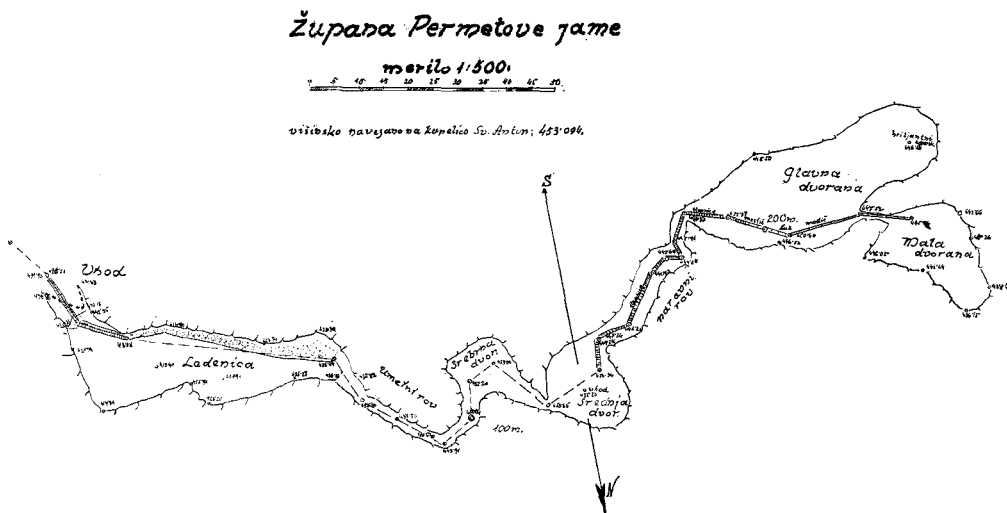
Speleografski opis

Do Taborske jame lahko pridemo iz Sp. Slivnice po markirani stezi, pa tudi po cesti iz V. Lipljen ali iz Ponove vasi. Iz Ponove vasi se cesta povzpne na vzhodno pobočje Taborskega hrbta in Tabora (492 m), markantnega griča



Sl. 3. Načrt »Župana Permetove jame« po A. Šerku iz l. 1929 (?), ko so že povezali Ledenico in Srebrno dvorano z umetnim rovom

Fig. 3. The survey of »Mayor Perme Cave« according to A. Šerko from 1929 (?), when Ice Cave and Silver Hall were already connected by an artificial channel



Sl. 4. Načrt »Župana Permetove jame« po A. Šerku iz l. 1937 po odkritju Velike in Zadnje dvorane

Fig. 4. The survey of »Mayor Perme Cave« according to A. Šerko from 1937 after discovery of the Great and the Last Hall

s starinsko cerkvijo, kjer je na višini 422 m poševni vhod v Ledenico, v bregu nad cesto na višini 477 m pa navpični vhod v staro Županovo jamo. Pobočje nad jamo se proti zahodu vzpenja in na višini 488 m prevesi v nasprotno stran, proti vzhodu pa znižuje ter po 500 m preide v zatrepno kotanjo izvira Podlomščice na 330 m nadmorske višine. Gledano s platoja pred vstopom v Ledenico proti vzhodu se breg strmo spušča v vrtačni jarek, nato pa zopet dvigne v severno pobočje Malega (477 m) in Velikega Ostrka (527 m).

Poševni vhod Ledenice vodi do tal 20 m visoke dvorane na višini 420 m, od koder odkopani odsek omogoča dostop do Srebrne in Permetove dvorane na višini 465 m. Od tod vodijo stopnice 10 m navzdol, potem pa rahlo navzgor do Velike dvorane, najobsežnejšega 45×35 m in 10 m visokega prostora Taborske jame s tlemi na 460 m. Jama se nadaljuje proti severu v Blatno dvorano s tlemi na 455 m in skozi ozek strmi odkopan rov v 7 m visoko Matjaževo dvorano, ki ima tla na višini 435 m in 45 m debel strop. Na vzhodni strani dvorane je možno sestopiti v 50 m dolgo in 15 m široko ter 10 m visoko, proti severovzhodu usmerjeno Zadnjo dvorano, ki ima 43 m debel strop. Pri sklepu te dvorane so tri korozijska brezna, najgloblje s 35 m doseže nadmorsko višino 407 m.

Med zgoraj omenjenim navpičnim vhomom na 477 m in tlemi navedenega brezna je 70 m višinske razlike, kar predstavlja globino Taborske jame. Po speleoloških merilih je Taborska jama dolga 592 m, dolžina turistične steze pa znaša 610 m (glej sliko 6 v prilogi).

Taborska jama je v splošnem sestavljena iz 4 podornih dvoran (Ledenice, Srebrne in Permetove dvorane skupaj, Velike dvorane in Blatne dvorane skupaj, Matjaževe dvorane in Zadnje dvorane skupaj), ki so povezane z ozkimi odkopanimi oziroma razširjenimi prehodi pod stropovjem in stenami dvoran. Velika dvorana in Permetova dvorana ležita morfološko najvišje, Ledenica in Zadnja dvorana pa morfološko najnižje. Skladno s površjem imata obe prvi dvorani najtanjši, obe drugi najdebelejši strop.

V jami ni nikjer videti erozijsko oblikovanih sten ali dna. Po razporeditvi sedimentov pa skalna dna zgornjih dvoran domnevamo v višino okrog 450 m, spodnjih v višini okrog 425 m. Obe morfološki etaži sta povezani prek odkopanega prehoda iz Blatne v Matjaževo dvorano, zvezo pa nakazuje tudi več korozijskih brezenc. Ker ima spodnja etaža znižana tla in korozijska brezna, lahko domnevamo, da se kapnica steka k še nižje ležečim etažam, ki tod niso dosegljive. Verjetno je aktivna vodna etaža na višini okrog 340 m.

V bližini Taborske jame je nekaj manjših kraških votlin (glej tabelo 1), ki jih je možno razvrstiti k njenim etažam.

Na višinah 404 do 391 m je dvorana 50 m oddaljena od Trontljevega brezna, višino 393 m doseže poševni kanal Drobničevega brezna. Vodoravni erozijski rov Mikličeve jame je na višini 440 m, sedimentno dno Mijavčevega brezna pri Cerovem pa na višini 360 m. Ti votlini sta kilometer in več oddaljeni od Taborske jame, pa je njuna morfološka primerjava z etažami Taborske jame otežkočena. Nasprotno pa Trontljevo brezno odraža tisti del etaže zakrasedevanja, ki v Taborski jami ni dosegljiva.

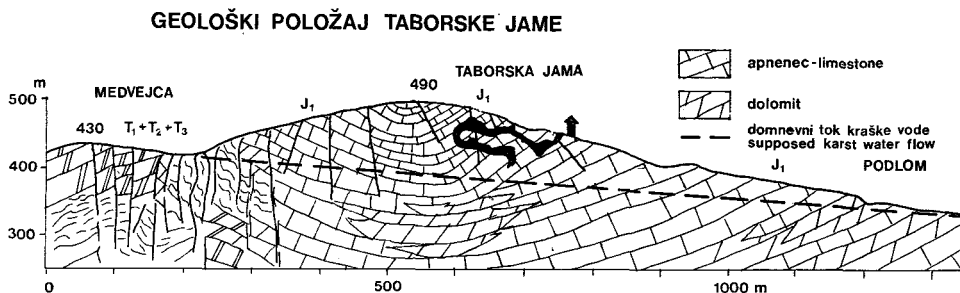
Tabela 1. Kraške votline ob Taborski jami

Kat. št.	Ime	Nadmorska višina		Dolžina	Globina
		vhoda	dna		
34	Mikličeva jama	445	440	38	5
2408	Bradačev brezen	439	419	7	20
2409	Trontljevo brezno	423	404 (391)	107	32
2410	Anžičkov brezen	428	412	6	16
2417	Drobničevo brezno	425	393	20	35
2418	Mijavčevo brezno	375	360	107	25

Geološki položaj jame

Taborska jama je izvotljena v NE krilu Taborske sinklinale, kjer vpadajo do meter debeli skladi liasnega apnenca za 20° – 40° proti SW (slika 5). Enakomerna skladovna sestava je porušena s štirimi prelomi: prvega skoraj vzporednega, a nasprotno nagnjenega kot lezike, vidimo ob vhodu v Ledenico, drugega ob odkopanem rovu v Srebrno dvorano, tretjega v NNE–SSW smeri med Permetovo in Veliko dvorano, kjer je prav pod drsno ploskvijo rov poglobljen v 10 m korozijsko brezenca, in četrtega v odkopanem dostopu iz Blatne v Matjažovo dvorano. Pri sklepu Zadnje dvorane, kjer sta dve 30 m globoki korozijski brezni, imamo podaljšek drugega preloma, ki smo ga omenili v Ledenici.

Skladi apnenca so prepreženi z razpokami, večinoma vzporednimi z NNE–SSW prelomi. Skupaj z lezikami in drugimi rupturami sestavljajo dovolj prepustno in pretrto kamnino za prenikanje padavin, njeno korozijsko in sedimentacijsko aktivnost. Korozijska se izraža v škrapljastih podornih skalah v Veliki dvorani in v brezni Zadnje dvorane, sedimentacijska v oblikovanju drobnih stalaktitov na stropovju, baldahinov na stenah ter različno sestavljenih stalagmitih po tleh votline. Tudi poglobljena tla Ledenice in njen vhod ter bre-



Sl. 5. Geološki položaj Taborske jame v Taborski sinklinali

Fig. 5. Geological situation of Taborska jama within the Tabor sinkline

zence med Permetovo in Veliko dvorano, še posebej pa številni skalni bloki okrušenega stropovja po tleh zgovorno pričajo o porušenih primarnih rovih, ki imajo dna skrita pod avtohtonimi in alohtonimi sedimenti.

JAMSKI SEDIMENTI

V Taborski jami imamo opraviti z raznovrstnimi avtohtonimi in alohtonimi sedimenti. S sigami, grušči in podornimi skalami ter raznobarvnimi ilovicami je jama zapolnjena skoraj do stropa. Sedimenti povsod pokrivajo skalno dno. Prvi boljši profil sedimentov je razkrit v odkopanem prehodu iz Ledenice v Srebrno dvorano. V začetku tega prehoda je razkrita rdeča ilovica (2.5 YR 4/8) z drobnim peskom, nad njo pa je plastnata rdeča siga in potem debelejši grušč oziroma podorne skale. Ko se vzpenjamo skozi prehod v Srebrno dvorano, vidimo, kako rdeča ilovica prehaja v rjavorumenkasto (10 YR 6/6) ilovico. To pokrivajo podorne skale v rumeni ilovici (10 YR 7/6) in nato droban grušč. Ti klastični sedimenti so pokriti s skorjo in stalagmiti dvoplastne sige, ki sestavlja tudi stropne stalaktite.

V Veliki dvorani in Blatni dvorani je rdeča ilovica delno razgaljena po tleh, ob stenah in tudi v stropnih zajedah. Pokrita je s plastnato rdečkasto sigo in podornimi skalami ter belimi kapniki in ponvicami. Na prehodu iz Velike dvorane v Blatno dvorano (t. 21) je razlomljen steber rjavkaste in grobozrnate sige, obdan z rumenkastordečo ilovico (5 YR 5/6), vse skupaj pa z belo sigo.

Ob turistični stezi med t. 27 in 28 je videti posedeno, od skalne stene 4 m odmaknjeno, 3 m široko kopo sige. Med rebri so ostanki zasigane močne rjave ilovice (7.5 YR 5/6), ki kaže, da je bila kopa zalita z ilovico, ko je še stala ob steni. Okoli kope so nepravilno razmeščeni podorni bloki stropovja, na njih pa rastejo cipresasti in svečasti stalagmiti iz bele sige. Iz te sige so najlepše stalagmitne tvorbe v Veliki dvorani, med njimi t. i. Županov kapnik in Prestol neznanega junaka.

Tudi v Matjaževi dvorani in Zadnji dvorani so razvidni podrti kopasti kapniki in rumenkastordeče (5 YR 5/6) ilovice na njih. Ilovnata tla pokriva plast bele najmlajše sige, ki se ponekod zvišuje v skupine kapnikov, kot npr. v Prestol kralja Matjaža. Ta skupina ima v sredici verjetno starejšo sigo. Za razliko od Velike in Srebrne dvorane, kjer so sedimenti bolj pestri in skupno vsaj 20 m debeli, je v Matjaževi in Zadnji dvorani sedimentov manj. Sestavljeni pa so iz dveh generacij sige in rumenkastordeče ilovice med njima.

Podatki kažejo, da so sedimenti v Taborski jami naloženi v naslednjem stratigrafskem zaporedju, začenši z najmlajšimi proti starejšim:

- 1 — mlajša bela siga po vsej jami, tako v zgornji 450—460 m, kot v spodnji etaži 425—435 m,
- 2 — droban apnenčev grušč v Permetovi dvorani in podorne skale drugod,
- 3 — rumena ilovica v Permetovi dvorani na višini med 457—462 m,
- 4 — močno rjava ilovica na kopah in stebrih sige v Veliki dvorani, verjetno v zgornjem delu Permetove dvorane ter v Matjaževi dvorani, do višine 460 m,

- 5 — rjava debelokristalna siga v kopah in po tleh dvoran,
- 6 — rdeča plastovita siga ter
- 7 — rdeča ilovica z drobnim peskom in vmesnimi skalami na višinah med 450 in 460 m v primarni legi ter v višinah med 425 in 435 m v sekundarni legi.

Navedeni sedimenti skoraj zapolnjujejo zgornjo morfološko etažo, kjer so v primarni legi, ter delno spodnjo morfološko etažo, kjer so sige primarne, naplavine pa v paravtohtoni legi.

Odprto je vprašanje izvora klastičnih sedimentov, posebej rdeče ilovice. Med tremi možnostmi transporta s prenikajočo vodo, jamsko reko ali dvigajočo podtalnico se nagibamo k domnevi, da je ta ilovica alohtona, prinesena z jamsko reko iz nekraškega zaledja. Za to domnevo govori predvsem droban pesek med to ilovico, ki ga sestavljajo kremenova, sljudna in dolomitna zrna ter ooliti limonita.

Ilovico in pesek je v skalni rov lahko nanese ponorna voda iz jugozahodne smeri, kjer je v zračni oddaljenosti 500 m in v višini pod 480 m ohranjena suha dolina pod V. Lipljenami, ki se prek prevala na 490 m nadaljuje še proti jugu k Staremu Apnu. To območje sestavljajo triasni skrilavci in dolomiti, na njih so še ohranjeni ostanki rdeče ilovice (D. Meze, 1981). Relikt nekdanje ponornice je morebiti ohranjen v današnji Lipenjski vodi, ki ponika v ovalnem zatrepu na 420 m. Fossilna Lipenjska voda je lahko tekla v zgornje rove Taborske jame in dalje proti vzhodu skozi rov Ledenice v više ležeči, starejši zatrep Podlomščice. Kasneje, ko se je znižala, pa je ubrala pot skozi Matjaževo dvorano k iztoku nekje v pobočju nad uravnavo Cerovega na višini 380 m.

Vse kaže, da je bil prvotni zasip rdeče ilovice najprej delno pokrit z rdečo sigo, nato pa skupaj z njo delno erodiran, neravna tla pa pokrita z gruščem in kopasto sigo ter v nekem obdobju ponovno preplavljena z visoko podtalnico, ki je odložila alohtono ilovico. Kombinirani korozijski in razpadni procesi so nadalje oblikovali podorne stožce, predstavljali naplavine v niže ležeče rove bliže aktivnim kanalom pod današnjo dostopno votlino. Pri enem takih razpadnih procesov sta se tudi odprla vhoda v Ledenico in Permetovo dvorano.

Žal še nimamo ustreznih datacij, da bi lahko sedimente, predvsem sige, kronološko uvrstili. Ponujajo se le primerjave s podobnimi stratigrafskimi sekvencami v drugih jamah, predvsem na Notranjskem. Tam imamo več generacij mladopleistocenske sige z vmesnimi ilovicami, peskom in prodrom. Zanimiva je primerjava z najbližjo Križno jamo, kjer se sige menjavajo z ilovicami in kjer se je izrazita rdeča ilovica pokazala za riškowürmsko. Morebiti je tudi naša rdeča ilovica v podlagi vseh drugih sedimentov in siga nad njo riškowürmska. Krovna poplavna ilovica ter siga in grušči so ustrezno lahko iz würmskega glaciala. Bele sige so holocenske.

SKLEPNE UGOTOVITVE

V prvem letu speleogeoloških raziskav Dolenjskega krasa smo preučevali kras Taborskega hrbta in Taborsko jamo v južnem obrobju Grosupeljskega polja. Spoznali smo nekaj novih podatkov, koristnih za nadaljnja preučevanja.

S podrobnejšim kartiranjem smo ugotovili nekatere nove litološko-strukturne elemente, ki dopolnjujejo dosedanje znanje o geološki zgradbi Taborskega hrpta in omogočajo boljše razlage morfoloških in hidrogeoloških razmer.

Zanimivo je predvsem odkritje nepravilnih leč zrnatega roženastega dolomita med liasnim apnencem. Obe kamnini prehajata druga v drugo in se facialno nadomeščata. Gre za mediteranski facies liasa (S. Buser, 1974), ki doslej tod ni bil ugotovljen. Omejitev dolomitnih leč na podrobni karti merila 1 : 5000 bo pomagala pri morfološki analizi kraškega površja, pri pedoloških oziroma geokemičnih tolmačenjih, pa tudi pri hidrogeoloških tolmačenjih podzemeljskih tokov v tem krasu.

Pri strukturni sestavi smo natančneje locirali os Taborske sinklinale in našli več dislokacij. Taborski hrbet je izoblikovan v NNE krilu te asimetrične sinklinale, ki je kljub prelomu ohranila NNE—SSW usmeritev. Le v severnem delu pri Ponovi vasi so bliže prelomnim conam skladi zelo strmo nagnjeni proti WSW, mnoge lezike so spremenjene v drsne ploskve, prevzele so vlogo vzdolžnih prelomov.

Med prelomi prevladujejo dolgi desni zmiki NNW—SSW smeri, v manjšini pa so kratki prelomi in razpoke NNE—SSW smeri, razporejeni peresasto kot natezne deformacije v sestavi zmikov. Razvoj tektonskih deformacij bo možno razvozljati, ko bo v tem smislu pregledan širši teren na stiku zahodnodolenjskih grud z Želimeljsko-ortneško grudo.

Hidrogeološki in hidrokemični podatki odkrivajo zanimiva razmerja med vodami in geološko-morfološko zgradbo hrpta. Ponorne vode tečejo skozi zdrobljene cone apnenca in skozi dolomite ter izvirajo iz dolomita. Tu se postavlja vprašanje o umestnosti teoretičnega gledanja, češ da so tektonske zdrobljene kamnine in dolomiti vododržni. V našem primeru so verjetno NNE—SSW prelomi in natezne razpoke vodopropustne. Izvire v dolomitu Podlomščice bi lahko uvrstili v skupino kraško-razpoklinskih prelomov. Hidrografska zaledja teh izvirov segajo čez Taborski hrbet v Staroapnensko podolje in Medvednico. S sledilnimi poskusi bi bilo treba ponovno preveriti že ugotovljene in domnevne zveze med ponori in izviri.

Z novimi geološkimi podatki smo spoznali, da je Taborska jama razvita v liasnem apnencu NE sinklinalnega krila in sicer v dveh etažah na nadmorski višini 450 in 425 m. Ker so aktivni ponori in izviri nižji, domnevamo aktivno etažo nekje na višini okrog 400 m. Obe suhi etaži, obviseli v kraškem grebenu, sta le še posredno povezani z današnjo hidrografijo.

Prenikle padavine odlagajo sigo in korodirajo skale, premeščajo jamske sedimente v nižje etaže. V jami se odvijajo razpadni procesi, ki odkrivajo fosilne jamske sedimente. Ti so sestavljeni iz alohtonih in avtohtonih sedimentov debeline do 30 m. Stratigrafsko zaporedje kaže alohtono rdečo ilovico v talnini, domnevno na skalnih tleh, potem pa sige, ilovice in grušče ter slednjič belo sigo v krovni. Prvi podatki in primerjave z drugimi jamami kažejo, da je računati s sedimenti mlajšega pleistocena.

Zanimiva je predvsem rdeča ilovica, ker ima elemente kamnin iz ponornega zaledja v Staroapnenskem podolju. Računamo, da je bila naplavljena v jamo v R/W interglacialu. Temu primerno so krovni sedimenti würmski, zasuti

rov zgornje etaže pa je bil seveda aktiven v srednjem pleistocenu. Žal nimamo radiometričnih datacij, da bi lahko predvsem sige natančneje uvrstili, s tem pa tudi vse druge sedimentacijske in erozijske dogodke. Tu bo treba prav tako poseči po podatkih širšega terena, pa tudi po podatkih geomorfoloških analiz kraškega in nekraškega površja.

Zaenkrat lahko sklenemo, da so dosegljivi in doseženi podatki dovolj tehtni za nadaljnje raziskave. Kombinirana metoda speleogeološkega preučevanja pa dovolj vsestranska, da lahko pomaga k poznavanju razvojne zgodovine in aktualnih problemov Dolenjskega krasa.

LITERATURA

- Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU Postojna.
Bohinec, V., 1927: Županova jama. I. poročilo Društva za raziskovanje jam v Ljubljani. Geogr. vestnik, 2 (1926), 156—168, Ljubljana.
Bole, J., 1970: Taborska jama. Zbornik občine Grosuplje, 2, 65—68, Grosuplje.
Buser, S., 1974: Osnovna geološka karta SRS l. Ribnica, tolmač. Zvezni geološki zavod, 1—60, Beograd.
Gams, I., 1974: Kras, zgodovinski, naravoslovni in geografski oris. Slovenska matica, 1—357, Ljubljana.
Geološka karta l. Ribnica 1968. Zvezni geološki zavod Beograd.
Gospodarič, R., 1972: Osnovna speleološka karta SRS, list Cerknica 2 a, 1—171, Arhiv IZRK Postojna.
Habič, P., A. Kranjc., R. Gospodarič, 1974: Osnovna speleološka karta Slovenije. Naše jame, 15 (1973), 83—98, Ljubljana.
Meze, D., 1981: Poplavna področja v Grosupeljski kotlini. Geogr. vestnik, 20 (1980), 35—88, Ljubljana.
Michler, I., A. Šerko, 1952: Postojnska jama in druge zanimivosti krasa. Tur. podjetje Kraške jame Slovenije, 1—66, Ljubljana.
Šlebinger, C., 1969 in 1970: Grosupeljska kotlina in njena geologija. Zbornik občine Grosuplje, I, 53—58, II, 57—64, Grosuplje.
Turnšek, D., R. Gospodarič, 1964: Prispevek h geologiji severozahodne Dolenjske. Tipkopis, Arhiv IZRK Postojna.
Valenčič, S., 1969: Prizadevanja župana Jožeta Permeta. Zbornik občine Grosuplje, I, 111—114, Grosuplje.
Wester, J., 1956/57: Baltazar Hacquet kot jamar. Proteus, 19/1, 6—10, Ljubljana.

SPELEOLOGICAL DATA ABOUT TABORSKA JAMA AND ITS VICINITY

Summary

In 1986 during the speleogeological investigations of Dolenjsko karst we studied the karst of southern Grosuplje polje's border with intention to recognize the quaternary speleogenesis of Taborska jama. The previous knowledge on this karst and caves (Fig. 3 and 4) is gathered in Speleological Map of Slovenia (R. Gospodarič, 1973; P. Habibič, A. Kranjc, R. Gospodarič, 1974) and in different articles of geological, hydrological and speleological content (V. Bohinec, 1927; I. Michler, 1952; J. Wester, 1956—57; D. Turnšek & R. Gospodarič, 1964; S. Valentinčič, 1969; C. Šleibinger, 1969, 1970; J. Bole, 1970; S. Buser, 1974; I. Gams, 1974; D. Meze, 1981).

At detailed area survey on topographic maps 1 : 5.000 we've found:

— irregular bodies of grained, cherty and non-bedded dolomite inliers in limestone, so called mediterranean facies of Liassic stage,

— we inferred the tectonical karst control in Taborska sinkline faulted by right wrench fault of NNW—SSE direction and faults of NNE—SSW direction,

— we gathered the hydrogeological and hydrochemical data proving that ponor waters flow through crushed zones of limestone and through dolomites taking their spring in dolomite T_3 and that in karst springs the water from Taborska jama karst and from non-karstic area around Staro apno appears (Fig. 1 and 2).

The stated geological data showed that Taborska jama developed in bedded limestone of NE sinkline wing (Fig. 5 and 6). The cave has two dry levels 450 and 425 m a. s. l. hanging in the karst ridge and being indirectly connected to active passages under 400 m. In both levels allothonous and autochthonous sediments, up to 30 m thick, were discovered. In footwall there is allothonous red loam with sand followed by flowstones, brown loam and gravel and finally white flowstone. Relative datation and comparison to other caves show that allothonous sediments belong to R/W interglacial probably. In that time the water flew through Taborska jama in the altitudes between 425 m and 450 m being for about 100 m higher than the actual springs on the southern Grosuplje polje's border.

PONORNA JAMA GOLOBINA NA LOŠKEM POLJU

THE PONOR CAVE GOLOBINA ON LOŠKO POLJE

PETER HABIČ

Izvleček

UDK 551.442 : 556.3(497.12 Golobina)

UDK 556.3 : 551.442(497.12 Golobina)

Habič Peter: Ponerna jama Golobina na Loškem polju

V 850 m dolgi in 37 m globoki ponorni jami na Loškem polju (Slovenija, Jugoslavija) so ugotovljene štiri poglavitne razvojne faze in opisane njene hidrološke razmere v odvisnosti od naravnega in reguliranega odtoka z Loškega na Cerknjsko polje. Ob srednjih vodah je gladina v jami pod vplivom Cerknjskega jezera, ob nizkih in visokih vodah pa je pogojena s pretoki ponikalnice Obrh in lokalno prepustnostjo podzemeljskih kanalov.

Abstract

UDC 551.442 : 556.3(497.12 Golobina)

UDC 556.3 : 551.442(497.12 Golobina)

Habič Peter: The Ponor cave Golobina on Loško polje

In 850 m long and 37 m deep ponor cave on Loško polje (Slovenia, Yugoslavia) four main development phases were stated and its hydrological conditions dependent on natural and regulated outflow from Loško to Cerknjsko polje are described. At medium waters the water level is influenced by Cerknica lake, at low and high waters it is conditioned by Obrh sinking stream discharge and local permeability of underground channels.

Naslov — Address

dr. PETER HABIČ, znanstveni svetnik
Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU
66230 Postojna, Titov trg 2
Jugoslavija

UVOD

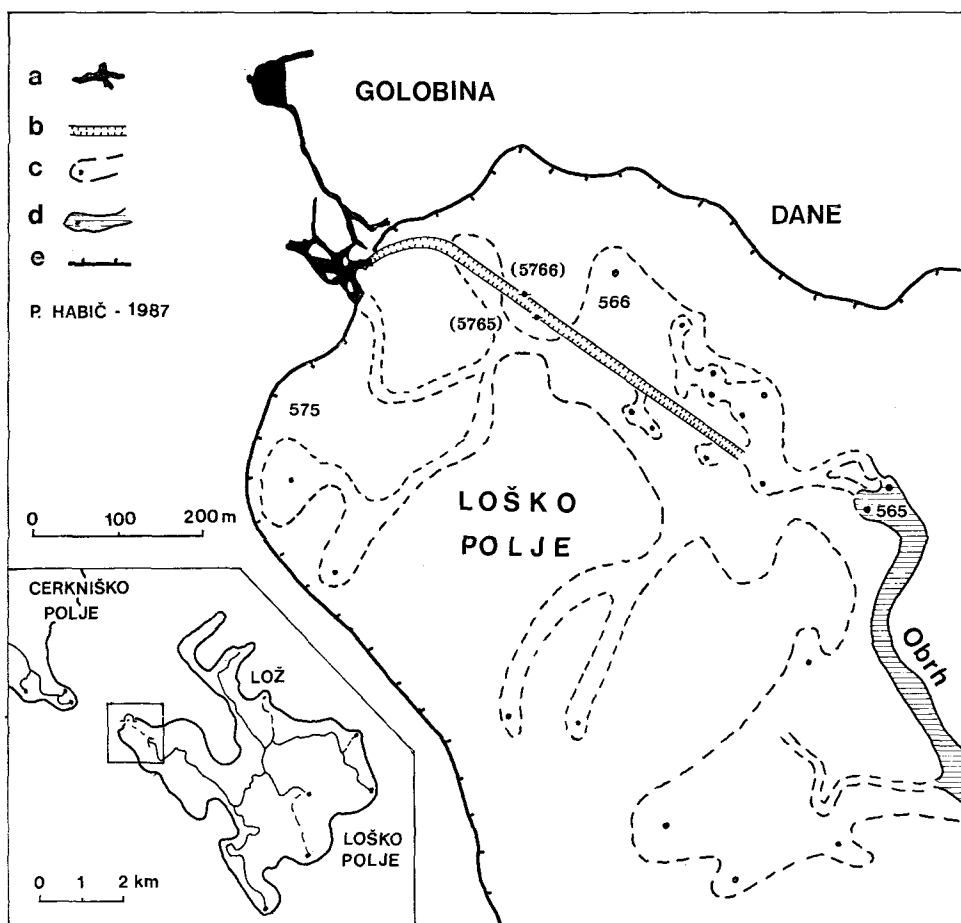
Najpomembnejša ponorna jama v predelu med Loškim in Cerkniškim poljem doslej še ni bila podrobneje opisana. Zelo skromni so tudi podatki o regulacijskih delih v tej jami, ki so že na prvi pogled očitni. Obrh ponika na Loškem polju navadno že okrog 500 m pred Golobino. Vanjo so se pred regulacijo lahko prelivale le poplavne vode, ker je njen vhod okrog 9 m nad dnom polja. Golobino so uvrščali med tiste ponorne jame na obrobju kraških polj, ki so aktivne predvsem ob poplavih. Domnevali so, da bi z umetnim znižanjem vtoka vode v podzemlje znižali in skrajšali poplave. Ta zamisel je bila na Loškem polju razmeroma uspešno realizirana, čeprav posledice regulacije niso dovolj preučene.

Z raziskovanjem postojnskega, cerkniškega in planinskega jamskega sistema je bilo v zadnjih desetletjih bistveno dopolnjeno znanje o razsežnosti jam na obrobju kraških polj v porečju Ljubljane pa tudi o tamkajšnjih speleogenetskih procesih in hidroloških razmerah. Golobina je bila ta čas nekako v senci, ker v njej ni bilo večjih novih odkritij. S hidrološkimi opazovanji v zadnjih letih in s prizadevanjem domačih jamarjev pa smo tudi v Golobini prišli do novih spoznanj o razsežnosti in razvoju odtočnih rogov med Loškim in Cerkniškim poljem. Raziskave še niso končane, dosednji izsledki pa lahko vzpodbudijo nove in so koristni za širše speleološke primerjave.

KRATEK PREGLED RAZISKAV

Večina raziskovalcev notranjskih kraških polj je doslej bolj obravnavala kraške pojave Cerkniškega jezera, manj pa one na Loškem polju. Dober pregled obstoječe literature o tem je nedavno podal A. Kranjc (1986). Nekaj podatkov o Golobini je tudi v razpravi o kraških pojavih Cerkniškega polja (R. Gospodarič, P. Habič, 1979, 57). Med starejšimi raziskovalci je treba omeniti A. Schmidla (1854, 292), ki opisuje obisk Golobine leta 1853 v spremstvu domačina iz Dan. V jami sta bila okrog 54 klafter globoko, po trditvah vodnika pa je jama še enkrat tolikšna, vendar zaradi vode nista mogla do kraja. Zanimiv je tudi Schmidlov predlog, da bi s prekopom od požiralnikov Obrha pri Danah do Golobine zmanjšali poplave, ker sicer voda precej naraste, predno doseže vhod v najpomembnejši odtočni rov. Domnevamo lahko, da izhaja ta predlog od domačinov, saj so jamo in poplave dobro poznali.

Loško polje se po morfoloških in hidrografskih razmerah precej razlikuje od Cerkniškega in Planinskega polja. Požiralniki so razporejeni v razmeroma ozkem kotu pod Danami. Voda se izgublja v sami strugi Obrha in v kratkih stranskih zatrepih ob njej, dobrih 500 m pred višjim skalnim obodom, kjer je vhod v Golobino (sl. 1).



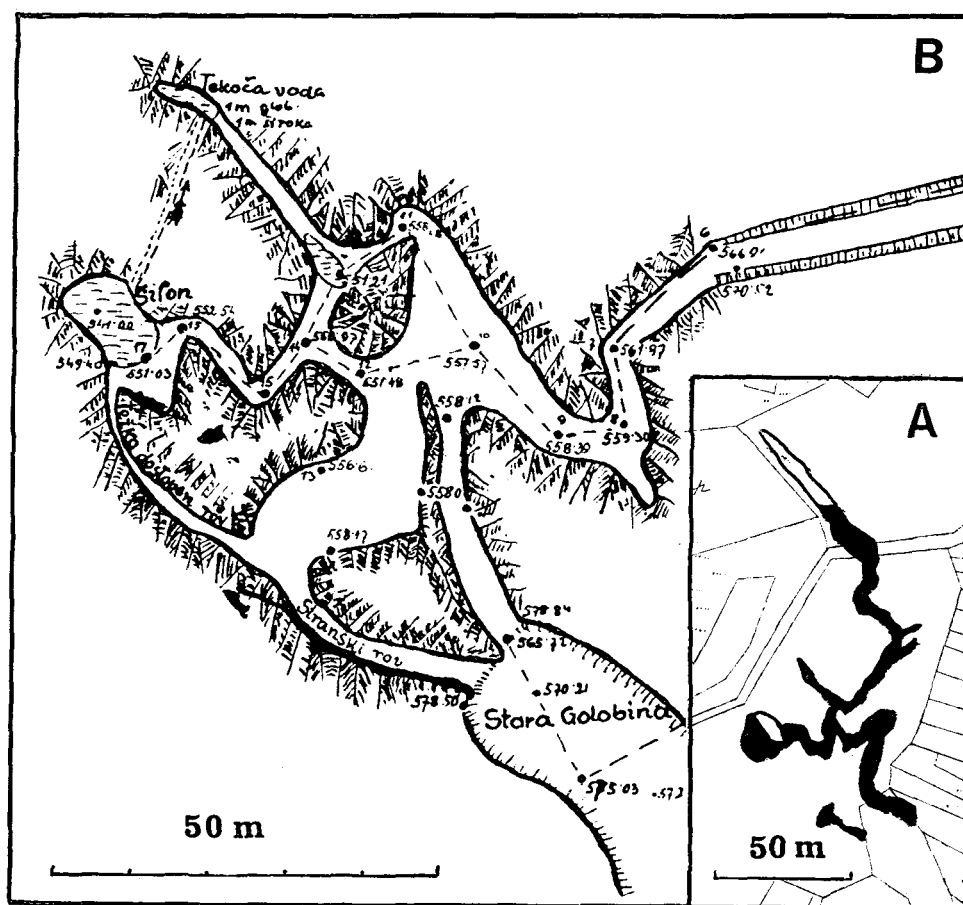
Sl. 1. Položaj Golobine in požiralnikov na Loškem polju
a — jama, b — umetni kanal, c — občasni požiralniki, d — stalni požiralniki, e — skalni obod polja

Fig. 1. Golobina and swallow holes situation on Loško polje
a — cave, b — artificial channel, c — periodical swallow holes, d — permanent swallow holes, e — rocky polje's border

Visoke vode poplavijo predvsem ožji severozahodni del polja. Po obsegu in trajanju so poplave na Loškem polju bistveno manjše od onih na Cerkniškem. Predno so skopali umetni kanal v 5 do 8 m visoko skalno polico in z umetnim rovom omogočili odtok Obrha v Golobino na koti 567, so bile poplave v Loški dolini pogostejše in višje. Ogrožale so rodovitno polje pri Danah, Podcerkvi in Nadlesku, segle pa so tudi do samih vasi in jih večkrat resno ogrožale. Schmidl (1854) omenja zelo visoko poplavo v letu 1851, ko je voda segla do vhoda v grad Snežnik in so bile mnoge vasi poplavljene. Natančna višina te

poplave ni znana, domnevamo pa, da je voda dosegla višino okrog 580 m. Visoke poplave so bile tudi leta 1881, nakar so z Dunaja poslali na Kranjsko najprej F. Krausa, nato pa V. Puticka, da bi našla kakšno rešitev za odpravo poplav na notranjskih kraških poljih. F. Kraus (1894, 149) je objavil Putickovo skico visokih voda na notranjskih poljih, kjer je za leto 1851 zarisana gladina na Loškem polju v višini 570 m, vhod v Golobino pa je označen s koto 569.

Podobno kot Schmidl sta načrtovala regulacijo odtoka iz Loškega polja tudi R. Vicentini (1875) in V. Putick (1888). Dela so po Putickovem načrtu izvedli v letih od 1901 do 1906 (F. Jenko, 1954, 53). Umetni rov v Golobino je pospešil odtekanje srednjih voda, kar se pozna sedaj na skrajšanju in znižanju poplav.



Sl. 2. Načrt Golobine, A — po Puticku (1888), B — DZRJ

Fig. 2. Golobina plan (A — according to Putick, 1888, B — DZRJ)

Po položaju in velikosti Golobine sklepamo, da je ta jama le del prvotnih odtočnih rogov iz Loškega na Cerknjsko polje. Skozi dvojni stropni udor je jamarško dosegljiv le začetni razvejani del odtočnih kanalov. Vanje sedaj lahko pridemo tudi po 15 m dolgem umetnem vhodu, ki so ga skopali 8 m niže od naravnega. Golobino so jamarji večkrat raziskovali in merili. V arhivu Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU je ohranjena kopija Putickove skice Golobine (slika 2) iz časov pred regulacijo. Drugi načrti so bili izdelani že po regulacijah. Leta 1929 so Golobino raziskovali člani Društva za raziskovanje jam iz Ljubljane (M. Bukovec, B. Koman, B. Delak, R. Kenk, J. Kos, A. Seliškar, B. Urbančič in J. Sketelj). Njihovi načrti pa se razlikujejo od Putickovih in drugih, zato smo leta 1970 ponovno izmerili Golobino (R. Gospodarič, P. Habič in A. Vadenjal) in načrte dopolnili z meritvami leta 1985 in 1986 (J. Hajna, P. Habič, S. Morel in T. Slabe). Ob izredno nizkih vodah v avgustu 1985 smo lahko prvič obiskali rove za sifonom, izmerili pa smo tudi rove, ki so jih našli domači jamarji iz Loža in Bloške Police (priloga 1).

S primerjavo raznih skic in načrtov smo ugotovili, da so bili po regulacijskih delih v jami nekateri rovi zasuti. Ko smo zasute vhode odkopali, smo prišli v že znane rove, ki so vrisani na Putickovem načrtu, kasnejši raziskovalci pa jih niso našli. Po umetni razširitvi ozkih prehodov so bile vgrajene mreže, ob katerih se je nabralo precej dračja in naplavljenega lesa. Tako se je zgodilo tudi v Golobini kot v Karlovcih, Tkalc in Najdeni oziroma Lippertovi jami, da je Putick prišel globlje v notranjost kot generacije kasnejših jamarjev.

Ob izredno ugodnih vodnih razmerah, ko se je gladina sifonskega jezera nenavadno znižala, so bili leta 1985 odkriti tudi novi rovi. S tem se je znanje o razporeditvi in značilnostih poglavitnega jamskega sistema na odtočni strani Loškega polja bistveno dopolnilo. V smeri proti Cerknjskemu polju kot tudi na obrobju Loškega pa ostaja še precej neznanega podzemlja. V Golobini je skupno izmerjenih 850 m rogov s 37 m višinske razlike. Jama je v celoti izoblikovana v skladovitih jurskih apnencih, ki so nagnjeni za 20° proti SW. Sekajo jih številni dinarsko usmerjeni prelomi in razpoke v smereh N—S in NE—SW. Nekaj sto metrov NE od Golobine poteka znana idrijska prelomna cona in ob njej so vode iz Loškega usmerjene na Cerknjsko polje.

MORFOLOŠKI OPIS

Vhodni rovi

Do vhoda v Staro Golobino nas privede plitva struga, zarezana v višjo skalno polico Loškega polja. Pod skalnim pragom struge v višini 573 m se odpira okrog 10 m globok in prav toliko širok ter do 25 m dolg udor v jamskem stropu. V njegovem severozahodnem obodu se odpirata dva rova. Nad višjim južnim je majhno stropno okno, nižji severni rov pa vodi navzdol v razširjene rove in dvoranice. Vanje pridemo tudi skozi umetni, 15 m dolgi in 5 m široki in do 2 m visoki vhodni rov Nove Golobine (slika 3). Za umetnim vhodom je okrog 40 m dolg prostoren rov, ki je na obeh straneh (pri t. 7 in 19) zasut, v sredini (med t. 6 in 8) pa je povezan z vhodnimi rovi Stare Golobine. Spodnji vhodni rov je najnižji med t. 9 in 11, pri t. 12 pa obvisi s skalnim pragom (slika 4)



Sl. 3. Umetni kanal in v. vhod v Novo Golobino (Foto: P. Habič)

Fig. 3. Artificial channel and entrance to New Golobina (Photo: P. Habič)

v steni Jezerske dvorane. Vanjo pridemo lahko tudi po Gornjem rovu (med t. 13 in 18).

V Jezerski dvorani se torej združujejo vhodni rovi, ki so razporejeni v različnih višinah. V njenem dnu pa se zadržuje sifonsko jezero, katerega gladina niha skladno s pretoki Obrha in vodnimi razmerami na Cerkniskem polju. Potapljači so že nekajkrat poskusili premagati odtočni sifon v dnu Jezerske dvorane, a brez uspeha. Ob zelo nizki vodi leta 1985 pa se je gladina jezera toliko znižala, da je bil možen prehod skozi prvo sifonsko grlo in okrog 40 m naprej po sifonskem rovu. Tretje sifonsko grlo na kraju rova je ostalo do stropa zalito in doslej še ni premagano. Po vsej verjetnosti se tam nadaljuje poglavitni odtočni rov v smeri proti izvirom Cerkniskega Obrha.

Med prvim in drugim sifonskim grlom smo leta 1985 našli prehod v višji stranski rov, ki pa ga takrat nismo do kraja pregledali. Do njega smo prišli naslednje leto skozi odkopano ožino (pri t. 80), ko je bila gladina v Jezerski dvorani skoraj 4 m višja in je bilo sifonsko grlo popolnoma zalito. Vhod v odkopani rov (pri t. 80) so ob regulacijskih delih zamrežili z dvojnim lesenim križem (slika 5), ob katerem se je kasneje nabralo precej lesa, dračja in grušča. Zasukatega vhoda številni kasnejši jamarji niso opazili. Šele pred nekaj leti pa so jamarji našli in odkopali sosednji vhod v Ozki rov.



Sl. 4. Spodnji rov pred Jezersko dvorano (Foto: P. Habič)

Fig. 4. Lower channel before the Lake hall (Photo: P. Habič)

Odkopani rov

Takoj za lesenim križem je v Odkopanem rovu vidno umetno širjenje prvotnega špranjastega rova, ki ga je poznal že V. Putick. Niti Odkopanega niti Ozkega rova pa niso našli jamarji med raziskovanjem in merjenjem leta 1929. Jezerce na kraju vhodnega dela Odkopanega rova je verjetno ustavilo Puticka, mi pa smo ga leta 1986 obšli in nadaljevali pot po špranjastem rovu proti severu do ozkega sifonskega jezera (pri t. 9). Vodna gladina v tem jezeru je bila nekaj metrov višja kot v Jezerski dvorani, a v isti višini kot Janezovo jezero v Ozkem rovu. Med njima je očitna sifonska zveza.

Ozki rov

Vhod v Ozki rov so pred nekaj leti odkopali jamarji iz Dan in Bloške Police (Janez Kandare in Alojz Troha). Po 25 m plazenja skozi 0,5 m široko in do 3 m visoko špranjo pridemo do Križišča. Od tam vodi proti jugovzhodu nizek



Sl. 5. Vhod v odkopani rov
Fig. 5. Entrance to dug channel

elipsast skalni rov, ki je ob prečni razpoki kolenasto zavrt navzdol. Leta 1985 je bila v njem vodna gladina v višini okrog 545 m, ali dobrih 5 m nad gladino v Jezerski dvorani. Leta 1986 je bilo koleno ali Štirna zalito do zgornjega roba, razlika med gladino v Jezerski dvorani pa je bila minimalna.

Od Križišča (t. 33) se Ozki rov nadaljuje proti severozahodu. Prečkajo ga razpoke, ob katerih so značilne špranjaste razširitve v stenah in stropu. Rov je po dnu zasut z gruščem in prodrom, ki pa prenaša sedanji vodni tok. Drobir se kopiči ob zagozdenem lesu v ožinah. Oblika Ozkega rova se precej spremeni (pri t. 40), kjer zavije v smeri razpoke proti severu. Med podornimi skalami ob Bočnem podoru smo našli rov, ki zavije nazaj proti jugovzhodu in po njem smo prišli do Nizkega jezera z gladino v isti višini kot v sosednji Štirni. Od tam se rov stopnjasto vzpenja med podornim skalovjem in razjedenim stropom do dveh blatnih kaminov (pri t. 73 in 74). Izprana tla v rovu dokazujejo, da priteka voda iz zasutega nadaljevanja, ki je le dobrih 10 m pod vhomom v Novo Golobino. Ilovica v stropnih kaminih je odložena v poplavni coni, kar pomeni, da v tej višini visoka voda že zastaja.

Visoki rov

Podorni del Ozkega rova se (pri t. 42) zoži v nekaj metrov visoko špranjo ob Širokem kaminu. Vrh tega kamina očitno sega v poplavno cono, saj je od tam nasuta ilovica. Bočni podor in Široki kamin sta izoblikovana ob dinarskem prelomu, ob katerem se rov nadaljuje v kolenasto zaviti prehod z Janezovim jezerom. Do tega jezera je očitno prišel že Putick, naprej pa je prvi prodrl Janez Kandare iz Dan in prišel do velike dvorane. Za Janezovim jezerom se Visoki rov nadaljuje ob prečni špranji z Ozkim jezerom, za katerim pa se špra-

njasti rov spet nekoliko razširi. Ob zahodni steni tega rova je (pri t. 53) z ilovico zasut star rov, nekoliko naprej pa se (pri t. 55) odpira nad plitvim jezercem nizek prehod v Veliko dvorano.

Velika dvorana

Kolenasto zaviti rov na kraju Visokega rova nas privede v 70 m dolgo in 40 m široko ter do 10 m visoko dvorano, ki je razen na južni in severni strani do strmih skalnih sten zalita z vodo. Globine jezera v Veliki dvorani še niso izmerjene. Vsekakor pa je to največja votlina v celotni Golobini in pravo nasprotje ozkih in zavitih vhodnih rovov. Sodelavci Hajna, Morel in Slabe so leta 1986 preplezali ozek skalni prag v severozahodnem kotu dvorane, kjer pod stropom zeva odprtina. Presenetil pa jih je sifonski kotel onkraj ozkega skalnega praga. Kje se rov sifonsko nadaljuje, še ni znano. Na nasprotnem koncu dvorane ali severno od vstopnega rova se pod stropom nadaljuje nizek blatni rov, imenovan Plazilnica. Ožine in blato so onemogočili nadaljnje prodiranje.

Vodna gladina v Veliki dvorani je bila leta 1985 okrog 8 m nad najnižjo gladino v Jezerski dvorani. Jezero v Odkopanem rovu ter Janezovo in Ozko jezero hranijo, podobno kot Velika dvorana, ujeto vodo in niso v neposredni zvezi z odtokom nizkih voda. Ob poplavam so rovi z omenjenimi jezери očitno do stropa zaliti.

VODNE RAZMERE V GOLOBINI

Ob nizkih vodah, ko ponika ves Obrh v požiralnikih okrog 500 m pred Golobino, so vhodni rovi suhi in voda stoji le v Jezerski dvorani. Tu smo jo doslej našli v višinah med 540 in 550 m. Uravnava jo dotok po neznanih žilah pod skalno polico polja. V umetni strugi sta dve brezni, kat. št. 5765 in 5766, ki nakazujeta podzemeljsko prevotljenost. Ker so izviri Cerkniškega Obrha in Cemuna v višini med 545 in 550 m, so gladine v Golobini vsaj občasno pod vplivom Cerkniškega jezera. Sklenjen vodni tok v severnem odtočnem kraku je možen šele, ko je gladina v Jezerski dvorani nad 550 m. Ker ta del jame tedaj ni dostopen, ni znano, koliko vode se dejansko pretaka skozi Golobino.

Na zunaj vidno vlogo ponorne jame prevzame Golobina šele, ko se Obrh prelije po umetni strugi skozi Novo Golobino. Tedaj so praktično zaliti tudi vhodni rovi, saj je prag Nove Golobine v višini okrog 567 m.

V Golobini ločimo torej štiri poglavitne hidrološke faze. Ob najnižjih vodah teče skoznjo le manjši del voda iz Loškega polja. Gladina v Jezerski dvorani je 4 do 5 m pod dnom Cerkniškega polja. Podzemeljski tok Obrha sicer uravnava višino vode v sifonskem rovu, odteka pa po neznanih rovih mimo Golobine. Barvanje požiralnikov Obrha leta 1961 je pokazalo, da del vode zastaja v podzemlju, saj se je del barve pojavil v izviri Cerkniškega Obrha šele ob ponovnem dvigu gladine po 12 dneh (I. Gams, 1963). Ob srednjih vodah so zaliti rovi severnega odtočnega kraka, gladina v Jezerski dvorani se dvigne za okrog 10 m in se uravnava z gladino v izviri na Cerkniškem polju. Ob visokih vodah se Obrh prelije po strugi v Golobino in zalije večino vhodnih rovov. Odtok se zaradi manjše prepustnosti celotnega podzemlja med Loškim in Cerkniškim po-

ljem zajezuje in poplava na Loškem polju narašča neodvisno od one na Cerkniskem. Višje ležečih rovov, ki jih ne bi dosegle poplavalne vode, doslej še nismo našli.

NEKATERE SPELEOGENETSKE ZNAČILNOSTI

Prečni preseki rovov

Vhodni rovi so preoblikovani z mehanskim razpadanjem, ki je tod očitno prevladalo po podornem nastanku stropnega vhoda. Prvotni rov v Golobino je zasut nekje v skalni terasi polja. Skozi stropni in umetni vhod vdira v Golobino hladen zrak in jama je v sedanjih razmerah precej hladna. Grušč v vhodnih rovih in oblikovanost sten odražajo mehansko preoblikovanje pod vplivom zmrzali. Skozi umetni vhod pa nanaša voda v vhodne rove razno plavje, les, dračje pa tudi druge odpadke, ki jih pobere po polju.

Značilen okrogel erozijski profil je ohranjen v delu Gornjega rova, na njegovem dnu pa je izoblikovan plitev koritast kanal. Podoben prečni profil v živi skali je ohranjen tudi v spodnjem rovu tik pred Jezersko dvorano. Ti rovi so očitno nastali v freatični coni in odražajo prvotno izvotlitveno fazo. S kasnejšimi procesi niso bili povsod enako preoblikovani. Kjer je prevladalo razpadanje, je prvotno skalno dno prekrito s podornim skalovjem in gruščem. To se je lepo pokazalo ob regulaciji v podzemlju, ko so nasute predele skušali izravnati, da bi pospešili odtekanje.

Posebna speleomorfološka enota je Jezerska dvorana, ki je nastala ob prečnih prelomnih razpokah. Zahodna stena je razmeroma gladka in ob njej je globoka sifonska kotanja. Bolj razčlenjena je severna stena, kjer prevladujejo značilne nožaste oblike. Pritočni rovi vanjo so razporjeni v dveh višinah, še nižje pa vodi iz nje sifonski odtočni rov. Prvotnega dna ni videti, ker je prekrit s podornim skalovjem, ilovico in plavjem.

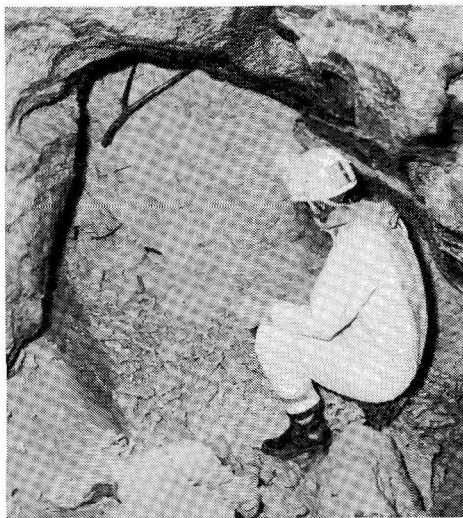
V Ozkem, Visokem in Odkopanem rovu prevladujejo pokončni špranjasti prečni preseki, ker so izoblikovani ob prelomih in prečnih razpokah. Skladi jurskega apnenca so precej položni in deli Ozkega rova, Štirne in Nizkega jezera so elipsasto izoblikovani ob lezikah. Navpične in podolžne elipsaste špranje niso ob vseh razpokah enako razširjene, kar je najbrž odvisno od strukture. Ponekod so rovi širši, drugod ožji, na kar je poleg erozijsko korozijskega procesa vplivala struktura.

Tektonsko bolj zdrobljene in manj stisnjene cone je voda lažje spirala in širila, zato so rovi v posameznih odsekih različno prostorni, najbolj pa v tem pogledu preseneča Velika dvorana. Njen položaj je prav nenavaden, še posebno, ker ne poznamo odtočnega nadaljevanja. Ožine v posameznih rovih dokazujejo, da je izoblikovanje špranjastih rovov razmeroma mlado. Po vsej verjetnosti so ti rovi drugotnega nastanka in skušajo nadomestiti drenažno vlogo starejših zasutih in porušenih kanalov.

Zasuti rovi

V spodnjem vhodnem rovu (pri t.11, sl.6) je z ilovico do stropa zasut rov okroglega profila. V podlagi svetlorumene pasovite ilovice so tipične lutkaste konkretije, ki so sicer značilne za puhlico. Ilovica in karbonatni sprimki so

očitno iz ene starejših speleogenetskih faz. Ohranjeni so v mrtvih rovih, ki so bili zasuti in izločeni iz hidrografske funkcije. Podobne zasute odseke rogov smo opazili tudi v Ozkem in Visokem rovu (pri t. 37 in 55). Debele plasti ilovice so odložene v Veliki dvorani, kjer ločimo starejše pasovite in mlajše nepasovite naplavine. Z ilovico so zasuti tudi višje ležeči rovi v poplavni coni ob obeh Blatnih in Širokem kaminu.



Sl. 6. Zasuti rov (pri t. 11)
Fig. 6. Filled up channel (at point 11)

Sledovi tekoče in stoječe vode

Fasete v skalnih rovih so najbolj značilna sled tekoče vode. Ohranjene so v starem Gornjem rovu, še posebno izrazite pa so v Odkopanem in Ozkem rovu, kjer so zaradi ožin hitrosti večje. Korozijski učinek počasnejšega pretakanja je lepo viden v Štirni in pri Nizkem jezeru, kjer so rovi izoblikovani med skladi. Skoraj okrogle prodnike in zaobljene večje skale pa smo našli v Visokem rovu in ob vhodu v Veliko dvorano. Tu gre verjetno za lokalno vrtnčenje proda v posameznih kotanjah, zato velika zaobljenost ni posledica dolgega transporta.

V zalitih rovih severnega odtočnega kraka prekriva skalne stene in sigo temna manganska skorja. Izloča se iz zastajajoče, s kisikom osiromašene vode. Očitno je mlajša od sige in kapnikov, ki jih je največ na skalah Bočnega podora in v špranjastem Visokem rovu. Sige so ponekod prekrite s poplavno ilovico, v vhodnih rovih pa so razpadle in erodirane.

SKLEPNE UGOTOVITVE

Na podlagi dosedanjih raziskav Golobine moremo opredeliti naslednje speleogenetske faze:

1. Prva izvotlitvena faza je nakazana z erozijsko korozijsko izoblikovanimi odtočnimi rovi v freatični coni. Mrežasto prepleteni vhodni rovi so v različnih višinah. Njihovega nadaljevanja ne poznamo, sedaj se združujejo v isti sifonski kotanji, zato je njihov etažni razvoj vprašljiv.

2. Izvotljevanju je sledilo odlaganje pasovite rumenorjave ilovice vsaj v spodnjih, če ne v večini freatičnih rogov. Vzrok za to akumulacijsko fazo še ni pojasnjen, morda je skupen s sedimentacijo starejših naplavin na skalni podlagi osrednjega dela Cerkniškega in Loškega polja.

3. Po zaključku akumulacije so spremenjene hidrološke razmere omogočile delno odstranitev ilovice iz prvotnih rogov pa tudi izvotljevanje novih skalnih rogov. S to fazo je verjetno povezano podorno preoblikovanje vhodnega dela Golobine, označimo jo kot ponovno izvotljevanje.

4. Mlajša preoblikovalna faza, v kateri sledi odlaganje sige v občasno suhih rovih, odraža bolj sušno obdobje. Prek starih sig je odložena mlajša poplavna ilovica, predvsem v višje ležečih rovih, medtem ko je v spodnjih zalitih rovih tedaj nastajala črna manganska obloga, kar povezujemo z bolj namočenim obdobjem in trajnejšimi poplavami. Čeprav ni na voljo podatkov o starosti z manganom prekritih belih sig, domnevamo, da se v teh pojavih odražajo postglacialne in holocenske klimatske spremembe.

5. Sledi obdobje umetnih posegov v jamske rove in v drenažni sistem z regulacijami na površju in v podzemlju. Vidne so umetne spremembe v vhodnih rovih, zaradi pospešenega odtoka pa je globlje po rovih prestavljen in delno zaobljen grušč iz vhodnih rogov. Podobno velja tudi za les in drugo plavljje, ki ga je voda vkljub lesenim grabljam in mrežam ob vhodih odplavila v jamo.

Prvo razvojno fazo Golobine lahko primerjamo s poglobljanjem živoskalnega dna na Cerkniškem polju in z vrezovanjem ozkih skoraj kanjonskih dolin v vzhodnem delu Loškega polja. Podobno kot na poljih je tudi v Golobini sledila akumulacija ilovice. Kasnejšemu vrezovanju površinskih strug v naplavine ustreza v podzemlju faza ponovnega izvotljevanja. Večina starih rogov je izpraznjenih, sedimenti pa so ohranjeni v tistih delih, kjer se pretakanje iz različnih vzrokov ni obnovilo. Odločilni pri tem so bili zlasti podori, ki so zasuli posamezne rove, k temu so verjetno prispevali mladi tektonski premiki, saj leži Golobina neposredno ob aktivni idrijski prelomni coni, ki seka tako Cerkniško kot Loško polje.

Sušno obdobje, ki je v podzemlju pospeševalo rast kapnikov v sedaj še vedno poplavljenih rovih, na površju ni zapustilo posebno izrazitih sledov. Podobno velja tudi za naslednje bolj humidno obdobje, ko so bili nižji deli Loškega polja bolj pogosto poplavljeni. Na Cerkniškem polju nakazujejo to vlažno obdobje številne zasute struge (R. Gospodarič, P. Habič, 1979), karšnih na Loškem polju še ne poznamo.

S pogostejšimi poplavami se je v drugi polovici preteklega stoletja začel boriti človek. Vprašanje pa je, ali gre v tem primeru za isto poplavno obdobje, ki smo ga zasledili v podzemlju, ali za mlajše, ki v jami ni zapustilo vidnejših

sledov. Vsekakor je človek z regulacijo ponornih jam skušal skrajšati in znižati poplave na Loškem polju. Posegi so vidni v vhodnih delih, učinki melioracij pa globlje v podzemlje med Loškim in Cerknjskim poljem niso segli. Poglavitnih vzrokov za zastajanje voda ni bilo mogoče odpraviti s poglobljanjem vhodnih strug, niti z odpiranjem umetnih vhodov. Del odtočnih rogov sega pod višino poplavne vode in celo pod višino skalnega dna Cerknjskega polja. Razporeditve više ležečih rogov med Loškim in Cerknjskim poljem pa še ne poznamo.

Z delnimi regulacijami v Golobini je vendarle pospešen odtok, ker je umetni vhod nadomestil zasute kanale med poljem in Golobino. Poplave na Loškem polju niso več tako hude kot v prejšnjem stoletju. Koliko pa so k temu prispevale tudi spremenjene klimatske razmere, bo treba še preučiti.

LITERATURA

- G a m s, I., 1965: Aperçu sur l'hydrologie du Karst Slovine et sur ses communications souterraines. Naše jame VII/1965, 51—60, Ljubljana.
- G o s p o d a r i č, R., P. H a b i č, 1979: Kraški pojavi Cerknjskega polja. Acta carsologica, 8 (1978), 11—156, Ljubljana.
- J e n k o, F., 1954: Zgodovina raziskav in vodnega gospodarstva v porečju Ljubljane. Vodnogospodarske osnove porečja Ljubljane, Splošno 1, Projekt nizke zgradbe, Ljubljana.
- K r a n j c, A., 1986: Cerknjsko jezero in njegove poplave. Geografski zbornik, XXV (1985), 71—122, Ljubljana.
- K r a u s, F., 1894: Höhlenkunde. Verlag C. Gerold's Sohn, pp. 308, Wien.
- P u t i c k, V., 1888: Generalproject zur unschädlichen Ableitung der Hochwässer aus den Kesselthälern von Planina, Zirknitz und Laas-Altenmarkt in Innerkrain. Archiv podjetja za melioracije v Ljubljani.
- S c h m i d l, A., 1854: Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas. Kais. Akad. Wiss., Wien.
- V i c e n t i n i, R., 1875: Bonifacio della valli di Laas, Zirknitz, Planina e Lubiana.

THE PONOR CAVE GOLOBINA ON LOŠKO POLJE

Summary

The sinking stream Obrh sinks on Loško polje in inaccessible swallow holes between 565 and 567 m a. s. l. and about 500 m before the entrance to the Golobina cave (Fig. 1). It lies on the polje's border 575 m a. s. l. and is reached by the surface by flood waters only. Through the roof collapse the siphon lake can be reached by the network channels: the lake's level oscillates between 540 and 570 m, controlled by Obrh discharge and Cerknica lake water table as well as by outflow damming because of limited permability of about 2 km wide ridge between Loško and Cerkniško polje.

Because of frequent floods in the middle of the past century it was dug up according to proposals of A. Schmidl (1954), R. Vicentini (1875) and plan of W. Putick (1888) in the years from 1901 to 1906 500 m long channel and artificial entrance to Golobina cave with entrance on Hill 567. By the outflow regulation the floods were a little lowered and shortened but they were not abolished completely. The cavers investigated and surveyed Golobina cave several times but it was never described in detail. The copy of Putick's plan from the time before the regulation (Fig. 2) is preserved, in the plan of Society for cave exploration from 1929 some of the Putick's channels are missed. The Institute for karst research collaborators have surveyed the cave again in 1970, 1985 and 1986 (Annex 1). Meanwhile the local cavers from Dane and Bloška Polica have dug Ozki rov (Narrow Channel) and reached Velika dvorana (Great Hall). In 1985 during the great drought the siphon in Jezerska dvorana (Lake Hall) was passable and in 1986 the continuation of Odkopani rov (Dug passage) was discovered. Now there are 850 m with 37 m of altitude difference surveyed in Golobina.

The cave is entirely built in bedded Jurassic limestones dipped for 20° towards SW. They are cut by several faults and fissures in NW—SE, NE—SW and N—S directions where the most of passages developed. Some hundred meters NE from Golobina is the known Idrija fault zone along which the underground waters from Loško polje are directed towards Cerknica.

On the base of speleomorphological investigations the four main development phases are defined. The excavation of Golobina was going on in phreatic zone concordantly to deepening of rocky bottom of Cerkniško polje and cutting of canyon valleys on Loško polje. Similar as on poljes in Golobina too the loam accumulation followed and some of the old passages are still now filled up to the roof. Next phase was reexcavation and formation of younger fissured passages. In following dry period flowstones and speleothems were formed and they are now on some parts covered by younger flooding loam and coated by black Fe-Mn crust reflecting the youngest humid period. By the inflow regulation man influenced the entrance part of the cave where now more wood, brushwood and other refusals are accumulated by water from the surface. The melioration effects did not reach deeper into underground between Loško and Cerkniško polje. The main reasons for water flooding were not abolished.

DROBNO KRAŠKO POVRŠJE
OB SEVEROVZHODNEM OBROBJU
PLANINSKEGA POLJA

THE SMALL SCALE SURFACE KARST AND SOLUTION DOLINES
AT THE NORTHEASTERN BORDER OF PLANINSKO POLJE

FRANCE ŠUŠTERŠIČ

Izvleček

UDK 551.448(497.12 Planinsko polje)

Sušteršič France: Drobno kraško površje ob severovzhodnem obrobju Planinskega polja

Prikazani so prvi rezultati podrobnih raziskav morfologije površja in vrtač na obravnavanem ozemlju. V prvem delu razpravlja avtor o razčlenjenosti površja in meni, da je groba organizacija površja najbolj verjetno tektonska, brez znakov predhodnega oblikovanja. Glavna eksogena procesa sta kemično preperevanje in mehansko razpadanje, ki se izraža v vzporednem umiku pobočij. Pri analizi razporeda vrtač ugotavlja, da so gostote odsev litologije, vzorec prostorske razpostave pa verjetno sledi drobnemu razpokanosti kamnine. V sami oblikovanosti vrtač je našel sledove že omenjenih preoblikovalnih procesov, katerih učinke pa usmerjajo krajevne strukturne razmere.

Abstract

UDC 551.448(497.12 Planinsko polje)

Sušteršič France: The small scale surface karst and solution dolines at the north-eastern border of Planinsko polje

The first results of the detailed karst surface and solution dolines research in the area are presented. The Author first discusses the general surface organization and he states that it is entirely tectonical, without traces of any previous fluvial shaping. The master morphogenetic processes are chemical weathering and parallel slope retreat. When analysing the spatial distribution of dolines he argues that the density is controlled by lithology, whereas the distribution pattern depends on the fine rock fracturation. The proper morphology of the dolines reflects the previously mentioned processes, being controlled by local structural conditions.

Naslov — Address

dr. FRANCE ŠUŠTERŠIČ, dipl. ing. geol., znanstveni sodelavec
Inštitut za raziskovanje krasi ZRC SAZU
66230 Postojna, Titov trg 2
Jugoslavija

UVOD

Geomorfološka literatura o slovenskem krasu ni ravno revna in kras je doživel vsaj dve sistematični obdelavi (A. Melik, 1963, P. Habič, 1982/a) po regionalni plati in eno po faktološki (D. Radinja, 1972). Vendar pa to velja predvsem za kraške oblike velikostnega reda nad nekaj stotin metrov, medtem ko je proučevanje drobnejših doslej stalo bolj ob strani. Redke tovrstne študije so kot vzorčni primeri praviloma vključene v drugače zasnovana dela (P. Habič, 1968, J. Kunaver, 1982), kar je v rezkem nasprotju z razmerami drugod (npr. S. Trudgill, 1985). Zatečeno stanje je kaj lahko razložljivo z obsežnostjo naših kraških ozemelj, kar usmerja pozornost k večjim oblikam oz. regionalnemu pristopu. Seveda pa ostaja vprašanje drobnejše oblikovanosti, oz. razčlenjenosti (P. Habič, 1986, 41) še odprto in opazka (o. c.) »da je treba kraško površje obravnavati celovito, ne le po posameznih kraških pojavih« ima tako popolno veljavo.

Zato smo ob severnem obrobju Planinskega polja zastavili eksperimentalni poligon, na katerem vršimo vsestranske geološke, speleološke in geomorfološke raziskave. V okviru slednjih smo se posvetili tako splošni oblikovanosti obravnavanega ozemlja, kot manjšim pojavom, predvsem vrtačam. Raziskave seveda še niso zaključene, vendar pa je že po nekaj letih bera izsledkov zelo bogata. Na tem mestu skušam podati prve rezultate geomorfoloških raziskav, vendar s pridržkom, da gre bolj za poglobljeno informacijo, kot za nizanje dokončnih izsledkov. Načeta problematika, ki jo nova dognanja še širijo, je tako obširna, da bo po mnogih plateh zahtevala podrobnejše obdelave.

Razprava tako načenja osnovno problematiko oblikovanosti delca kraškega površja ter razmestitev in oblikovanost tukajšnjih vrtač. Po kratkem orisu delovnega postopka slede poglavja o geomorfološki podobi našega ozemlja, o razmestitvi vrtač in o rezultatih podrobnega merjenja vrtač. Kolikor je v tem trenutku sploh mogoče, je povsod pridana tudi diskusija, tako da podajam v zaključnem poglavju predvsem iztočnice nadaljnjemu proučevanju.

POTEK RAZISKAV

Raziskave, ki še tečejo, imajo prvenstveni namen zapolniti praznino, ki jo je nakazal Habič (1986), torej ugotoviti, ali doslej identificirani gradniki drobnega kraškega površja zadoščajo, da pokrijemo vso površino, oz. skušamo odkriti doslej zanemarjene. V nadaljnjem skušamo te ugotovitve izboljšati po formalni plati s terenskimi meritvami in numerično obdelavo podatkov, po vsebinski pa poglobiti tako, da jih primerjamo z geološkimi danostmi in učinki eksogene dinamike. Oba nakazana pristopa se dopolnjujeta in odpirata poglede

na posamezne doslej neopažene zakonitosti, ki jih je prav tako potrebno razložiti.

Terensko delo smo resneje zastavili v letu 1979. Raziskovalno območje smo načrtali tako, da smo zajeli površje nad najpomembnejšima odtočnima jamama Planinskega polja (Logarčkom in Najdeno jamo), istočasno pa tudi zajeli kontakt med litološko precej različnimi apnenci spodnje in zgornje krede. To ozemlje je tudi eno speleološko najbolj raziskanih v Sloveniji (I. Gams, 1963, F. Šušteršič, M. Puc, 1970, R. Gospodarič, 1982) in omogoča vsestransko primerjavo med geološkimi danostmi ter geomorfnimi in speleološkimi pojavi.

Razpoložljiva topografska karta merila 1 : 5000 se je izkazala še vedno za premalo natančno, da bi ustrezala postavljenim zahtevam. Zato smo premerili vse steze in poti na obravnavanem ozemlju in ponovno določili lege vseh vhodov v jame ter s temi podatki izpopolnili obstoječo karto. Na tej osnovi je bila najprej izdelana geološka karta (J. Čar, 1982), vzporedno z njo pa smo izvedli nekatere morfolometrične analize. Izdelali smo karto naklonov pobočij in skušali s pomočjo Fourierjeve analize po metodi faznih premikov (J. N. Rayner, 1971, 30) podrobneje locirati nivoje. Oba kvantitativna postopka sta pokazala, da o terasah ne moremo govoriti (F. Šušteršič, 1980), vendar je karta naklonov jasno izpostavila vse kasneje podrobneje izluščene značilnosti tukajšnjega reliefa.

Geomorfološko kartiranje je sledilo geološkemu, v precejšnji meri zato, da bi že sproti upoštevali tiste geološke parametre, ki lokalno niso vedno razpoznavni. Legenda ni bila vnaprej določena in se je sproti prilagajala stanju v naravi. Bila pa je usmerjena v geometrijo in faktografijo ter se zavestno ogibala genezi. Na ta način smo se skušali čim bolj izmakniti vnaprejšnjim opredelitvam, ki so tako ali drugače vgrajene v obstoječe nabore geomorfoloških kartografskih znakov. Na običajen način smo kartirali le vrtače in udornice ter vhode v kraške votline.

Tak pristop se je, dolgoročno gledano, izkazal za uspešnega, saj je privedel do nepričakovanega gledanja na kartirano ozemlje. Kratkoročno pa je povzročil zastoj, saj terenskih podatkov nekaj let ni bilo mogoče smiselno interpretirati. Prej smo pač morali umestiti v naših razmerah še neuporabljena teoretska izhodišča. To je seveda terjalo natančnejših odgovorov na vprašanja, kakšna je pravzaprav vloga posameznih geomorfnih oblik, zlasti vrtač.

Da bi dobili statistično trdne odgovore, smo na severnem koncu našega ozemlja določili 150 m širok pas, v katerem smo na določenem odseku izmerili vse vrtače (doslej 20). Ta pas ima smer splošnega vpada skladov, postavljen pa je tako, da ga v daljši perspektivi lahko raztegnemo prek vse notranske mezozojske karbonatne skladovnice, od norijskoretijskega dolomita pri Pokojišu do eocenskega fliša pri Kališah (sl. 1/b). Tako je omogočena primerjava vrtač na litološko različnih podlagah v sicer enakih pogojih. Merske podatke smo računalniško obdelali in izdelali programski paket, ki omogoča izluščiti izčiščeno sliko vrtače, izračun prostornine, izračun smeri in vpada pobočij v poljubni točki, izračun odklonov od geometrijsko pravilne oblike ter razne statistične in numerično taksonomske operacije (F. Šušteršič, 1985).

Geomorfološko kartiranje je bilo v glavnem zaključeno poleti 1981, izvajal pa sem ga podpisani ob pomoči študenta geografije M. Trobiča in ob navseh sodelavca dr. P. Habiča. Vrtače so bile merjene pretežno poleti 1983, dopolnilne meritve, izdelava računalniškega softwara in obdelava podatkov pa so trajale do konca leta 1986. Pri tem so mi pomagali tehnični delavci IZRK ter gimnazijci-praktikanti. Vsem, ki so kakorkoli pripomogli k nastanku te razprave, se na tem mestu najlepše zahvaljujem.

GEOMORFOLOŠKA PODOBA

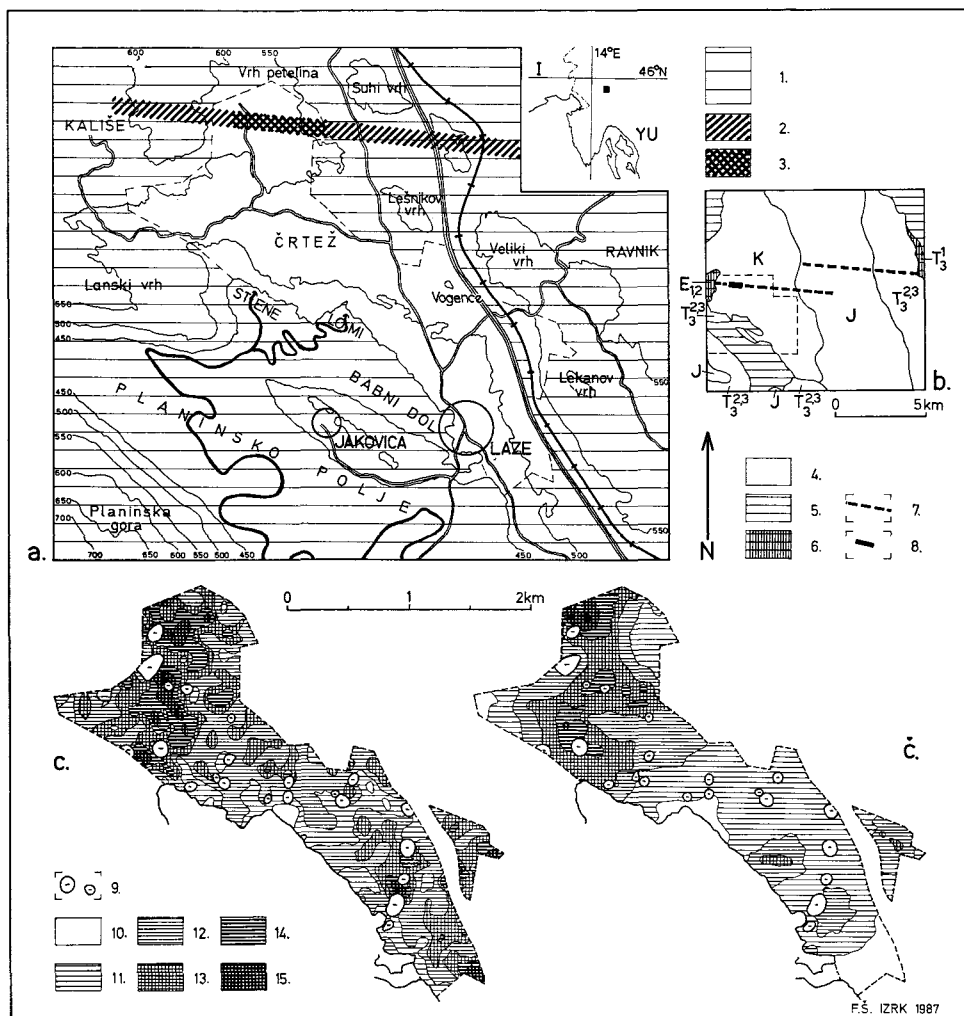
Obravnavano ozemlje leži ob severovzhodnem obrobju Planinskega polja. Pregledna karta obsega večji del slike 1 (a), raziskovalno območje pa je podarjeno tako, da ga ne prekriva redko črtan vzorec. Osnovne geološke poteze pa so podane na sl. 1/b.

Zgolj fiziografsko razdelimo naše ozemlje na tri lahko ločljive enote. Prva je neposredno obrobje Planinskega polja, ki se vleče na jugovzhodu. Druga je niz vzpetin, kot Lekanov vrh, Vogence, Lešnikov vrh, Vrh petelina in Lanski vrh ter obrobja naše ozemlje z vzhoda in severa. Tretja enota je vmesno ozemlje, ki ga predstavlja zvegana, z vrtačami posejana ravnata, ki jo kljub mnogim odstopanjem označuje rahel nagib proti obrobju polja.

Po J. Čarju (1982), ki navaja tudi starejšo literaturo (o. c., 79), grade naše ozemlje spodnje in zgornje kredne karbonatne kamnine, ki vpadajo pod blagim kotom proti zahodu. Mejo med spodnjo in zgornjo kredo (priloga 1) predstavlja erozijska diskordanca, ki se dotakne roba polja zahodno od Lomov, tako da predstavlja zgornja kreda zahodno tretjino obravnavanega ozemlja. Večino spodnje krede grade tod precej bituminozni apnenci, med katere se vrvajo leče grobozrnatega, bituminoznega dolomita. Zgornjo kredo predstavljajo zgolj svetlosivi in sivi, čisti mikritni apnenci, ki so večinoma tudi bolj debeloplastoviti. Od velikih prelomov, značilnih za območje Planinskega polja, se obravnavanega ozemlja na skrajnem zahodu dotika le babindolski prelom (cf. Čar, o. c.). Prečka pa ga več razpoklinskih con, ki jih je Čar vzročno povezal z udornicami.

Naše ozemlje zaradi svoje lege pač ni moglo ostati neopaženo in ga tako ali drugače omenjajo številne geomorfološke razprave, ki pa se ga dotikajo bolj m'mogrede. Najpopolnejšo sliko daje Osnovna speleološka karta SRS, lista Vrhnika 2-b in 2-d (P. Habič, 1972, 1973). Večina ozemlja je tu interpretirana kot vmesno, rahlo nagnjeno območje med nivojema 500 m—550 m na vzhodu in 580 m—620 m na zahodu, h kateremu je avtor prištel tudi ploske vrhove nekaterih uvodoma naštetih vzpetin.

Kot že rečeno, je bilo načelo kartiranja in poznejše obdelave podatkov, da noben delec površja ne sme ostati neupoštevan. Ključ za takovrstno obravnavanje zemeljskega površja je dodelal D. A. Timofeev (1984) z definicijo »elementarne morfološke enote« (EME). Podal jo je (o. c., 20) kot »po površini najmanjši del površja, enoten po naklonu, morfologiji in ekspoziciji, ločen od sosednjih EME s pregibi« (prevod F. Š.). Timofeev tudi poudarja, da soseščina različnih EME ne pomeni nujno genetske povezave, prav tako pa tudi ni nujno,



Sl. 1. a) Pregledna karta obravnavanega ozemlja.

1. Ozemlje, ki ni bilo vključeno v raziskave.
2. Načrtovani pas podrobnih meritev vrtač.
3. Ozemlje z izvršenimi podrobnimi meritvami vrtač.

b) Pregledna geološka skica.

4. Karbonatne kamnine.
5. Aluvij.
6. Nekarbonatne klastične kamnine.

Fig. 1. a) Survey map of the studied territory.

1. The areas being not included into present work.
2. The stripe of the planned detailed dolines measurement.
3. The area of achieved doline measurement.

b) Survey geological sketch.

4. Carbonate rocks.
5. Alluvium.
6. Noncarbonate clastic rocks.

da bi se sosednje EME družile po »verižnem načelu« (catena principle, cf. A. E. Scheidegger, 1986).

Geomorfološka karta v prilogi (1) želi slediti gornjim zamislim. Uporabljeni znaki žal grafično sličejo znakom splošno uporabljanih geomorfoloških legend. Pač zato, ker si popolnoma novih grafičnih oblik, ki bi bile optično učinkovite, skoraj ni več mogoče izmisliti. Podobno velja tudi za termine, ki jih preprosto ni, če ne želimo skozi zadnja vrata že vnaprej uvesti takšno ali drugačno, že znano temeljno hipotezo. Zato sem se terminom namenoma izognil. Vse EME so označene s simboli, ki jih pojasnjuje samo besedilo. Seveda pa se lahko zgodi, da bo nadaljnje raziskovanje katere od tu navedenih EME ali njihovih naborov vključilo v kako že znano shemo.

Osnovno razdelitev EME izpeljemo iz ugotovitve, da imajo nekatere ploskve (EME) poljuben ploskovni razmah (A), druge pa imajo poudarjeno linearno dimenzijo (L).

A. 1 Arealno daleč najpomembnejše so ploskve s trendom nagiba okrog 5° – 10° . Smer padnice drži v največji meri proti polju oz. jugozahodu. V tej smeri kaže prerez EME sliko skoraj ravne črte. Pravokotno na padnico ploskve A. 1 rahlo valujejo, z amplitudo dobrih 10 m in valovno dolžino prek 100 m. V drobnem so posejane z vrtačami, med katerimi so, pač odvisno od krajeвне litologije, bolj ali manj razvite škraplje. Od matične kamnine odločen kos kamnine se praviloma ne more potočiti nizdol, saj krajevna vegavost izniči vpliv splošnega nagiba pobočja. Enovitost na večje razdalje da misliti, da gre za ploskve, ki so jih izoblikovali pobočni procesi v razmerah, ki so dovoljevale navzdolno pomikanje mase. Danes so pobočni procesi zamrli in nagib ploskev

- | | |
|--|---|
| 7. Načrtovane podrobne meritve vrtač. | 7. Planned dolines measurement stripe. |
| 8. Izvršene podrobne meritve vrtač. | 8. Achieved dolines measurement area. |
| c) Število vrtač na hektar. | c) Number of dolines per ha (10 000 m ²). |
| 9. Udornice. | 9. Collapse dolines. |
| 10. Ozemlje brez vrtač. | 10. Areas without dolines. |
| 11. 0–1,5. | 11. 0–1.5. |
| 12. 1,6–3,0. | 12. 1.6–3.0. |
| 13. 3,1–4,5. | 13. 3.1–4.5. |
| 14. 4,6–6,0. | 14. 4.6–6.0. |
| 15. 6,0 <. | 15. 6.1 <. |
| č) Število korozijskih brezen na km ² . | č) Number of corrosion shafts per km ² . |
| 9. Udornice. | 9. Collapse dolines. |
| 10. Ozemlje brez brezen. | 10. Areas without corrosion shafts. |
| 11. 0–15. | 11. 0–15. |
| 12. 16–30. | 12. 16–30. |
| 13. 31–45. | 13. 31–45. |
| 14. 46–60. | 14. 46–60. |
| 15. 61 <. | 15. 61 <. |

je premajhen, da bi se površinsko oblikovanje opazno ločilo od oblikovanja vodoravnih ploskev (A. 3).

A. 2 Prejšnjim so podobne EME, nagnjene okrog 10° – 20° . Bolj kot po nagibu jih v naravi ločimo od ploskev A. 1 po tem, da tu pobočni procesi po vsem videzu še delujejo. Iz podlage izluščen kos kamnine ima vse možnosti, da bo potoval po klancu navzdol. Izrazitih škrapelj tod ne najdemo, prav tako so vrtače nekaj izjemnega. Od ploskev A. 1 jih večinoma deli jasen pregib. Koliko je to posledica zunanjih vzrokov, koliko pa same dinamike pobočij, ta hip ne moremo soditi.

Skupna značilnost EME A. 1 in A. 2 je, da so vse v prisojah. Zato je vabljiva misel, da bi jih razložili z osončenostjo. Vsekakor pa ne gre pozabiti, da lahko takšna razpostava izhaja tudi zgolj iz krajevnih geoloških danosti in da ima prisojnost morda le dodatno vlogo.

A. 3 Te EME so v grobem vodoravne, v drobnem pa so vegaste enako, kot ploskve A. 1. Za obojne je tudi značilno, da se vrtače le redko stikajo. Vegavosti ni pripisati le vrtačam, saj je ozemlje med njimi dovolj sklenjeno in obsežno, da jasno razločimo vzpetosti in vbokline z amplitudo nekaj metrov. EME A. 3 skoraj redno ležijo ob vznožjih ploskev A. 1, prehodi pa so večinoma zvezni in težko določljivi.

Nekaj ravnice je tudi na vrhovih uvodoma naštetih vzpetin. Vendar pa je teh ploskev arealno premalo, da bi o njih lahko podrobneje razpravljali.

A. 4 Pretežno ob vznožjih ploskev L. 1 so EME A. 1 in A. 3 značilno spremenjene, podobno pa so oblikovana tudi dnese zaprtih ali polodprtih vboklin. Groba oblikovanost ploskev A. 4 se prilagaja trendu okolice. Z vrtačami so posejane tako na gosto, da te prehajajo druga v drugo, ali pa so vsaj nizi popolnoma očitni. Vmesnih predelov je manj kot v EME A. 3, opazna pa je tudi večja preperelost matične kamnine ter debelejši oz. bolj zvezni prsteni pokrov. Škrapelj praktično ni, če pa že so, so očitno pred kratkim izprane izpod krovnine. Ponekod se zdi, da gre za spremenjene pedimente ploskev L. 1 ali L. 2. Zraščene vrtače sem in tja sestavljajo večje globeli, ki dejansko ustrezajo C v i j i č e - v e m u modelu nastajanja uval (1893, 1895).

AL Na meji med ploskvami z arealnim razmahom in onimi, ki imajo močno poudarjeno linearno dimenzijo, je strmo obrobje polja. Ker je vezano na črto (rob polja), je ta dimenzija seveda poudarjena, razmah v širino pa ni videti omejen z lastno logiko ploskve.

Ploskve AL so naklonjene 15° – 30° , ponekod tudi več. Srečamo različne inačice nestabilnih pobočij, pač odvisno od krajevnih razmer. Ponekod preidejo v prepadne odseke. Ti so le malokje nastali z udiranjem jamskega stropovja. Večinoma so prepadni odseki presenetljivo premi in povsem vgrajeni v rob polja. Zgornjo mejo EME AL povsod označuje jasen pregib, ki daje vtis zgolj presečne dveh neravnih ploskev. Kljub nestabilnosti nekoherentnega materiala — z izjemo podornih odsekov — ob vznožju ni melišč, pa tudi živoskalnih podnožij skorajda ni. To pomeni, da so ploskve AL tako mlade, da do regresije pobočij še ni prišlo v opaznem obsegu, po drugi strani pa tudi, da je produkcija nekoherentnega materiala manjša od možnosti razkroja na licu mesta. Zato je trend ploskev AL manj enovit kot v prejšnjih primerih, kar kaže, da

faze splošnega glajenja, ki je v primerih EME A. 2 in A. 1 zelo verjetna, obrobje polja ni doživelo.

EME s poudarjeno linearno dimenzijo so razvite izrazito v eni smeri, pobočni procesi pa delujejo vedno pravokotno na to smer. Glede na drobnost oblikovanost in dimenzije jih lahko razvrstimo v štiri skupine.

L. 1 Teh ploskev je največ. Na pogled močno spominjajo na ježe teras. Bistveno se od njih razlikujejo v tem, da tako njihovo podnožje kot zgornji rob nista ravna, temveč so to večinoma ploskve A. 1. V prečnem rezu kažejo EME L. 1 vse elemente umikajočih se pobočij, njihov višinski razpon pa le redkokje preseže 10 m. Značilno je tudi, da so čela praviloma gladka na večje razdalje in se vrtače zajedajo vanje le poredko. Ploskve L. 1 se skoraj brez izjeme spotegujejo v dinarski smeri, čelo pa je vedno osojno. Ob njihovem vznožju praviloma nastopajo ploskve A. 4, onstran katerih EME L. 1 nimajo somernega ekvivalenta.

L. 2 EME L. 2 so na prvi pogled močno podobne prejšnjim, se pa od njih razlikujejo v nekaj pomembnih podrobnostih. Predvsem velja, da so usmerjene poljubno, večinoma pa imajo tudi simetrični ekvivalent. Masni deficit med vzporednima ploskvama L. 2 daje krajevno vtis suhe struge, če že ne doline. Vendar so te globeli vložene v okoliški relief brez vsake fluvialne logike, samo dno pa tudi nima stalnega trenda. Vrtače v njem se dostikrat zajedajo v ploskvi L. 2 na obeh straneh. Kaže, da je dinamika rasti vrtač večja kot dinamika umikanja pobočij, kar v primeru ploskev L. 1 verjetno ni slučaj.

L. 3 Manjši, do nekaj metrov visoki navpični skoki, očitno navezani na prelome, ponekod prekinjajo ploskve z arealnim razmahom. Kadar so na vzhodni strani debelejših skladov, v vsem ustrezajo majhnim cuestam. Vendar jih najdemo tudi na strani vpadanja skladov, kjer pa tako vzporejanje ne more več držati. V to kategorijo verjetno sodi tudi pretežen del prepadnih robov ob polju.

L. 4 S tem simbolom sem označil oba bregova edinega bogaza na obravnavanem ozemlju. Od ploskev L. 2 se razlikujeta po popolni premosti in večji prepadnosti, kar pomeni, da imamo opraviti s stranskima ploskvama zdobljene cone.

Z izjemo zadnjega tipa se vse naštete EME raztezajo preko vseh tukajšnjih kamninskih tipov in litološke spremembe nanje toliko kot ne vplivajo. Verjetno je, da njihove oblike niso posledica sestave matične kamnine in moramo geološke parametre iskati na področju tektonike oz. geoloških neveznosti.

Ostane še vprašanje, ali so ugotovljene EME razpostavljene na zakonit način, in če je odgovor pozitiven, kakšna je logika te urejenosti. Ko pa se ozremo na celoto še z genetskega stališča in nas zanima premeščanje mas, ki je privedlo do sedanjega stanja, moramo ugotoviti še, katere pozitivne ali negativne mase so obdane s sistematično razpostavljenimi ploskvami.

Najopaznejše je skupno nastopanje ploskev A. 1 in L. 1. Ker dosledno padajo v nasprotnih si smereh, objemajo večje mase kamnine, oz. če smo dosledni, lahko predstavljajo krila zelo asimetričnih globeli, ujetih mednje. Že bežen pogled na karto (Priloga 1) pa zadostuje, da drugo možnost odvržemo. Vendar se moramo zavedati, da v osnovi ne obravnavamo antagonizma med

globelmi ali vzpetinami, temveč da obravnavamo razgibano površje, urejeno v obliki žagaste tovarniške strehe.

Med eksogenimi procesi ni takšnega, ki bi privedel do obstoječe konfiguracije. Lahko si torej mislimo, da gre za endogeno zasnovano ureditev, ki so jo zakrasevanje in ostali površinski procesi le nebitveno preoblikovali. Na razpolago imamo več miselnih poti.

Po eni bi lahko šlo za majhne tektonske bloke, ki so na stičiščih bolj poškodovani. Tam bi mogli nastati nekakšni jarki. Na krajevno aktivirano reliefno energijo bi površje, pač glede na osončenost, reagiralo asimetrično. Tako bi EME A. 1 nastale v prisojeh in L. 1 v osojeh. Proti temu pa govori dejstvo, da se ploskve A. 1 ob vznožjih stikajo tudi z drugimi tipi ploskev, npr. A. 3 oz. z ravnico polja.

Možno pa je tudi, da sestavljajo bližnje ploskve A. 1 kose ene same površine, ki jo je kasneje diferencialno premikanje razkosalo. Tedaj bi EME A. 1 lahko res bile reliktno, ploskve L. 1 pa območja aktivnega vzporednega umika. Vtis, ki ga dobimo na licu mesta, res najbolj ustreza takšnemu razmišljanju. Materialen dokaz najdemo na kraju, kjer jama Logarček (okoli 60 m pod površjem) prečka vznožje ploskve L. 1. V jami je skok, kjer se ob močnem prelomu rov, ki drži z juga, prevali okrog 20 m niže in nadaljuje v tej višini. Rov ima v vzvodnem, dvignjenem bloku prerez kanjona, v nizvodnem pa je nizek in širok. To kaže, da je bilo premikanje aktivno, ko je skozi ta del jame tekla ponikalnica, morda pa se nadaljuje še danes.

Ostane še vprašanje, ali je bila hipotetična prvotna ploskev, ki je botrovala nastanku EME A. 1, prvotno že naklonjena, ali pa je sedanja žagasta ureditev nastala šele kasneje. Najlažje bi to ugotovili z zelo podrobno stratigrafsko analizo, vendar pa ta žal še ni bila izvršena. To vprašanje puščam do nadaljnjega odprto.

Nadaljnjo značilno razpostavo EME bi v dosedanji terminologiji nedvomno opredelili kot zaprte ali polodprte majhne uvale. V glavnem jih najdemo vgrajene v ploskve A. 1 in A. 3. Od vrtač jih dobro ločimo po tem, da so njihovi tlorisi povsem nepravilni, da so precej obsežnejše in plitvejšje in da nimajo opaznih žarišč odnašanja. V njih so vrtače razpostavljene čisto poljubno, ali pa jih tudi ni. Očitno gre za predele površja, ki se je zaradi krajevnih razmer zniževalo hitreje kot neposredna okolica in se tako vbočilo. Ker ni razlogov, da bi bil tak razvoj vezan zgolj na približne ravnote, kjer pride do izraza kot zaprta globel, lahko vso zveganost površja v nekoliko večjem merilu pripišemo istim vzrokom. Menim, da tovrstne globeli niso drugega kot topografski pojem in jih izključujem iz nadaljnje razprave.

Kot že omenjeno, oklepajo ploskve L. 2 in L. 4 dvostransko odprte, značilno podložne globeli. V drugem primeru imamo opraviti s pravim bogazom in je prémnost, podedovana od geološke podlage, na dlani. Isto bi po vsej verjetnosti veljalo še za tiste jarkom podobne globeli, ki so premočrtne. Vendar jih je nekaj tudi zavutih. V teh primerih pa preprosti geološki determinizem ni več mogoč, čeprav je verjetno, da gre za kraško preoblikovane svojske kombinacije geoloških pogojev. Vsekakor menim, da so obojne v tem odstavku

omenjene oblike upravičene do pojmovne samostojnosti in jih zato moramo prikazati na karti.

Zadnje vprašanje, ki se ga kaže dotakniti, je stik EME AL (obrobje polja) z ravnico polja ter višjo okolico na drugi strani. Precejšnja strmota pobočij, ki ponekod preidejo v prepadna ostenja, na prvi pogled govori v prid znani hipotezi o bočnem širjenju kraških polj (J. Roglič, 1957, 123). Dodaten argument se zdi že omenjeno dejstvo, da stik EME AL in A. 1 nima nikakršne lastne logike, temveč je preprosto presek dveh neravnih ploskev, ki se razvijata vsaka po svoje. Ker leže ploskve A. 1 (v njih so pobočni procesi zamrli), gledano v smeri pobočja, vedno nad ploskvami AL, kjer pa so pobočni procesi aktivni, je logično, da se neposredno obrobje polja zažira v višjo okolico (A. 1). Pričakovali bi, da se ob vznožjih EME AL nahaja močan dejavnik odstranjevanja mase, ali pa gre za vzporeden umik pobočij.

Vendar temu ni tako. Če bi ob vznožju obrobja polja deloval kakršenkoli znan dejavnik odstranjevanja mase, bi oblikovanosti pobočja vsilil svojo geometrijo. Z drugimi besedami, če bi šlo za bočno erozijo (ev. tudi v preteklosti), bi ostale vsaj sledi srpastih zajed. Bočna korozija, ki sledi predvsem kakršnimkoli manj odpornim predelom matične kamnine, pa bi pobočje razgibala še dosti bolj kaotično (A. E. Scheidegger, 1983). Toda že karta kaže, da je obrobje polja daleč najbolj premočrtna EME. Zato skoraj ne more biti dvoma, da je zasnovano ob kakršnemkoli strukturnem elementu.

Vsekakor ne gre za preprost dvig ob prelomu, kajti v tem primeru bi našli njegovo nadaljevanje severozahodno od Lomov, ali pa nadaljevanje ev. prečnega preloma severovzhodno od tam. Po drugi strani tudi višinski razmah obrobja, ki znaša od Sten do Lomov približno 25 m, proti jugovzhodu upada. Zahodno od Laz ploskve AL izginejo ter se z ravnico polja staknejo ploskve A. 1. V tem trenutku se zdi najsprejemljivejša misel, da gre bliže Laz za območje kaskade drobnih navpičnih premikov ob snopu ešaloniranih prelomov, medtem ko je v območju Sten navezava na Babindolski prelom (J. Čar, o. c.) očitna. Za odsek med Lomi in nosom severno od Strževce pa te razlage ne morejo veljati. Karta gostote vrtač kaže tam dosti pravilno linijo, vendar doslej nismo mogli ugotoviti, kateremu geološkemu elementu ustreza. Ker vpadajo skladi proti zahodu, je možno reči vsaj to, da litologija tega ni mogla izzvati.

Geomorfološko podoba našega ozemlja pač težko razumemo kot produkt eksodinamike ob stabilnih endodinamičnih faktorjih, saj pogosto ni znanih mehanizmov, ki bi zgolj ob upoštevanju eksodinamike privedli do sedanjega stanja. Tudi tolmačenje zgolj z litologijo ni kaj bolj uspešno. Lahko zaključimo, da odraža oblikovanost reliefa predvsem recentno ali subrecentno superstrukturno dinamiko (cf. J. G. Dennis, 1972, 387). Vendar pa se moramo zavedati, da sporadična tovrstna opazovanja dokazujejo le, da neotektonike iz nadaljnje razprave ne smemo izključiti. Kakšna pa sta njen dejanski obseg in pomen, pa bo potrebno šele ugotoviti, četudi se tukajšnja dognanja dobro skladajo z ugotovitvami v bližnji okolici (P. Habič, 1982/b, J. Čar, 1986). Razlaga torej ostaja na ravni verjetne hipoteze.

RAZMESTITEV VRTAČ

Na načrtanem ozemlju smo zabeležili vse vrtače. Med kartiranjem smo jih, skladno z J. Cvijičev o (o. c.) shemo, delili v tri razrede: skledaste, čašaste in lijakaste. Izkazalo pa se je, da je vsaj v našem primeru takšna delitev popolnoma umetna in tudi praktično neizvedljiva. Ne le, da obstajajo prehodi med skupinami, ampak so tudi modalne skupine drugačne. Nekoliko bolj realistična se zdi klasifikacija, ki jo je uvedel F. Forti (1972) kot mero zakraselosti tržaškega krasa. Opisal je pet stopenj, ki se odražajo tako v pokritosti površja, tipu škrapljevitosti in oblikovanosti vrtač. Vendar je ugotovil že sam avtor, da gre za medsebojno igro litoloških in strukturnih faktorjev ter pokritosti z alohtonimi materiali, ne pa za specifične oblike v živi skali. Tako tudi Fortijeva klasifikacija še vedno ostaja na ravni najenostavnejšega formalnega pristopa in je nismo uporabili. Po končanem terenskem delu smo formalno delitev opustili in vso populacijo obravnavali kot enotno.

Kartirano ozemlje meri 3,77 km², od česar je 0,25 km² oz. 6,6 % prizadega z udori. Te površine sem izločil iz nadaljnje obravnave in upošteval le 3,52 km² ozemlja. Tod smo zabeležili skupaj 918 vrtač različnih dimenzij in oblik, kar pomeni, da je poprečna gostota 260,8 vrtače/km² oz. 2,61 vrtače/ha. Vplivno območje (cf. P. W. Williams, 1972, 137) posamezne vrtače tedaj zajema 3384 m², kar ustreza krogu s polmerom 34,9 m. To pa je že manj od polmerov največjih vrtač.

Gostota je sorazmerno visoka. Vsaj kolikor je meni znano, je tokrat prvič število vrtač na tolikšnem ozemlju preverjeno terensko. Doslej so jih praviloma šteli na zelo majhnih območjih ali pa po kartah. Zato številke niso povsem primerljive, saj smo celo v našem primeru, ko smo uporabljali karte merila 1 : 5000 ugotavljali, da jih je tam prvotno zabeleženih komaj kaj več kot polovica.

Že na kraju samem je opazno, da je krajevna gostota vrtač precej spremenljiva, kar postane še bolj očitno, ko vrtače vrišemo v karto. Da bi postala razmestitev kvantitativno bolj oprijemljiva, sem po mreži 50 m × 50 m prek cellega ozemlja postavil kroge s polmerom 34,9 m, torej s ploščino vplivnega območja vrtače. V vsakem sem preštel število zajetih središč. Ta podatek je kasneje služil tudi za izračun korelacije. Ker pa je še vedno celoštevilen in otežuje risanje izoplet, sem celotno polje podatkov prevlekel še s koničnim digitalnim cedilom

$$\begin{array}{ccc} (2 - \sqrt{2}) & 1 & (2 - \sqrt{2}) \\ 1 & 2 & 1 \\ (2 - \sqrt{2}) & 1 & (2 - \sqrt{2}) \end{array}$$

Ob robovih in udornicah, kjer podatkov ni dovolj, sem cedilo ustrezno priredil, kar pomeni, da je pridobitek tam nekoliko manj stabilen.

Na sliki 1/c je polje tako prečiščenih podatkov prikazano s šrafurami. Za mero sem vzel število vrtač na hektar. Najbolj realna mera bi bila število vrtač

na vplivno območje, torej 0,338 ha. Seveda pa bi tako izgubili preglednost, oz. neposredno primerljivost z drugimi ozemlji.

Na prvi pogled je opazna zgostitev vrtač v severozahodnem predelu našega ozemlja, t. j. na zgornje krednih apnencih. Ker so tam tudi korozijska brezna zelo na kupu (F. Šušteršič, M. Puc, 1970), sem enako obdelal tudi ta. Doslej znanih je skupaj 70, kar da gostoto 19,9 brezen/km², ob vplivnem območju 50 300 m² (polmer 126,5 m). Podobno kot prej sem podatke golega štetja spremenil v gladko ploskev, ki je prikazana na sliki 1/d. Podobnost s prejšnjo sliko je precejšnja. Zato ne preseneča, da je korelacija gostote brezen z gostoto vrtač $r = 0,42577$, ob tveganju, manjšem od 0,1 %.

Če primerjamo slike 1/b, 1/c in 1/d, je takoj jasno, da so gornje kredni apnenci dosti bolj posejani z vrtačami in brezni kot spodnje kredni. Razlike so precejšnje, saj izkazujejo gostoto 212,2 vrtače/km² na spodnje krednih in 352,5 vrtače/km² na zgornje krednih apnencih.

V zvezi z gostoto se zastavlja vprašanje, kakšen delež ozemlja je prizadet z vrtačami. Planimetriranje ročno vrisanih vrtač na karti merila 1 : 5000 se je pač izkazalo za nezadovoljivo. Tudi primerno natančnih meritev s komaj zastavljenega poligona je zaenkrat še premalo. Pač pa razpolagamo s karto merila 1 : 1000 za vso traso avtoceste, ki na vzhodni strani seka naše ozemlje. Za okrog 4 km dolg odsek vzdolž obravnavanega ozemlja smo v pasu, širokem 80 m, splanimetrirali vsa območja vrtač. Deleži prizadetega ozemlja po 250 m dolgih odsekih nihajo med 29,5 % in 85,5 %, s poprečjem 64,03 %. Avtocesta zajema tod le spodnjekredne apnence. Na enak način smo obdelali tudi druga ozemlja v območjih bodočih avtocest po krasu, vendar je prizadetost z vrtačami precej manjša.

Da bi ugotovil način razmestitve vrtač, sem uporabil nekaj elementarnih statistik. Temeljna je t. i. statistika kvadratov (J. C. Davis, 1973, 301). Vse območje prekrijemo z mrežo enakih kvadratov, tako da nobeden ne vsebuje manj kot 5 elementov (vrtač). V našem primeru, ko območje ni pravilno oblikovano in ga motijo tudi udornice, sem vanj lahko postavil le 45 nemotenih kvadratov s stranico 200 m. Podatke sem obravnaval za celoto, pa tudi ločeno za spodnje in zgornje kredne apnence.

Ničelna hipoteza je, da so vrtače razporejene slučajno. Rezultati so v vseh treh primerih zelo podobni. Pri stopnji tveganja 5 % ni razlogov, da bi zavrgli ničelno hipotezo; pač pa moramo to storiti, če želimo tveganje zmanjšati pod 1 %.

J. C. Davis (o. c.) navaja kot učinkovitejšo »analizo najbližjega sosesa«. Vsaki vrtači določimo najbližjega sosesa in izmerimo razdaljo, nato pa izračunamo poprečje teh meritev. Iz ploščine obravnavanega ozemlja izračunamo še teoretično poprečno razdaljo. Kvocient teoretskega in izmerjenega poprečja (R) se imenuje »statistika najbližjega sosesa«. V primeru kopičenj se njegova vrednost približuje ničli. Kadar razmestitev ustreza Poissonovi razdelitvi in je torej popolnoma slučajna, zavzame vrednost 1. Največjo možno vrednost ($R = 2,1491$) doseže tedaj, ko razmestitev ustreza pravilni šesterokotni mreži (P. W. Williams, 1972, 151, J. C. Davis, 1973, 309).

V našem primeru dobimo:

	K_1	K_2	Celota
Izmerjeni popr. polmer	42,7 m	32,4 m	38,0 m
Izrač. popr. polmer	34,3 m	26,6 m	31,0 m
R	1,24381	1,21667	1,22578

Za vse tri primere velja, da tudi pri tveganju manjšem od 0,1 % značilno odstopajo od popolnoma slučajne razmestitve.¹

P. W. Williams (1972, 149) je ugotavljal način organiziranosti cockpitov na Novi Gvineji tako, da je prešteval število njihovih neposrednih sosedov. V našem primeru, ko se vrtače ne stikajo, to lahko storimo tako, da med sosednjimi središči vrtač potegnemo simetrale in tako ogradimo vplivna območja. Tem nato preštejemo število stranic. Zopet sem upošteval samo tiste vrtače, ki ne mejijo na rob našega ozemlja ali na udornice. Poprečno število stranic vplivnega območja je 5,84. Na videz je poprečno število stranic, ki se zelo približuje številu šest, v nasprotju z ugotovitvijo prejšnjih odstavkov. Dejansko pa jih prej potrjuje, saj že malenkosten zamik v pravih četverkotnih razpostavah povzroči nastanek šesterokotnih polj, pri katerih je par stranic zelo kratek v primerjavi z ostalimi. To je mnogokrat slučaj tudi v našem primeru. Ko bi bile koordinate vseh vrtač natančno odmerjene, bi z analizo dolžin stranic verjetno odkrili nadaljnje zakonitosti njihove razmestitve.

Uporabil sem tudi statistike, ki jih predlagata H. Mc Connell in J. M. Horn (1972). Številu vrtač po posameznih razredih prirejata Poissonovo negativno binomsko in mešano (dvojno) Poissonovo razdelitev ter testirata stopnjo skladanja. Iz lastnosti najustreznejše razdelitve nato sklepata na izvor razpostave vrtač.

Poissonova razdelitev pomeni, da so vrtače razmeščene popolnoma slučajno in da proces nastajanja ni kužen (da nastopanje vrtače v neki točki ne poveča verjetnosti nastajanja nadaljnjih v bližnji sosesčini).

Negativna binomska razdelitev pomeni, da je nastajanje vrtač sicer slučajno (Poissonovo), vendar pa parameter te razdelitve ni konstanten in sledi gamma razdelitvi (M. Perišić, 1983, 64).

Mc Connell in Horn (o. c.) navajata več možnih interpretacij:

- Poenostavljeno gornjo definicijo brez nadaljnega komentarja.
- Vrtače se družijo v slučajno razpostavljene skupine.

¹ P. J. Vincent (1987) opozarja, da bližina roba ozemlja močno omaja vrednost rezultatov in priporoča Donnellyjevo (o. c., 67) korekcijo. Ponovno je preračunal del Williamsovih (o. c.) podatkov in ugotovil, da so cockpiti razpostavljeni bolj kaotično, kot meni Williams. V našem primeru na ta način dobimo nesmiselne rezultate. Verjetno je to posledica dejstva, da se meje vzorčnega ozemlja ne krijejo z mejami vplivnih območij posameznih vrtač, delno pa tudi zato, ker pomenijo udornice enklave, ki jih algoritem po vsej verjetnosti ne upošteva korektno. Menim, da niti prvotni, niti popravljeni postopek nista posebno ustrezna in bo potrebno boljše rešitev iskati v okviru fraktalne analize.

c) V začetku slučajno razmeščene vrtače so v nadaljnjem kužne in v sosesčini po logaritmčni postopici generirajo nove.

Mešana Poissonova razdelitev pomeni, da imamo na proučevanem ozemlju vrtače dveh genetskih tipov, ki so razmeščene Poissonovo. Avtorja sta takšno stanje ugotovila na Mitchell plain v Illinoisu v ZDA in jo tolmačila s skupnim nastopanjem formalno enakih korozijskih vrtač in udornic (o. c., 129).

Naše ozemlje sem prekril z mrežo kvadratov s stranico 100 m. Ker tistih, ki jih prizadevajo udornice ali rob ozemlja, nisem štel, jih za nadaljnjo obravnavo ostane 275. Pri prilagajanju ustrezne razdelitve sem moral takoj odvreči mešano Poissonovo. To kaže, da nismo zajeli mešane populacije in da večja gostota na zgornje krednih apnencih na ta način ne pride do izraza.

Pač pa negativna binomska razdelitev ustreza podatkom še pri tveganju, manjšem od 0,5 %. Njeni parametri izkazujejo vrednosti: $p = 0,8420$, $q = 0,1580$ in $k = 15,2356$, ob poprečju 2,86 vrtače na kvadrat in varianci 3,39. Vrednost parametra p blizu 1 pomeni, da je neenakomernost razpustave majhna, sorazmerno velika vrednost parametra k pa, da so vrtače slabo grupirane. To nakazuje, da še najbolj ustreza dejanskemu stanju prva razlaga. Sklada pa se tudi z empirično ugotovljenim dejstvom, da je velik del geoloških spremenljivk v naravi razprostranjen po gamma razdelitvi.

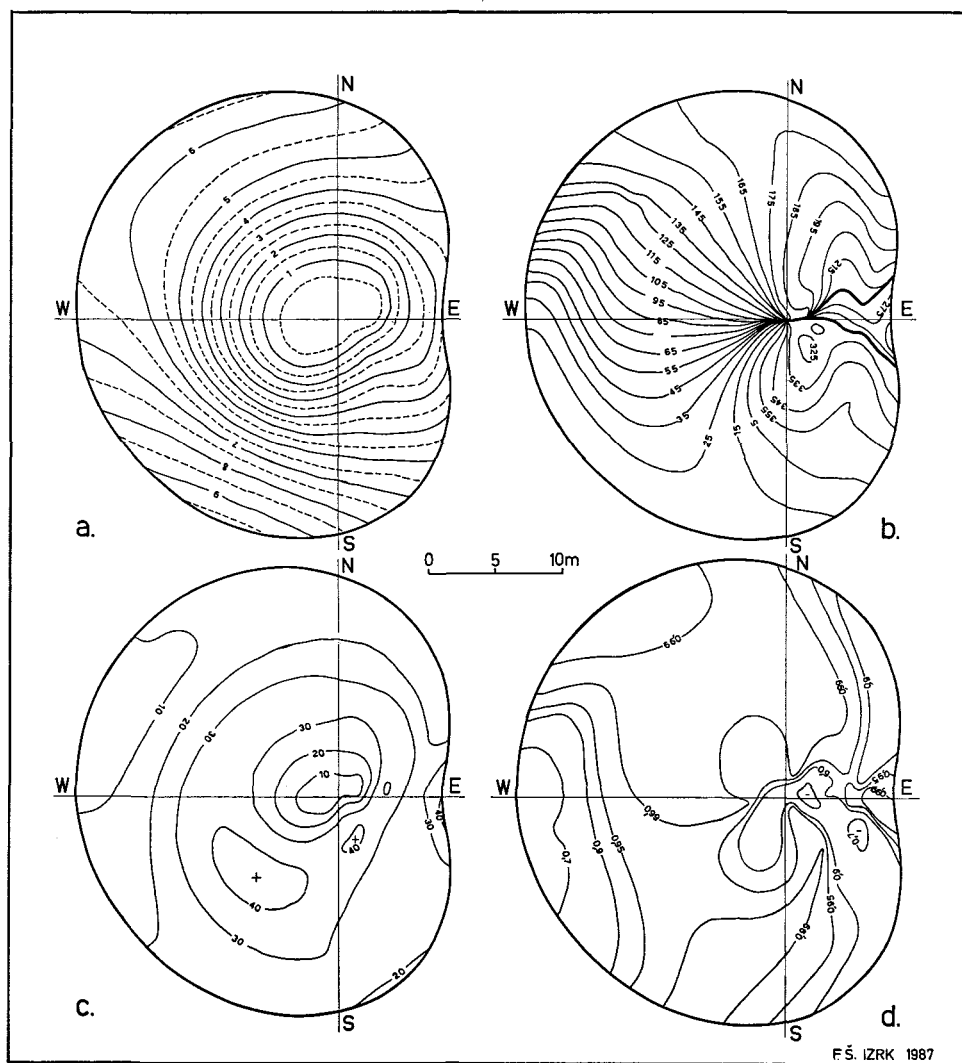
Ker se v našem primeru po vrednostih parametrov negativna binomska razdelitev približuje Poissonovi, je samoumevno, da podatkom lahko z malenkostno večjim tveganjem priredimo tudi slednjo.

Na videz precej kontradiktorne rezultate gornjih analiz moremo vendarle strniti v nekaj ugotovitev. Pogostnost nastopanja vrtač je večja na debeloskladovitih, čistejših apnencih zgornje krede kot na bolj bituminoznih, deloma dolomitiziranih, včasih tenkoplastovitih apnencih spodnje krede. S tem se dobro korelira tudi pogostnost nastopanja korozijskih brezen, ki pa je več kot desetkrat manjša. Obratno pa je način razpustave vrtač po površju neodvisen od litologije. Izkazuje vzorec, ki je najbolj poznan iz razpustave rudnih teles in podobnih mineralizacij. To morda pomeni, da je razpustava vrtač predvsem posledica strukturnih lastnosti kamnine, manj litologije, zagotovo pa ne eksogenih faktorjev.

OBLIKOVANOST VRTAČ

Vrtače so tako splošno znane, da moramo poseči prav do J. Cvijića (o. c.), če želimo najti zgoščeno, a kolikortoliko popolno sliko o njihovi obliki. Vsa bogata mlajša literatura se ukvarja z različnimi podrobnostmi in predpostavlja neko osnovno definicijo kot samoumevno ali bralcu poznano. Vsekakor je ta predpostavka dovolj osnovana; res pa je tudi, da različni avtorji med vrsticami kažejo kaj pisano pojmovanje o tem, katere centrične globeli bi najbolj ustrezale terminu vrtača (v neslovanskih jezikih večinoma »doline«). V našem, jugoslovanskem primeru je jasno vsaj to, kaj je imel v mislih J. Cvijić oz. njegovi nasledniki.

Ne glede na še ne povsem zaključeno razpravo o udornem ali korozijskem nastanku vrtač jih lahko opišemo kot izrazito centrične, sorazmerno pravilno oblikovane zaprte globeli deset do stometrskih dimenzij. Slovenci med vrtače ne



Sl. 2. Vrtača LV 73.

- a) Tloris.
- b) Smeri največjega strmca pobočij.
- c) Iznosi največjega strmca pobočij.
- d) Korelacija z idealno obliko.

Fig. 2. Doline LV 73.

- a) Ground plan.
- b) Directions of the greatest slope.
- c) Values of the greatest slope.
- d) Correlations with the ideal shape.

štejemo podobnih globeli, ki jim pravimo udornice, konte, drage itd., ki so večinoma podrobneje definirane. To pomeni, da dopuščam možnost, da so v nadaljnjem obravnavane vrtače lahko tudi raznorodne.

Opisovanje vrtač s Cviijičevimi, oz. iz njih izpeljanimi parametri se je izkazalo za bolj ali manj jalovo (F. Šušteršič, 1985, 82). Naše metode (o. c.) omogočajo izračunavanje bolj elementarnih geometrijskih kazalcev, ki zaobsežejo celo vrtačo in je ne zreducirajo na meritve nekaterih ekstremov.

Predvsem kot ilustracijo teh prijemov v nadaljnjem obravnavam dve vrtači s poskusnega poligona. Za primer sem ju izbral predvsem zato, ker sta od izmerjenih še najbolj enostavni za interpretacijo, obenem pa na njiju spoznamo vse podrobnosti, ki jih lahko imamo za temeljne gradnike geometrije vrtač. Obe ležita v gornjekrednih apnencih, na ozemlju, ki je v grobem ravno (EME A. 3), v drobnem pa enakomerno vegetato, tako da znaša amplituda skoraj 10 m.

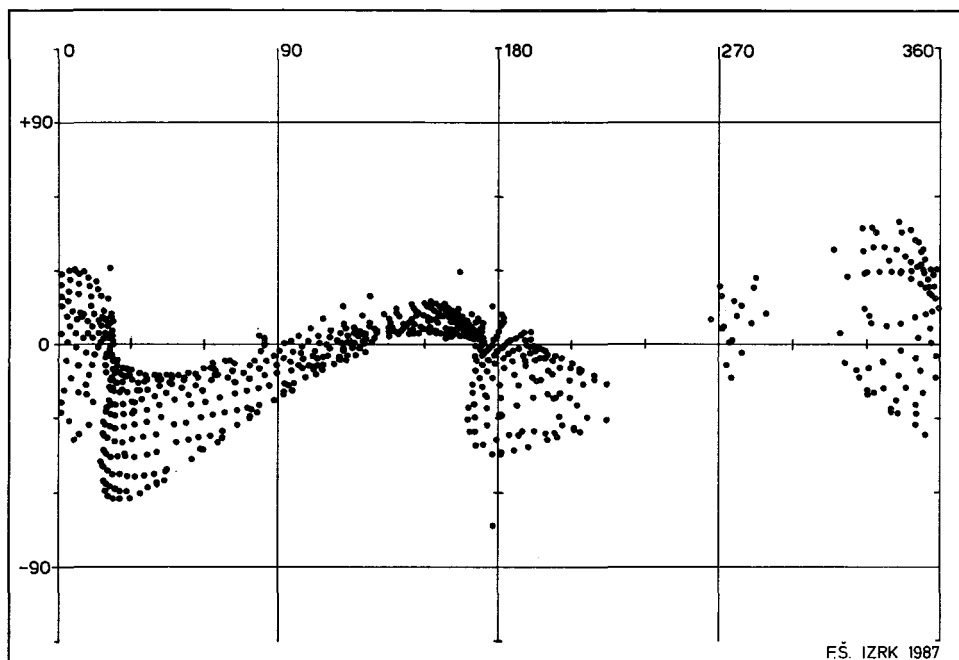
Vrtača LV 73 (sl. 2) je primer enostavne vrtače. Ko bi ne bilo živosklane izbokline v jugozahodnem kvadrantu, bi lahko trdili, da je skoraj popolnoma pravilna. Vendar pa njen obod ni okrogel ali vsaj eliptičen. To gre pripisati tako neravni okolici kot tudi različnim strmcem padca pobočij. Če dobro premotrimo tloris (sl. 2/a), lahko razločimo tri koncentrične pasove, ki jih srečamo pri vseh vrtačah.

Zunanji pas, ki zaobjema približno dve petini dolžine polmera, ne kaže kaj prida usrédenosti. Pobočja se ravna dosti bolj po krajevnih nehomogenostih matične kamnine, kot po položaju žarišča reliefne energije v središču vrtače. To postane še toliko bolj očitno ob pogledu na sliko 2/b, kjer posamezne izoplete povezujejo točke z enakimi smermi padnice pobočja. Značilna so odstopanja na severovzhodnem in jugozahodnem predelu oboda. Pobočje se je na večjo razdaljo prilagodilo smeri, ki se sklada z drobnorazpakanostjo matične kamnine. Iz slike 2/c razvidimo še, da je strmina pobočij v zunanjem pasu precej manjša kot nekoliko bolj proti sredini.

Srednji pas ločimo od zunanjega po tem, da pobočja padajo skoraj naravnost proti žarišču reliefne energije ter da so tod najstrmejša. Abolutno največji maksimum je v jugozahodnem kvadrantu. Menim, da je to posledica kombinacije učinkov vpada skladov in osončenosti.

Osrednje območje je v grobem dosti manj razgibano. V nasprotju s prejšnjima dvema tod nimamo več opraviti z živoskalnimi pobočji, prekritimi s tanko plastjo prepereline, ki lahko tudi povsem izostane, temveč z ilovnatim polnilom, ki tudi po več deset metrov na debelo izpolnjuje osrednji jašek. (Glej tudi P. Habič, 1978, sl. 1!) Velika razgibanost tega območja, ki jo zaznamo pri posameznih vrtačah, nas torej ne more posebej zanimati. Včasih kaže račun tudi navidezno vegavost, ki ne korenini v resničnem stanju v naravi, temveč je posledica uporabljenega postopka.

Vzhodno od središča kaže pobočje vrtače več nepravilnosti. Plastnice kažejo hitre spremembe smeri. Karta smeri vpadov (sl. 2/b) pove, da smer vpada na zanemarljivi razdalji močno spremeni svojo vrednost. Skratka, tu gre za nezvezen stik sicer gladkih ploskev. Imenoval sem ga šiv in te najdemo bolj ali manj razvite pri vseh vrtačah. Že po smereh šivov je očitno, da gre za učinke geološke strukture. Nadaljnje proučevanje pa mora šele pokazati pravo geološko in geomorfološko vsebino šivov.



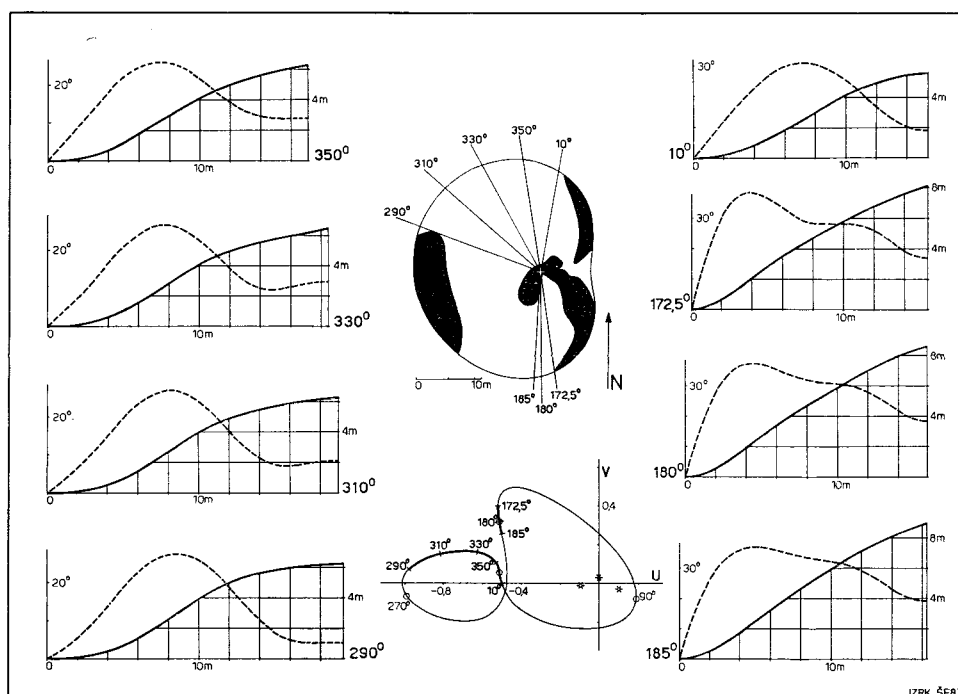
Sl. 3. Vrtača LV 73. Primerjava smernih odklonov z dejanskimi smermi največjega strmca pobočij.

Fig. 3. Doline LV 73. Plot of the directional deviations and the actual greatest slope inclination directions.

Padnice pobočij se torej bolj ali manj odklanjajo od smeri proti središču. Vsiljuje se vprašanje, ali so ti odkloni slučajni, ali pa kažejo neke zakonitosti. Na sliki 3 pomeni abscisna vrednost smer padnice v neki točki, ordinata pa iznos odklona od idealne smeri v isti točki. Brez nadaljnjega opazimo, da je pri skoraj diametralnih azimutih 20° in 170° kopičenje največje, tam pa so zbrani tudi največji odkloni od idealne, centrične smeri. To pomeni, da je diktat navedenih smeri tako močan, da poveča odklone daleč preko slučajne mere. Po drugi strani pa opazimo, da manjka vpadov približno v polovicah tretjega in četrtega kvadranta, medtem ko je manjše nakopičenje v smeri zahoda.

To lahko razložimo z vpadom skladov proti zahodu. Zahodna pobočja so zato sorazmerno stabilna in se poderejo le, ko izgube neposredno podlago. Kosi kamnine pa, ki sestavljajo vzhodna pobočja, niso praktično nikjer podprti in zdrsijo ob lezivi, brž ko se jim odpre prostor. Da ni učinek bolj opazen, je v našem primeru kriva oblika vrtače, ki ima prav na vzhodnem kraju najnižji obod in najkrajše polmere. Ker je skanirana po metrski kvadratni mreži, vzorec zato ni statistično pravilno obremenjen. Vsekakor pa je pojav kvalitativno dovolj opazen in skupaj s prejšnjimi ugotovitvami podpira misel, da vrtače ne širi spodkopavanje, temveč vzporeden umik pobočij.

Smernim razlikam lahko izračunamo kosinuse in za vsako točko dobimo stopnjo korelacije dejanske oblikovanosti z idealno (sl. 2/d). Polrezi, ki jih običajno uporabljamo za prikazovanje oblikovanosti pobočij vrtač, imajo centrično, idealno smer. Če padnica pobočja od nje preveč ne odstopa, je slika, ki jo daje polrez, spačena. Dokler nimamo dovolj terenskih podatkov, si prag spačenja lahko izbiramo poljubno — za nadaljnjo razpravo sem si ga izbral pri 10 % odstopanju. Za sprejemljive bomo torej imeli polreze, vzdolž katerih korelacija ne pade pod 0,9. Slika 4/a, ki ni drugega kot poenostavljena slika 2/d, kaže, da imamo v naši vrtači le dve območji, na severu in jugu, kjer polrezi niso preveč spačeni. Nekaj jih prikazuje slika 4 ob straneh. Polrezi so podani v neprevišanih razmerjih, črtkana krivulja pa kaže iznos vpada vzdolž polrezov.



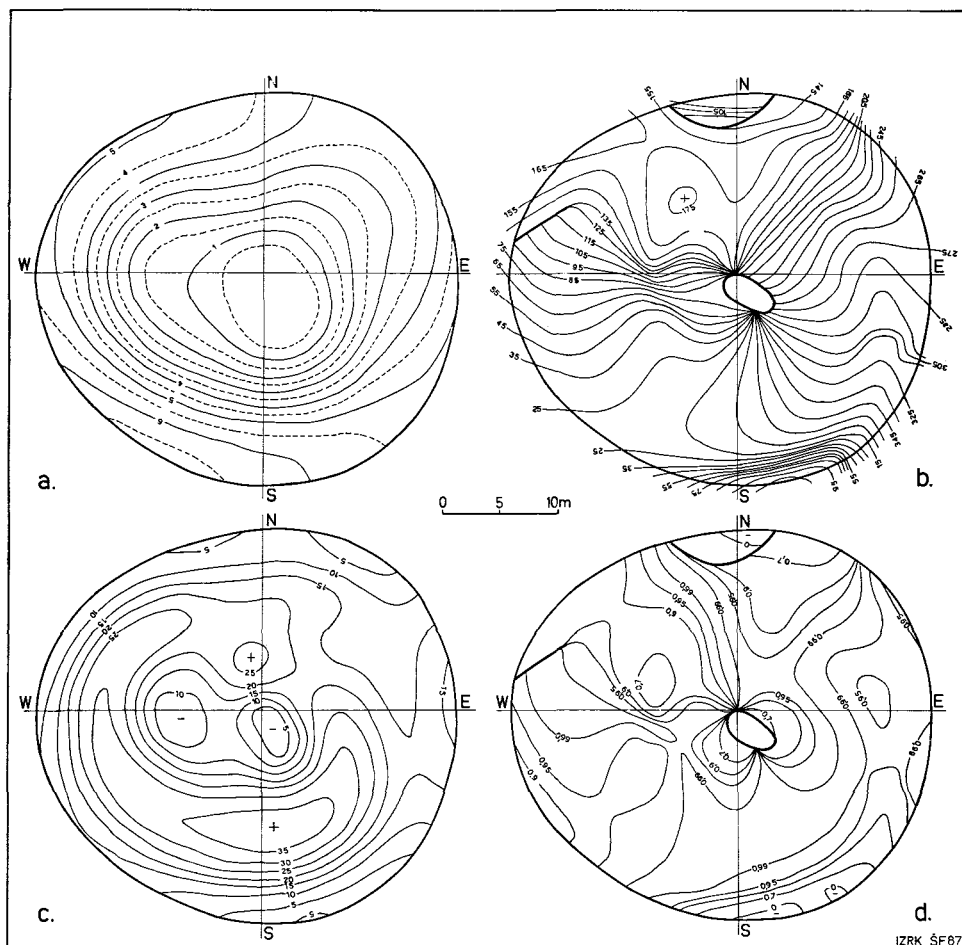
Sl. 4. Vrtača LV 73.

- Območja sprejemljivih in spačenih polrezov.
- Primerjava dejanskih oblik polrezov z etalonskimi.
Zvezdice: gornja: pravilni stožec,
leva: vrtenina polovice sinusoide,
desna: vrtenina četrtine sinusoide.

Fig. 4. Doline LV 73.

- Proper and biased semiprofiles regions.
- Correlation of the actual semiprofiles to standards.
Asterisks: upper: regular cone,
left: half sinusoide rotation body,
right: quarter sinusoide rotational body.

Da bi lažje določili podobnost oz. različnost polrezov, si lahko pomagamo s prijemi numerične taksonomije (P. H. A. Sneath, R. R. Sokal, 1973). Ugotovil sem, da je pri komaj katerem izmerjenem polrezu na četrtem (in nadaljnjih) Fourierjevem koeficientu zbrane več kot 5 % skupne variance, pri večini pa celo manj kot 1 %. Ne da bi z opustitvijo četrtega izgubili kaj dosti informacije, si lahko predstavljamo prve tri koeficiente kot komponente vek-



Sl. 5. Vrtača LV 70.

- Tloris.
- Smeri največjega strmca pobočij.
- Iznosi največjega strmca pobočij.
- Korelacija z idealno obliko.

Fig. 5. Doline LV 70.

- Ground plan.
- Direction of the greatest slope.
- Values of the greatest slope.
- Correlations with the ideal shape.

torjev v trirazsežnem prostoru. Koti med posameznimi vektorji so tedaj mera podobnosti med pari polrezov, kosinusi teh kotov pa cenilke medsebojne korelacije. Isti odnosi veljajo, če kako znano geometrijsko obliko izberemo za etalon in jo prikažemo na enak način.

Kot etalonske oblike sem izbral poševno daljico (če jo zavrtimo, dobimo lijakasto vrtačo), polovico sinusoide (dobimo skledasto vrtačo) in četrtno sinusoide (dobimo lijakasto vrtačo). Vektorje njihovih Fourierjevih koeficientov normiramo in izračunamo rezultanto. Pravokotno nanjo postavimo ravnino (U , V), ko jo smernice etalonskih vektorjev predirajo v treh točkah (sl. 4/b, zvezdice). Isto ravnino predirajo tudi smernice vektorjev, ki predstavljajo polreze naše vrtače. Razdalje teh prebodišč od etalonskih točk so približna mera podobnosti resničnih polrezov z etalonskimi.

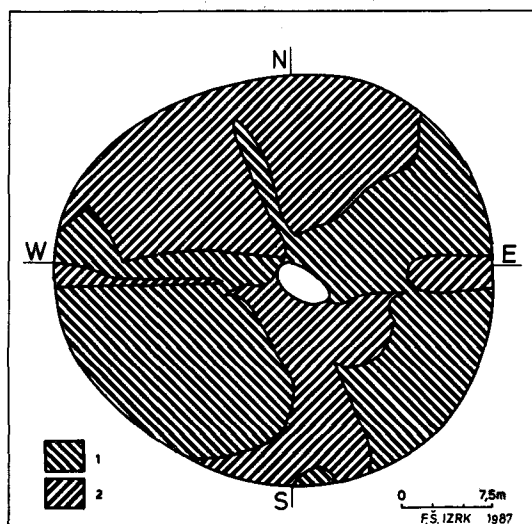
Če torej za neko vrtačo izračunamo Fourierjeve koeficiente polrezov, razmaknjenih za stalen majhen kot, se nam prebodišča z ravnino UV nizajo v sklenjeno krivuljo (sl. 4/b). Ker večina izračunanih polrezov zaradi spačenosti ne ustreza, upoštevamo le tiste izseke krivulje, ki so preslikava nespačenih polrezov (ista slika, debela črta). Izračunana krivulja se mota vsenaokrog po ravnini U , V , vendar so nespačeni polrezi manj podobni etalonskim, kot so si ti med seboj. Po drugi strani pa so si polrezi dveh nasprotnih koncev precej podobni, vendar dokaj drugačni od šablon, ki jih običajno uporabljamo.

Na enak način kot prejšnjo, preglejmo še vrtačo LV 70 (sl. 5). Ta je zaradi bolj zapletene oblikovanosti ustrežnejši predstavnik večine izmerjenih vrtač, vendar pa še vedno toliko pregledna, da ni težko razložiti posameznih gradnikov.

Že na prvi pogled je jasno, da ima več žarišč odnašanja. Po plastnicah lahko sodimo, da leži drugo, vendar šibkejše, zahodno od najgloblje točke. Slika 5/b pa kaže, da ima vrtača nekaj metrov jugovzhodno od glavnega žarišča še tretje. Šiv, ki krožno poteka skozi prvo in tretje žarišče, je posledica oblikovanosti ilovnatega zasipa. Pač pa je zanimivejši tisti na zahodnem robu vrtače, ki sledi znani strukturni smeri.

Smeri padnic pobočij spet kažejo značilne odklone v zunanjem pasu, na kar opozarjajo tudi korelacije (sl. 5/č). V tej zvezi je zanimivo vprašanje, kakšen je vpliv posameznih žarišč reliefne energije na oblikovanost vrtače, kjer imamo v mislih predvsem prvo in tretje. Enako kot za prvo, izračunamo korelacije tudi za tretje žarišče. Iz obeh slik sestavimo novo, tako da upoštevamo tisto, kjer so vrednosti večje. Rezultat (sl. 6) na prvi pogled presenetli, saj je razpored »vplivov«² posameznih žarišč precej drugačen, kot bi si mislili. To pa pomeni, da trenutno najgloblja točka vrtače ni merodajna za oblikovanje pobočij in je bolj slab približek resničnemu žarišču odnašanja.

Tudi pri tej vrtači je večji del polrezov spačen (sl. 7). Tisti, ki takšni niso, sestavljajo dve skupini. Prva obsega polreze s severa in vzhoda vrtače in ti se dosti ne razlikujejo od onih, ki jih poznamo že s prve vrtače. Popolnoma drugačni pa so tisti, ki na zahodni strani prerežejo stransko žarišče. V ravnini U , V zavzemajo diametralno nasproten položaj kot ostali. Njihova geometrija



Sl. 6. Vplivna območja glavnih žarišč vrtače LV 70.

1. Žarišče 1.
2. Žarišče 3.

Fig. 6. Influence areas of the doline LV 70 main foci.

1. Focus 1.
2. Focus 3.

razločno kaže, da je med obema žariščema čvrst prag, ki preprečuje, da bi se srednji, nasuti del vrtače poenotil v eno samo območje.

Tistim polrezom, ki so v obeh vrtačah podobni, naklon od središča navzven najprej enakomerno narašča in doseže maksimum še sorazmerno blizu središča. Praviloma se nato zmanjša in zavzame vrednosti okrog 20° – 30° . Proti obodu se nato še enkrat zmanjša in zopet umiri pri vrednostih tretjine do polovice maksima. Pri polrezih v severnem območju vrtače LV 73 »srednji« konstantni del manjka in »zunanji« sledi neposredno maksimu.

Če te ugotovitve povežemo s prejšnjimi o smernih odklonih, pridemo do verjetne misli, da je takšna oblikovanost posledica različne odpornosti matične kamnine na pobočne procese. Zgornjih nekaj metrov je kamnina bolj razkrojena in zato manj odporna. Stabilnostni kot je manjši kot v nižjih predelih in umikanje pobočij hitrejše. Neenakomernost pri krojenju napravi maso močno anozotropno in oblikovanost pobočij se bolj ravna po razlikah v odpornosti kamnine kot po položaju žarišča reliefne energije. V globljih predelih je kamnina obratno bolje ohranjena, stabilnostni koti so večji, večja pa je tudi izotropnost, tako da se pobočja ravna po položaju žarišča. To pa tudi pomeni, da je umikanje pobočij v tem predelu počasnejše od rahljanja zgornjega območja — ali pa procesa sploh nista sinhrona. Marsikaj kaže, da je umikanje pobočij danes zanemarljivo. Vsekakor pa bo potrebno to misel še preveriti z nadaljnjimi raziskavami oz. računalniškimi simulacijami (F. A h n e r t, 1987).

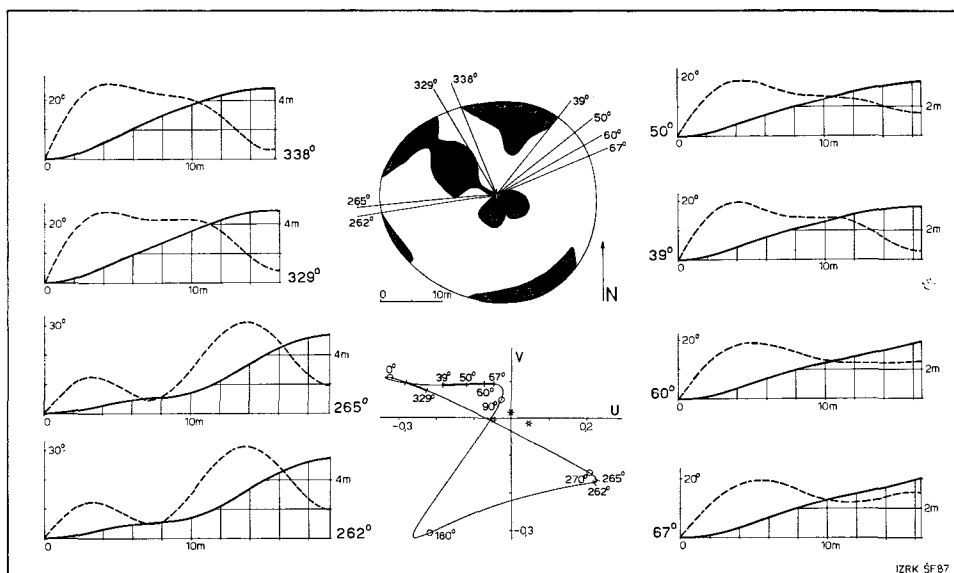


Fig. 7. Doline LV 70.

- Proper and biased semiprofiles regions.
- Correlations of the actual semiprofiles to standards.

Asterisks:
upper: regular cone,
left: half sinusoide rotational
body,
right: quarter sinusoide rota-
tional body.

Sl. 7. Vrtača LV 70.

- Območja sprejemljivih in spačenih polrezov.
- Primerjava dejanskih oblik polrezov z etalonskimi.

Zvezdice:
gornja: pravilni stožec,
leva: vrtenina polovice sinu-
soide,
desna: vrtenina četrtine sinu-
soide.

Kolikor je zaključevanje na osnovi dveh vrtač sploh smiselno, lahko zapišemo, da je oblikovanost tistih njihovih pobočij, ki niso tako ali drugače motena, presenetljivo podobna. To daje upati, da je osnovnih oblik le malo — vsi odkloni pa bi bili tedaj zapis nekih krajevnih pogojev, ki jih bo tako dosti lažje identificirati.

SKLEPNE MISLI

Geomorfološka preiskava je pokazala predvsem smiselnost doslednega obravnavanja ploskev in ne izbranih pojavov. Izkazalo se je, da imamo na sorazmerno majhnem ozemlju, kar omejuje posploševanje, več značilnih naborov ploskev, ki jih lahko imamo za reliefne enote višjega reda kot EME. Obravnavano površje ne kaže niti značilnih reliktnih oblik, kar bi nakazovalo tak ali drugačen ciklični razvoj, niti oblikovanosti, ki bi govorila za zniževanje v uravnovešenih razmerah (steady state), temveč se zdi, da je osnovna konfiguracija

(neo)tektonska. Glavna preoblikovalna agensa sta pobočni procesi, kamor šteje tudi vzporedni umik pobočij, in kemično razkrajanje (korozija). Da bi te ugotovitve dokončno preverili in dali procesom prave dimenzije, je potrebno podrobno proučevanje recentne superstrukturne tektonike. Posebnega pomena je tu konstrukcija teoretičnih modelov preoblikovanja reliefa ob sočasnem tektonskem premikanju, ki lahko prekosi stopnjo denudacije.

Podobno so nerazčiščena vprašanja, povezana z eksodinamiko. Ugotoviti moramo obseg in učinke preteklih in sedanjih pobočnih procesov ter ugotoviti forme, ki izhajajo iz njih. Po drugi strani moramo podrobno razčleniti inačice kemičnega preperevanja tako v odnosu do petrografske sestave matične kamnine, kot glede na to, ali poteka na površju gole skale, pod gruščem ali pod ilovico.

Statistično proučevanje razmestitve vrtač je pokazalo predvsem to, da se po tej plati vrtače ne razlikujejo od mnogih drugih geoloških populacij. Z drugo besedo, vzrokov za njihovo razpostavo ni iskati med eksogenimi, temveč endogenimi faktorji. Isto velja tudi za korozijska brezna, oboje pa kaže na tesno povezavo vrtač in brezen. Smiselno je torej nadaljnje proučevanje tistih teoretičnih modelov, ki vidijo genetsko povezavo med brezni in vrtačami (W. M a u c c i, 1952).

Oblikovanost samih vrtač je v tem prispevku šele komaj načeta. Pokazalo se je, da sta tako kot pri večjih oblikah, tudi tu najpomembnejša oblikovalna procesa ploskovna denudacija, ki jo spremlja vzporeden umik pobočij, in korozijsko kraško razčlenjevanje. Motnje v idealni obliki vrtače, ki se kažejo kot odkloni od usrédenosti, očitno odražajo neenakomernosti v matični kamnini. Kaže, da odpirajo pot k razumevanju, katere od številnih geoloških nezveznosti, ki jih zaznamo v območju vsake vrtače, so genetsko pomembne, katere pa ne. Ko bi se izkazalo, da seže njihov vpliv globlje v podzemlje, so morda ključ za razumevanje speleogenetskega dogajanja v nedostopnem podzemlju.

Nadaljnje raziskave so v teku in verjetno je, da bomo mogli vsaj na nekatera vprašanja jasneje odgovoriti že v doglednem času.

LITERATURA

- Ahnert, F., 1987: Approaches to dynamic equilibrium in theoretical simulation of slope development. *Earth surface processes and landforms*, 12, 3—15.
- Cvijić, J., 1893: Das Karstphänomen. *Geographische Abhandlungen* herausgegeben von A. Penck, 5, 217—330.
- Cvijić, J., 1895: Karst, geografska monografija, 1—135, Beograd.
- Čar, J., 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. *Acta carsologica*, 10, 75—105.
- Čar, J., 1986: Geološke osnove oblikovanja kraškega površja. *Acta carsologica* 14/15, 31—38.
- Davis, J. C., 1973: *Statistics and data analysis in geology*. Wiley & Sons, 1—550, New York.
- Dennis, J. G., 1972: *Structural geology*. The Ronald press company, 1—532, New York.

- Fairbridge, R. W., 1968: The encyclopedia of geomorphology. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1—1259, Stroudsburg, Penn.
- Forti, F., 1973, Proposta di una scala di carsificabilità epigea nelle carbonatiti calcaree del Carso triestino. Atti del Museo Civico di Storia naturale di Trieste, 28/1, 67—100.
- Gams, I., 1963: Logarček. Acta carsologica, 3, 7—84.
- Gams, I., 1973: Die zweiphasige quartärzeitliche Flächenbildung in den Poljen und Blindtälern des Nordwestliches Dinarisches Karstes. Geographische Zeitschrift, Beihefte, 143—149.
- Gospodarič, R., 1982: Morfološki in geološki položaj kraških votlin v ponornem obrobju Planinskega polja. Acta carsologica, 10, 157—171.
- Habič, P., 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo. SAZU, Dela 21, Inštitut za geografijo 11, 1—243, Ljubljana.
- Habič, P., 1972: Osnovna speleološka karta Slovenije, list Vrhnika 2-b, 1 : 25 000. 1—160, elaborat s prilogami v arhivu IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Habič, P., 1973: Osnovna speleološka karta Slovenije, list Vrhnika 2-d, 1 : 25 000. 1—156, elaborat s prilogami v arhivu IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Habič, P., 1978: Razporeditev kraških globeli v Dinarskem krasu. Geografski vestnik, 50, 17—29.
- Habič, P., 1982/a: Pregledna speleološka karta Slovenije. Acta carsologica, 10, 5—22.
- Habič, P., 1982/b: Kraški relief in tektonika. Acta carsologica, 10, 23—44.
- Habič, P., 1986: Površinska razčlenjenost Dinarskega krasa. Acta carsologica 14/15, 39—58.
- Kunaver, J., 1982: Geomorfološki razvoj Kaninskega pogorja s posebnim oziranjem na glaciokraške pojave. Geografski zbornik, 22/4, 197—346.
- Maucci, W., 1952: L'ipotesi dell'Erosione inversa, come contributo allo studio della speleogenesi. Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali, Trieste, 46, 1—60.
- Mc Connell, H., Horn, J. M., 1972: Probabilities of surface karst. V: Chorley, R. J. (ur.): Spatial analysis in geomorphology. Harper & Row, 111—133, London.
- Melik, A., 1963: Slovenija, geografski opis, splošni del. Slovenska matica, 1—617, Ljubljana.
- Perišić, M., 1983: Primjena geostatistika. Rudarski institut, Beograd, 1—538, Beograd.
- Rayner, J. N., 1971: An introduction to spectral analysis. Pion, 1—174, London.
- Roglić, J., 1957: Zaravni na vapnencima. Geografski glasnik, 19, 103—134.
- Scheidegger, A. E., 1983: Instability principle in geomorphic equilibrium. Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, 27/1, 1—19.
- Scheidegger, A. E., 1986: The catena principle in geomorphology. Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, 30/3, 257—273.
- Sneath, P. H. A., Sokal, R. R., 1973: Numerical taxonomy. W. H. Freeman and company, 1—573, San Francisco.
- Sparks, B. W., 1977: Geomorphology. Longman, 1—530, London, New York.
- Radinja, D., 1972: Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. Geografski zbornik, 13, 197—242.
- Šušteršič, F., 1978: Prispevek k poznavanju pritočnega dela Planinskega polja in Postojnskih vrat. Geografski vestnik, 50, 51—63.
- Šušteršič, F., 1980: Kvantitativno proučevanje elementov fizične speleologije v prostoru Planinskega polja, 2. 1—21, elaborat s prilogami v arhivu IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Šušteršič, F., 1982: Nekaj misli o oblikovanosti kraškega površja. Geografski vestnik, 54, 19—28.
- Šušteršič, F., 1985: Metoda morfometrije in računalniške obdelave vrtač. Acta carsologica, 13, 79—97.
- Šušteršič, F., 1986: Model čistega krasa in nasledki v interpretaciji kraškega površja. Acta carsologica 14/15, 59—70.

- Šušteršič, F., Puc, M., 1970: Kraško podzemlje ob severovzhodnem kotu Planinskega polja. *Acta carsologica*, 5, 205—270.
- Šušteršič, F., Jakopin, P., 1979: Kvantitativno proučevanje elementov fizične speleologije v prostoru Planinskega polja. 1—41, elaborat v arhivu IZRK ZRC SAZU, Postojna.
- Timofeev, D. A., 1984: Elementarnie morfoložičeskie edinici kak objekt geomorfoložičeskogo analiza. *Geomorfoložija*, 1984/1, 19—29.
- Trudgill, S., 1985: *Limestone geomorphology*. Longman, 1—196, London and New York.
- Vincent, P. J., 1987: Spatial dispersion of polygonal karst sinks. *Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge*, 31/1, 65—72.
- Williams, P. W., 1972: The analysis of spatial characteristics of karst terrains. V: Chorley, R. J. (ur.), *Spatial analysis in geomorphology*. Harper & Row, 133—163, London.

THE SMALL SCALE SURFACE KARST AND SOLUTION DOLINES AT THE NORTHEASTER BORDER OF PLANINSKO POLJE

Summary

Since the Cvijić's monography *Das Karstphänomen* (1893) the opinion that the karst relief is in a way relic fluvial, deformed by karst shaping has dominated. The last decades research all over the world has shaken a lot the confidence to these ideas. Thus, an experimental polygon was erected near the northeastern border of the Planinsko polje, where geological, speleological and geomorphological investigations are in course. The latter investigations encompass both the general relief shaping as well as the small phenomena, solution dolines especially. This paper is an essay to present the first results of the geomorphological research, providing a preliminary information rather than a survey of the final conclusions.

The present paper encompasses the general relief morphology, and the spatial distribution of dolines, and the proper dolines shaping. The discussion possible is added to every chapter, whilst the guidelines to further research are collected in the final chapter.

The research area was planned in such a way that it encompasses the surface above the most important outflow caves of the Planinsko polje (Logarček and Najdena jama), and covers the contact between lithologically quite different lower and upper Cretaceous limestones. The area is one of the most speleologically studied in Slovenia (I. Gams, 1963, F. Šušteršič, M. Puc, 1970, R. Gospodarič, 1982) and it offers ample possibilities to compare geological, geomorphological and speleological findings.

At first a detailed geological map on the scale 1:5000 (J. Čar, 1982) was done and some morphometrical analyses performed. The last showed in several ways that fluvial elements in the present relief may not be expected. So, the following geomorphological mapping was designed in a flexible way, the legend being not fixed in forward. It was oriented to geometry and factography, avoiding the genesis. Special concern was given to the dolines. In 150 m wide stripe, directed parallelly to the dip was destined for detailed studies of dolines and 20 of them were measured in a special way (F. Šušteršič, 1985). A computer program pack was developed to process the field data. Filtered doline shape, its volume, the direction

and the amount of the doline surface slope can be computed. In such a way one can distinguish which semiprofiles are not biased and numerical taxonomy operations can be executed upon them.

The field works started in 1980, being concluded in 1983 in general lines. The theoretical work, including development of computer software lasted up to the end of 1986.

GЕOMORPHOLOGICAL PRESENTATION

The studied territory lies at the northeastern border of the Planinsko polje (Fig. 1/a). The proper area is not covered by a line pattern on the map. A general geological sketch is added on the right side (Fig. 1/b). Just physiographically one may divide it in three units. The northern and eastern border are marked by elevations named Lekanov vrh, Vogence, Lešnikov vrh, Vrh petelina, and Lanski vrh. The southwestern unit is the immediate polje margin. Areally the largest ground between is a rough, undulated surface, pitted with numerous solution and collapse dolines.

The present rocks are carbonates, on the eastern part being lower cretaceous, bituminous, partly dolomitic limestones, while the western part is built of upper cretaceous, micritic, very pure limestones, generally sedimented in thick strata with gentle dip towards west. The whole area is intensively fractured, but only on the very west rim an important regional fault touches it.

Being situated in a very frequented karst region the area has been mentioned by many karst geomorphologists, though no one has paid a special interest to it. Up to the middle seventies the morphology was interpreted as a number of fluvial levels (terraces), destroyed by karstification. Our work found many illogicalities in those views and so we took up the investigation in a very elementary way, consciously avoiding any starting hypothesis. So we made use of D. A. Timofeev's principle of »elementary morphological unit« (EMU) (1984). He defined it as the smallest single part of the surface, characterized by uniform slope, detailed morphology, aspect, and limited by breaks of slope. The present geomorphological map (Annex 1) is an attempt to perform these ideas in practice. All the terminology is omitted and the EMUs are marked by combinations of letters only, in order to avoid any confusion with terms used already, and their present meaning.

Some EMUs could be areally infinite (A) by their own logic, while other could be such in one direction only (L).

A.1 EMUs of the kind are areally the most important. Their slope trend is 5° – 10° and the fall direction points generally towards the polje (SW). In this direction their profile is nearly straight. Perpendicularly to this direction they undulate, the wave length being more than 100 m and the amplitude about 10 m. The EMUs A.1 are pitted with solution dolines and generally covered with grikes. The uniformity of slopes indicates past slope processes which are seemingly dead now.

A.2 At the first sight such EMUs resemble a lot the previous ones, but they are inclined 10° – 20° . Apparently, the slope processes are still active. So dolines are an exception only and grikes are scarce. One might say that EMUs A.2 are continuations of the EMUs A.1 only, but as a rule a distinctive break is between them.

A.3 EMUs of this kind are flat in general, but rough in detail. As in the case of EMUs A.1 dolines are frequent, but the coalescent ones are exceptional. Grikes are as frequent as with the A.1 ones. Usually EMUs A.3 lie at the foot of the A.1.

A.4 At the foot of the EMUs L.1 the A.3 or A.1 ones are typically transformed. The same goes for the bottoms of some irregular shallow terrain depressions. The dolines are either coalescing as a rule or apparently ranged in lines. The inter-

mediate areas are much smaller than in former case. The bedrock is more weathered, the grikes are ruined and seem to be just unearthed from beneath some kind of regolith cover.

AL The area in direct contact with the polje border is many times longer than wide, but it seems that it is an effect of the linear polje border only, while their inner logic permits areal infinity. EMUs AL are inclined 15° – 30° , even more. There is a great variety of active slopes, depending on local rock properties. There is a certain share of nearly perpendicular walls. Being very straight apparently they are not due to cave roof collapse. The slope processes in the AL EMU are active but there is nearly no colluvial material at the foot. On one hand it is a sign that corrosion of debris is faster than the downslope mowing. On the other hand the foot of AL EMUs is very straight in plan, without traces of either fluvial erosion (undercutting) or lateral corrosion. The most plausible conclusion is that the polje border has been formed relative recently by superstructural tectonics.

L.1 This is the most frequent among the infinite in one dimension ones. They resemble a lot to the fluvial terrace scarps, but their tops and feet are not horizontal in longitudinal direction. In the transversal one they are not higher than 10 m and they perform all the features of paralelly retreating slopes. The L.1 EMUs extend in the dinaric direction as a rule. At their top they are in touch with EMUs A.1, while the A.4 occur the most frequently at the foot. Doline slopes are cut very scarcely to EMUs L.1.

L.2 They resemble a lot to the former ones but their directions are arbitrary. The L.1 ones never have a symmetrical equivalent, while they are very usual with the L.2. Some kinds of linear depressions are trapped between them, but they are by no means sections of dry valleys, as they lack any fluvial logic. The activity of the EMUs L.2 is much lower than the activity of doline slopes and so many dolines are cut into them.

L.3 Generally they equal to small cuestras governed by locally thicker limestone strata. Some small fault-formed scarps on the counter-dip side are marked in this way too.

L.4 are sides of the only true bogaz in the area.

With the only exception of the latest all kinds of EMUs occur on all the present types of rock and the change of lithological properties does not affect their forms. So one may conclude that they depend on structural parameters.

Some arrangements of EMUs usually appear together, though their common existence does not imply the catena relations (A. E. Scheidegger, 1986). The most noticeable is the common appearance of EMUs A.1 and L.1. As a rule in such arrangements the A.1 are facing southwest and the L.1 northeast, encompassing unite masses of rock. There is no exogenic process to bring about such a disposition. At the foot of the L.1 (considering the parallel slope retreat) vertical superstructural faults were established, along some of them sinking of the A.1 side and lifting of the L.1 side was detected. In the case of the cave Logarček the process has cut the cave in two pieces after its formation. An open question remains whether the planes A.1 are relics of an older uniformly inclined plane or they are transformations of the southwestern parts of the already formed tectonic blocks, shaped after lifting.

Another frequent arrangement are some kinds of closed or open terrain depressions, built in EMUs A.1 and A.3. Their ground planes are irregular and the bottom is several times pitted with dolines. It seems that their existence supports the well known Cvijić's hypothesis of the uvalas formation, but it comes out that the depression position is just one possible outcome of the paternal surface undulations.

More interesting are longitudinal depressions, bounded by parallel EMUs L.2. It is very possible that their existence is rooted in rock fracturation, but detailed studies have not been executed. Anyway, the arrangement of EMUs is legitimate to be treated as a hierarchically higher relief element than an EMU.

The relief organization of the studied area may thus be regarded as a two-component system. Subrecent or recent superstructural tectonic (neotectonic) has brought about the masses disposition, if the lower size order is about 50 m. Such a groundwork has been being choreographed by parallel slope retreat and medium scale karstification, being not able to cancel out the purely tectonical primary relief organization. So, the physiography may not be interpreted as typical for any of the basic geomorphic systems.

DOLINES DISTRIBUTION

All the dolines in the studied area were mapped on the scale 1 : 5000. The collapse ones were excluded from further processing and no classification among the presumably solution ones was done. The whole territory covers 3,77 km², 0,25 km² being affected by collapsing. This share is omitted in the further discussion. The total number of mapped solution dolines is 918, and the overall density is 260,8 dolines/km². The density varies with lithology and 212,2 dolines/km² were established on lower cretaceous limestones, while the density 352,5 dolines/km² holds for upper cretaceous. The number of doline centres was counted in circles of the average doline influence area. The rough count data were smoothed by a conical filter and a continuous (density) plane was computed (Fig. 1/c).

To check the relations towards the corrosion shafts all the known caves of the kind in the area were processed in the same way. The total number of them is 70, the average density being 19,9 shafts/km² (Fig. 1/d). These data were related to doline data, obtaining correlation $r = 0,42577$ (0,1 % significance level).

Another question bound to the doline density is percentage of surface, affected by dolines. During motorway construction works a great deal of the area was surveyed on the scale 1 : 1000. These data were used to compute the average share of the affected area. The average is 64,03 %, ranging from 29,5 % to 85,5 %, calculated over 10 000 m² areas.

Some basic statistics concerning distribution of dolines were performed. The quadrat statistic showed that the null hypothesis of random distribution may be received at 5 % significance level, but it must be rejected at 1 % level.

The nearest neighbour analysis yielded: $R = 1,22578$ (for total), $R = 1,24381$ (for lower cretaceous), and $R = 1,21667$ (for upper cretaceous) at the 0,1 % significance level. The Donnelly's correction is not considered (discussion in Slovene text).

The immediate neighbours were determined by constructing symmetrals among nearby dolines. The average number of neighbours is 5,84. Nevertheless, it does not imply that the arrangement is hexagonal, as any quadrangular pattern being not rectangular too, produces the same effect. A side or two are short compared to the others then, and just this effect is very common in our case.

The H. Mc Connell and J. M. Horn's (1972) method was used too. The negative binomial distribution fits the best the square count data. It means, that the uneven distribution of dolines on lower and upper cretaceous limestones did not affect the statistics, probably due to proper proportions of the both populations. If one may explain the negative binomial distribution in such circumstances at all, it seems that the best interpretation is that the basic distribution is the Poisson one, but its parameter is Gamma distributed. Such cases are very often in ore minerali-

zation spatial distributions and it means that the doline distribution follows a very general geological structure, i. e. tiny fracturation.

The previous statistical findings can be summarized in a few general conclusions. Dolines appear more frequently on the thickly stratified, pure micritic upper cretaceous limestones, rather than on partly dolomitized lower cretaceous limestones, being somewhere thinly stratified or even laminated. On the other hand lithology does not control the pattern of spatial distribution, which appears to be governed by structural factors.

DOLINES SHAPING

The dolines considered in this chapter are generally named solution dolines, but this expression just implies such a genesis, which remains in several ways still enigmatic. The usual doline morphometry knacks proved not to be very effective (F. Šušteršič, 1985), another, more general access has been designed (o. c.). Twenty dolines in the experimental polygon were measured in this way bringing about a number of interesting data. Anyway, in this paper only two of them are presented, in order to show the method, rather than to start a discussion about their formation.

Doline LV 75 is an example of a simple doline. In its ground plane (Fig. 2/a) three concentric zones can be perceived. In the outermost the slopes are not very centrically oriented, but they apparently try to follow some structural lines. The effect becomes more evident on the Fig. 2/b where the isoplethes connect the points of equal slope direction. Fig. 2/c shows that the inclination of the slope is relatively gentle in this area.

The middle area is characterized by centric slope orientation and extremes in the gradient. The absolute gradient maximum is in the southwester quadrant, probably due to the combined dip angle and insolation (in fact shadow) effect.

The central zone is rough in small scale, but as it is just the top of the sediment fill it is of no further interest.

On the eastern slope of the doline sharp changes of the slope direction were detected. Those lines of discontinuity (in the mathematical sense) were named sutures. Sutures are found in all the measured dolines and they apparently follow local structural directions. Further study of the proper sutures meaning is in course, alluding them to be connected with the master voids.

The direction of the maximum slope decline more or less from the ideal, centric direction. On the Fig. 3 the amounts of deviation (ordinate) are plotted against the actual direction (abscissa). The figurative points are clustered near two very distinct directions, i. e. 20° and 170° , the deviations being maximal there too. It means that those directions are very dominant, extending their influence quite far around. This effect is common to all measured dolines (excluding the most complicated ones) and is well related to dinaric structural directions. (The internal pattern of the clusters is induced by scanning and has nothing to do with the doline shape).

On the other hand a small, isolated cluster is in the western direction. This being the dip direction, it is easy to explain it by the slope instability, induced in such a way.

The mentioned deviations may be transformed to their cosines and the correlation of any point in the doline, with the ideal shape is obtained. Having no proper experience, the value 0,9000 was arbitrarily decided to be the threshold between proper and biased doline shape. So, the semiprofiles, computed over proper slope regions only are informationally valuable. The correlation plot of the doline is shown on the Fig. 2/d. A simplified version of it is Fig. 2/a, where one may see that only

a small part of the doline is regular enough to obtain proper semiprofiles. Some of them are drawn on both sides of the same figure.

It was found that the first three harmonics of any semiprofile contain more than 95 % of the total semiprofile variance and in most cases 99 % too. Thus, the fourth harmonic may be omitted without important lose of information. The first three may be interpreted as components of vectors in threedimensional space and the cosines of the mutual angles are measures of correlation (similarity). Any geometrical shape satisfactorily represented by the first three harmonics can be treated in the same way. So, the three most usual doline model shapes (cone, semisinusoidal and quarter-sinusoidal rotational bodies) were expressed in the same way. The harmonics vectors were normalized and a plane, perpendicular to the resultant defined (U, V). Any semiprofile representative vector transfixes the U, V plane in a point. The distances among these points are approximative measures of the similarity.

Any semiprofile in the doline can be computed and their representative points in the U, V plane form a closed curve (Fig. 4/b). Asterisks represent the three standard shapes and the heavy line the proper semoprofiles. Though they lie in two different parts of the doline they are quite similar, while all the rest are situated in various places of the U, V plane.

The proper semiprofiles differ from the standard ones a bit and it is a sign that up-to-date formalization of the dolines shaping has not been very effective. The proper semiprofiles express again the three well known concentrical stripes, permitting some more insight into the very geometrical relations.

The doline LV 70 is much more complicated, but more representative too. Its ground plane and additional maps (Fig. 5) express several foci of mass removal. Anyway, Fig. 6 shows that the influence areas of foci nr. 1 and 3 are not logically situated. This may be an effect of quite arbitrary organization of the central, loamy part of the doline, or just an effect of the computative algorhytm. Anyway, the focus nr. 2 is not doubtful and a bedrock barrier separates it from the others.

The same taxonomical procedures as before were performed. It is not surprise that the semiprofiles, running over two foci differ a lot from others, but it is a little unexpected, that the rest of them are practically the same as in the former doline. It gives a hope that the proper semiprofile basic shapes are few only, that will facilitate a lot the further studies. Other properties of the doline are visible on the Fig. 5 and no further comment is needed.

SOME GUIDELINES FOR THE FUTURE

The geomorphological investigation showed that the general relief shaping can not be interpreted as relic fluvial and that it may be better explained by recent or subrecent superstructural movements. In some places it has been proved, but the overall extent and the time dynamics must still be determined. The only important exogenic processes appear to be the slope processes (including paralell retreat) and chemical weathering (corrosion combined with different kinds of debris and terra rossa). So far the dimensional and temporal relations between them are not known yet. There is no reason to believe that the exogenic activity overwhelms the endogenic, but all these relations are not scaled yet. Another important additional investigation should be construction of proper computer models to check the ideas exposed.

Statistical study of the doline spatial distribution showed that from this point of view they do not differ from many geological spatial distributions. It seems that their spatial distribution pattern is related to tiny fracturation of bedrock. On the

other hand the absolute doline density values are controlled by lithology. There is no need to induce any proper exogenic process to explain those facts.

The dolines morphology shows similar relations as the general surface one. The important shaping processes are parallel slope retreat and chemical weathering, the former being related to the very position of the mass removal focus (or foci) and the bedrock discontinuities, while the latter is very probably controlled by the master fractures and lithology too. Some linear elements — sutures — were detected in the very doline surfaces, which can be easily related to the well known structural directions. If they prove to be related to the master voids and thus extrapolations might be possible to the underground, they could be a powerful tool for the inaccessible karst conduits studies.

Further research is in course and it is hoped that at least some of the exposed problems could be clarified.

SLEDENJE PODZEMNIH VOD
V ZALEDJU IZVIRA RIŽANE

WATER TRACING IN THE RIŽANA SPRING GROUND
WATER BASIN

PRIMOŽ KRIVIC
MIHAEL BRICELJ
NIKO TRIŠIČ
MARTINA ZUPAN

Izvleček

UDK 556.34.04(497.12:282 Rižana)

Krivic P., Bricelj M., Trišić N., Zupan M.: Sledenje podzemnih vod v zaledju izvira Rižane (Slovenija, NW Jugoslavija)

Pripadnost ponikalnic pri Brezovici, Gračišču in Smokovski vali izviru Rižane je bila dokazana s sledilnimi poizkusi z uraninom, rodaminom, kalijevim kloridom in bakteriofagi. Navidezne hitrosti podzemne vode so odvisne od hidrološke situacije in smeri podzemskih tokov in se gibljejo od 11 do 520 m/h. Do sedaj ugotovljeno padavinsko zaledje izvira Rižane znaša 183 km².

Abstract

UDC 556.34.04(497.12:282 Rižana)

Krivic P., Bricelj M., Trišić N., Zupan M.: Water tracing in the Rižana spring ground water basin (Slovenia, NW Yugoslavia)

Tracing tests with uranine, rhodamine, potassium chloride and bacteriophages were done to prove the connections between Brezovica, Gračišče, Smokovska vala sinking streams and the Rižana spring. The estimated apparent velocities of ground-water vary between 11 and 520 m/h, depending upon the hydrological situation and the direction of flow. The present established catchment area of the Rižana spring amounts to 183 sq. km.

Naslov — Adress

PRIMOŽ KRIVIC
Geološki zavod Ljubljana
61000 Ljubljana, Parmova 33
Jugoslavija

MIHAEL BRICELJ
Inštitut za biologijo Univerze Edvarda Kardelja,
61000 Ljubljana, Aškerčeva 12
Jugoslavija

NIKO TRIŠIĆ
Hidrometeorološki zavod SR Slovenije
61000 Ljubljana, Vojkova 1 b
Jugoslavija

MARTINA ZUPAN
Hidrometeorološki zavod SR Slovenije
61000 Ljubljana, Vojkova 1 b
Jugoslavija

UVOD

Področje Slovenske Istre je zelo revno z vodnimi viri. Edini večji kraški izvir in najpomembnejši vodni vir v Slovenskem Primorju je izvir reke Rižane. Zato ni čudno, da so že pred 50 leti zajeli vodo tega izvira in zgradili vodovod za oskrbo obalnih mest Kopra, Izole in Pirana. Zaradi vse večjih potreb po zdravi pitni vodi se je pomen tega vodnega vira v zadnjem času še povečal. Za izkoriščanje statičnih zalog podtalnice je potrebno ugotoviti padavinsko zaledje in obseg podzemske akumulacije Rižane. Pospešena urbanizacija, industrijske odplake in tranzitni promet nevarnih snovi pa ogrožajo površinske in podzemne vode, tako v aluvijalnih, kot tudi v kraških vodonosnikih. Pri tem tudi izvir Rižane ni izjema, čeprav je lokalno razmeroma dobro zaščiten pod neprepustnimi flišnimi plastmi. Za določitev varstvenih pasov in območij z bolj ali manj strogo zaščito je torej potrebno točno poznavanje padavinskega zaledja, deleža posameznih prispevnih področij in časa zadrževanja vode v vodonosniku od potencialnega mesta onesnaženja do zajetja. Najprimernejša metoda za določitev teh parametrov je sledenje podzemnih vod. Tako smo z obarvanjem različnih ponikalnic z različnimi sledili, istočasno ali ob različnih hidroloških pogojih, pričeli s sistematičnim raziskovanjem padavinskega zaledja izvira Rižane.

PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV

Prvo barvanje v zaledju izvira Rižane je bilo opravljeno že v začetku tega stoletja, ko je Timeus obarval potok Brašnico pri Odolini s 50 kg uranina (G. Timeus, 1910). Obarvana voda se je po petih dneh pojavila v Rižani, ki je štiri dni tekla močno obarvana (G. Timeus, 1928). S tem je bila dokazana pripadnost potokov Matarskega podolja, ki s flišnega jugozahodnega dela Brkinov ponikajo na kontaktu s paleocenskimi in eocenskimi apnenci, povodju Rižane.

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, hrvaškega dela Istre, Rižane, do Boljunca na italijanski strani meje pri Trstu.

Barvanje ponikalnice pri Slovenskem Gračišču z uraninom leta 1960 (ustni podatek P. Štefančiča) in ponovno barvanje leta 1961 (N. Čadež, Arhiv HMZ) s 7 kg uranina tudi nista dokazali zveze z nobenim od opazovanih izvirov (Rižana, Rakovec, Gaber, Mlini).

Zaradi številnih neuspešnih sledilnih poizkusov je postalo padavinsko zaledje izvira Rižane zelo vprašljivo. Zopet so se pojavila mnenja, da vode Ma-

tarskega podolja napajajo izvire Timava, kar so skušali dokazati tudi italijanski raziskovalci, in dvomi v rezultate, ki jih navaja Timeus (D'Ambrosi, 1952; Mosetti, 1966).

Tudi Gračiška, Smokovska, Lukinska in Sočerska vala s svojimi ponikalnicami naj bi pripadale povodju Mirne in ne Rižani (P. Habič in drugi, 1983). Tako bi bilo padavinsko zaledje izvira Rižane zelo majhno in vprašanje, odkod dobiva ta pomembni vodni vir toliko vode, popolnoma odprto, saj znaša njegov srednji letni pretok preko $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Šele sledilni poizkusi, predstavljeni v tem poročilu, so potrdili rezultate prvega barvanja Brašnice pri Odolini (G. Timeus, 1910) in dokazali, da vsa zgoraj navedena področja vendarle pripadajo povodju Rižane.

Poleg omenjenih sledilnih poizkusov je bilo na obravnavanem področju opravljeno le še barvanje ponikalnice pri Velikih Ločah, ko je bila dokazana zveza s potokom v jami Dimnice pri Markovščini (I. Gams, 1966). Nadaljnja podzemski pot vode proti izviru Rižane ni bila ugotovljena, saj izvira Rižane pri tem barvanju niso opazovali, pa tudi uporabljena količina sledila je bila premajhna, da bi to zvezo lahko dokazali.

UPORABLJENE METODE SLEDENJA

Metode sledenja s fluorescenčnimi sledili in soljo so klasične, zato jih tu ne bomo posebej obravnavali. Predstavili bomo le metodo sledenja z bakteriofagi, ki je razmeroma nova in je bila v Jugoslaviji sedaj prvič uporabljena.

Bakteriofagi ali na kratko fagi, so bakterijski virusi, ki se lahko razmnožujejo le v bakterijskih celicah. Ker so sestavljeni le iz deoksiribonukleinske ali ribonukleinske kisline, ki je zavarovana s proteinskim ovojem, morajo inficirati bakterijsko celico, da se razmnože. Pri tem si podrede celotno bakterijsko celično strukturo za sintezo nukleinskih kislin in proteinov, za sestavo novih fagnih delcev.

V osnovi delimo bakteriofage v dve kategoriji: litične ali virulentne in temperirane ali lizogene bakteriofage. Za sledilne poskuse so predvsem pomembni virulentni bakteriofagi, ki na koncu svojega razmnoževalnega cikla bakterijsko celico razgrade ali lizirajo. Bakteriofagi so vrstno specifični, kar pomeni, da večinoma inficirajo le eno bakterijsko vrsto, oziroma celo bakterijski sev. Tako bakteriofagi ene bakterijske vrste ne lizirajo drugih bakterijskih vrst ali drugih organizmov, vključno s človekom. Izven bakterijske celice so bakteriofagi inertni organizmi, ki lahko prežive brez večjih škodljivih posledic daljše časovno obdobje v okolju. Ker so mnogo bolj obstojni na različne uničujoče faktorje v okolju kot bakterije, predstavljajo idealno sredstvo za sledenje tako površinskih kot podzemskih voda.

Pri planiranju uporabe bakteriofagov kot sledil moramo predvsem vedeti, kakšen bakteriofag, oziroma kakšno bakterijo bomo izbrali v določenem sledilnem poskusu. Če so določene vode fekalno onesnažene, potem lahko v njih zasledimo kolifage v večjih ali manjših količinah, poleg njihove gostiteljske bakterije *Escherichia coli*. V takem primeru fagno gostiteljski sistem kolifagi-*Escherichia coli* ni najbolj priporočljiv, ker prisotni kolifagi lahko motijo sle-

dilni poskus. V zadnjem času se zato uporabljajo bakteriofagi, ki inficirajo seve bakterije *Salmonella typhimurium*. Te bakteriofage zelo redko najdemo celo v vodah, ki so močno fekalno onesažene. V našem poskusu smo se odločili za sistem divji sev *Salmonella typhimurium* LT2 in njen bakteriofag P22H5. Poleg tega, da ta bakteriofag tvori na prelivu gostiteljske bakterije dobro razločne čiste plake, ga lahko v kontroliranih laboratorijskih pogojih razmnožimo do dokaj velikih titrov potrebnih za sledilni poskus.

Bakteriofag P22H5 smo razmnoževali v 10-litrskih steklenicah s 5 l gojišča v termostatisirani vodni kopeli na 37° C tako, da smo gojišče stalno prepihovali s sterilnim zrakom in mu na vsake pol ure kontrolirali in popravljali pH vrednost do nevtralnosti. Za razmnoževalno gojišče smo uporabili Triptozni bujon, katerega izdeluje Imunološki zavod TORLAK iz Beograda. V gojišče smo najprej cepili gostiteljsko bakterijo *Salmonella typhimurium* LT2 (TL747) in njeni rasti sledili s fotometrom, tako da smo merili povečevanje motnosti kulture. Ko je kultura dosegla zgornjo fazo logaritemske rasti, smo dodali bakteriofag z multipliciteto infekcije 4, kar pomeni, da so lahko eno bakterijo inficirali štirje fagni delci. Po 120 minutnem nadaljnjem razmnoževanju smo preostale nerazgrajene bakterije razbili z dodatkom 50 ml kloroforma na liter gojitvenega medija. Na ta način smo dobili 10 litrov fagne juhe za sledilni poskus, ki je vsebovala 4×10^{14} fagnih delcev oziroma plak formirajočih enot (= pfe). Bakteriofage smo shranili do poskusa v hladilniku pri 4° C.

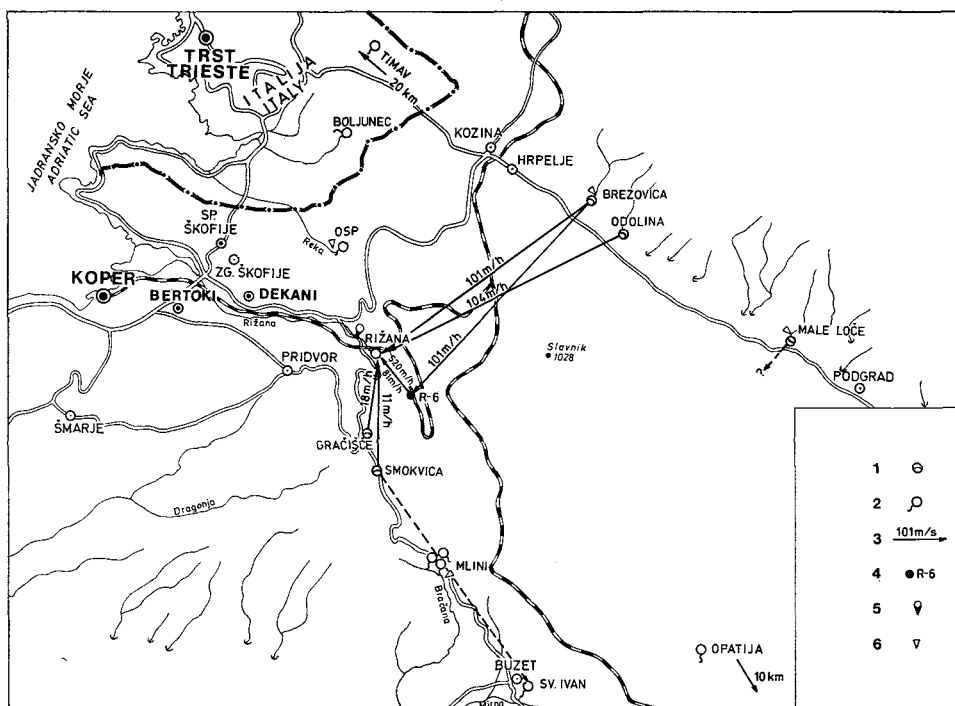
SLEDILNI POIZKUS

Z namenom, da se ugotovi vsaj del vodozbirnega zaledja izvira Rižane na področju Matarskega podolja, Gračišča in Smokvice, je bil izvršen kombiniran sledilni poizkus z istočasnim obarvanjem štirih ponikalnic s štirimi različnimi sledili. Izmed ponikalnic Matarskega podolja sta bili dne 10. 4. 1985 obarvani ponikalnici Ločica pri Brezovici in Male Loče. Južno od izvira Rižane pa sta bili obarvani ponikalnici pri Gračišču in Smokovski vali (slika 1).

V Brezovici smo uporabili 15 kg Na-fluoresceina (uranina), v Malih Ločah 3200 kg soli (KCl), v Gračišču 10 kg rodamina in v Smokovski vali 10 l bakteriofagov s titrom 4×10^{10} plak formirajočih enot/ml. Vzorčevanja so potekala od Kvarnerskega zaliva, hrvaškega dela Istre, Rižane, do izvirov ob Tržaškem zalivu v Italiji.

HIDROLOŠKE MERITVE

Zaledje kraških izvirov Rižane še ni točno definirano. Za vodomersko postajo Rižana-Kubed II smo po študiji »Hidrološki podatki za Rižano« (F. B i d o v e c — 1956) upoštevali površino povodja $F = 172.0 \text{ km}^2$. Postaja je ustanovljena leta 1955, limnigraf pa deluje od leta 1958. Potek vodnega vala Rižane smo določili po obdelavi limnigrama postaje, dnevnih kontrolnih opazovanjih ter pretočni krivulji, ki smo jo izdelali na podlagi hidrometričnih meritev v profilu vodomerske postaje Rižana-Kubed v letu 1985. Upoštevali smo tudi podatke Rižanskega vodovoda o dnevnih odvzemih vode, tako da prikazani vodni val



Sl. 1. Opazovalna mreža in rezultati sledilnega poizkusa v zaledju izvira Rižane.

- 1 — obarvani požiralnik,
- 2 — opazovani izvir,
- 3 — ugotovljena smer in navidezna hitrost podzemne vode,
- 4 — opazovana vrtina,
- 5 — vodomerna postaja z limnigrafom,
- 6 — vodomerni profil.

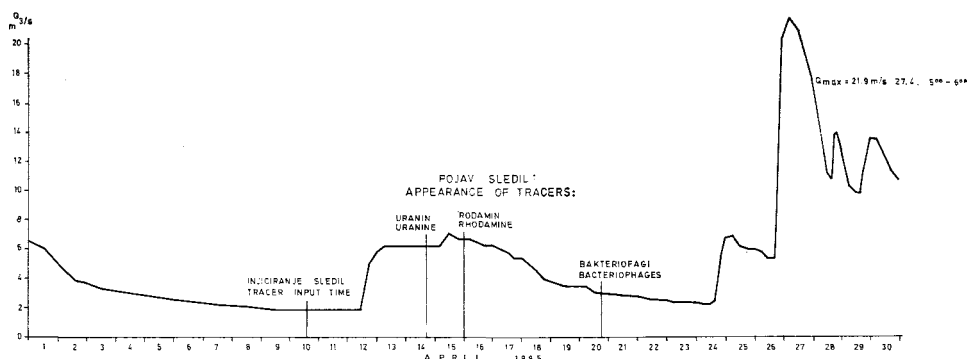
Fig. 1. Topographic map showing observation network of the Rižana catchment area and results of dye-tracing.

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

(slika 2) zajema celotno količino vode izvirov Rižane do vodomerske postaje in sicer za mesec april 1985.

Na Ločici-Brezovica smo za opazovanje in meritev izbrali profil opuščene vodomerske postaje. Redna in izredna opazovanja vodostajev so se vršila od 1. 4. do 23. 6. 1985. Izdelana je bila pretočna krivulja za čas sledilnega poskusa, ki pa pri višjih vodostajih ni zanesljiva.

Na ponikalnici Velika voda — Male Loče smo za dnevna opazovanja vodostajev postavili vodomerni na kamniti podpornik na mostu. Vodostaj je bil opa-



Sl. 2. Hidrogram Rižane s celotnimi pretoki v času sledilnega poizkusa.

Fig. 2. Hydrograph of the Rižana river during tracer experiment.

zovan od 1. 4. do 26. 6. 1985. Pretoki so bili merjeni na istem mestu, vendar pretočna krivulja tudi na tem profilu pri višjih vodostajih ni zanesljiva zaradi zaježitve, ko je dotok vode večji od prepustnosti požiralnikov.

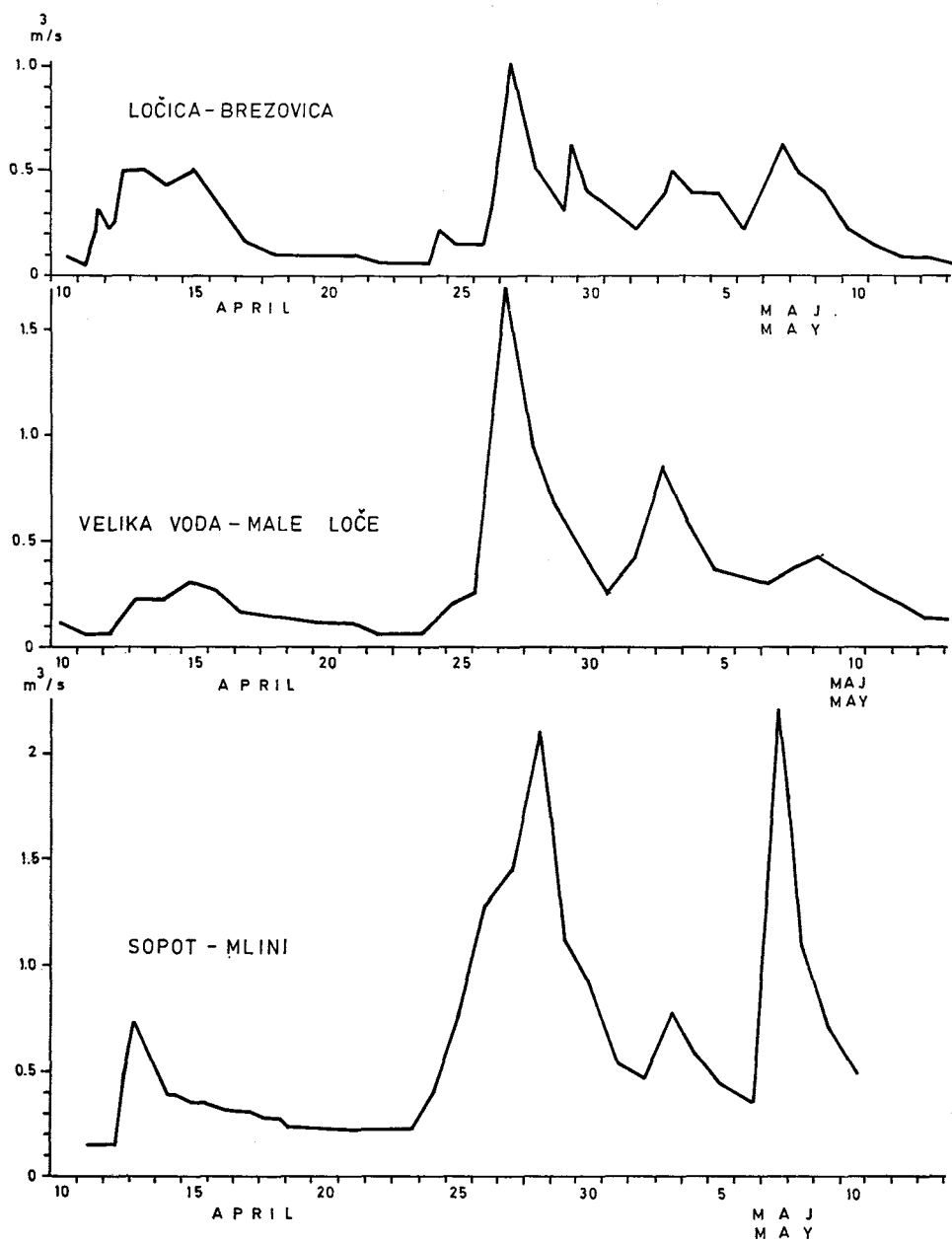
Pod vasjo Mlini smo postavili vodomero v regulirani strugi pritoka Bračane pod sotočjem Are, Sušca in Sopote. Opazovanja so se vršila hkrati z vzorčevanjem. Pretočna krivulja je zanesljiva pri vseh vodnih stanjih. Na sliki 3 podajamo pretoke voda na teh profilih v času sledenja.

Osapska reka izvira kot bruhalnik iz jame Grad nad Ospom, katerega pretoki imajo velika nihanja. Na profilu opuščene vodomerske postaje smo opravili le 2 hidrometrični meritvi, ker je bila struga običajno suha. Vzporedno z meritvami na naštetih profilih, smo za primerjavo izvedli 3 serije hidrometričnih meritev tudi na ostalih ponikalnicah na SW robu Brkinov. Na injiciranih mestih na Gračiškem polju in Smokovski vali smo majhne pretoke samo ocenjevali (sliki 1, 3).

INJICIRANJE SLEDIL

Potok Ločica priteka z bližnjih pobočij Brkinov. Že kmalu pod vasjo Brezovica se pretok Ločice zmanjšuje in ob suši ne doseže požiralnikov na jugu doline. Dne 10. 4. 1985 ob 13. uri smo injicirali 15 kg uranina »Kemika« zmešanega v 60 l vode, direktno v požiralnik približno 500 m pod mostom. Izlivanje je trajalo 3 minute, sledilo pa je odteklo v požiralnik v 30 minutah. Pretok vode v požiralnik je bil ocenjen na 5 l/s, na vodomerski postaji Brezovica pa je znašal 100 l/s. Injicirno mesto je na višini 510 m nadmorske višine.

Ponori v dolini Malih Loč so nanizani ob južnem robu doline na nadmorski višini 500 m. Ob manjših pretokih Velika voda ponikuje že v prvem ponoru, ob večjih pretokih pa preplavi vse ponore ob robu doline. V potok smo injicirali 3,2 t kalijeve soli (KCl). Da bi sledilo čim hitreje odteklo, smo dan poprej potok zaježili v mostnem profilu in s tem akumulirali približno 200 m³ vode. Sol smo injicirali 10. 4. med 11.30—11.40 v strugo pod zaježitev. Ob 11.40 smo



Sl. 3. Hidrografi ponikalnic in izvirov v času sledenja.
Fig. 3. Hydrographs of some sinking rivers and springs during tracer experiment.

pregrado podrli. Vodni val je 500 m oddaljene ponore dosegel ob 11.57 in je trajal do 12.30. Ob 12.40 je znašal pretok na vodomerski postaji 85 l/s. Ob injiciranju sledila je celotna količina vode poniknila že pri prvem požiralniku. Količina injicirane soli je bila majhna, vendar je zaradi pomanjkanja na tržišču ni bilo mogoče dobiti več. Injicirano količino soli nam je odstopila Tovarna dušika v Rušah.

Na ravnini melioriranega Gračiškega polja sta dva požiralnika, v katera se steka reguliran odtok voda s polja na nadmorski višini okoli 280 m. Ocenjen skupni pritok v oba požiralnika je bil na dan injiciranja 5—7 l/s. Zaradi boljšega spiranja sledila v ponor smo pred injiciranjem zaježili strugo severozahodnega dotoka. Zagradili smo odtok v zahodni požiralnik tako, da se je ob injiciranju sledila v južni požiralnik tudi vsa voda stekala tja. V južni požiralnik smo 10. 4. 1985 od 13. ure do 13.05 injicirali 10,3 kg fluoroscenčnega barvila rodamin FB (Braun Heitman) premešanega s 120 l vode. Spiranje posod je trajalo do 13.15. Ob injiciranju smo počasi odpirali jez, za katerim se je akumuliralo približno 1,5 m³ vode, da se je pretok v ponor povečal. Po končanem injiciranju smo jez popolnoma odpri in je voda odtekala 30 sekund s približnim pretokom 15 l/s ter izplaknila sledilo v ponor.

Injiciranje bakteriofagnega sledila je bilo izvedeno 10. 4. 1985 ob 13. uri v Smokovski vali v nadmorski višini 278 m. V petih sekundah smo v vodotok izlili 10 litrov fagne juhe s skupnim titrom 4×10^{14} plakformirajočih enot (= pfe). Pretok pred ponorom je znašal okrog 5 l/s.

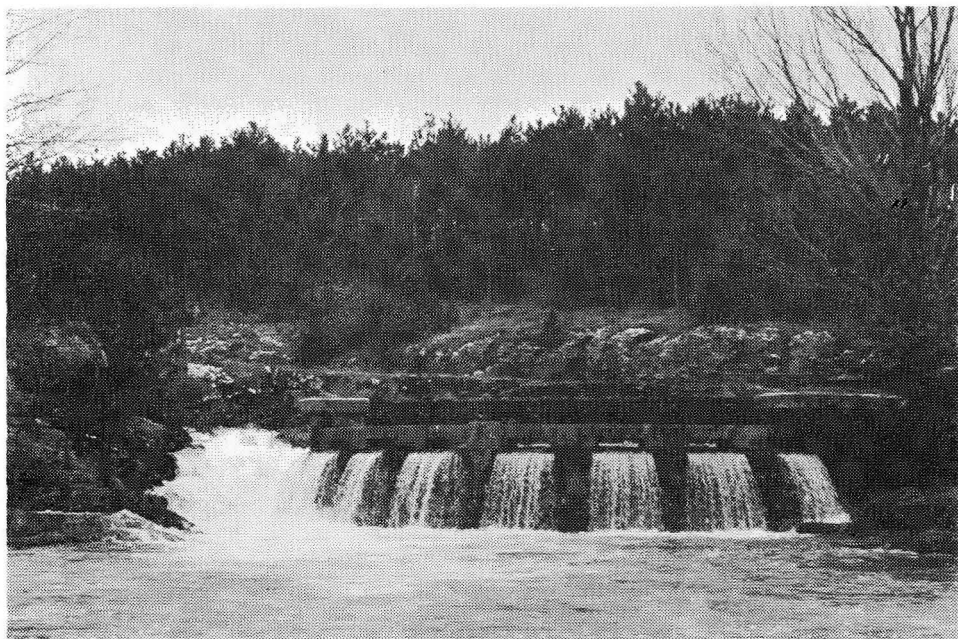
VZORČEVANJE

Na podlagi rezultatov geoloških in hidrogeoloških raziskav ter prejšnjih sledilnih poskusov je bilo izbranih dvanajst zajemnih mest. Najvažnejša lokacija za vzorčevanje je bila, z ozirom na cilj sledilnega poskusa, izvir Rižane oziroma črpališče Rižanskega vodovoda (slika 4). Vzorčevanje je tu potekalo najbolj intenzivno in sicer:

od 10. 4.—29. 4.	4 × dnevno
od 24. 4.—16. 5.	2 × dnevno
od 16. 5.—27. 5.	1 × dnevno

Po 11-dnevni prekinitev smo od 7. 6. dalje do zaključka vzorčevanja 7. 8. 1985 vzorčevali vsak drugi dan. Na tem in vseh ostalih zajemnih mestih so bili pred injiciranjem vzeti slepi vzorci.

V 50 m globoki vrtini R-6 pri Srački babi je bilo vzorčevanje izvedeno s pomočjo elektroagregata in potopne črpalke z izdatnostjo 0,2 l/s. Da ne bi črpalka zajemala vode, ki v vodnjaku miruje, pač pa vedno svežo vodo, smo s krilom SOCOSOR izmerili hitrosti vode v naravnih pogojih pretoka, brez črpanja in tako določili cono največje hitrosti v globini 28,6 m (slika 5). Največja izmerjena hitrost je znašala 0,072 m/s, pretok v smeri navpično navzdol pa 3,2 l/s. Ker gre tu le za vertikalno komponento hitrosti, je naravni pretok



Sl. 4. Izvir Rižane, vodovodno zajetje zalito ob visoki vodi.

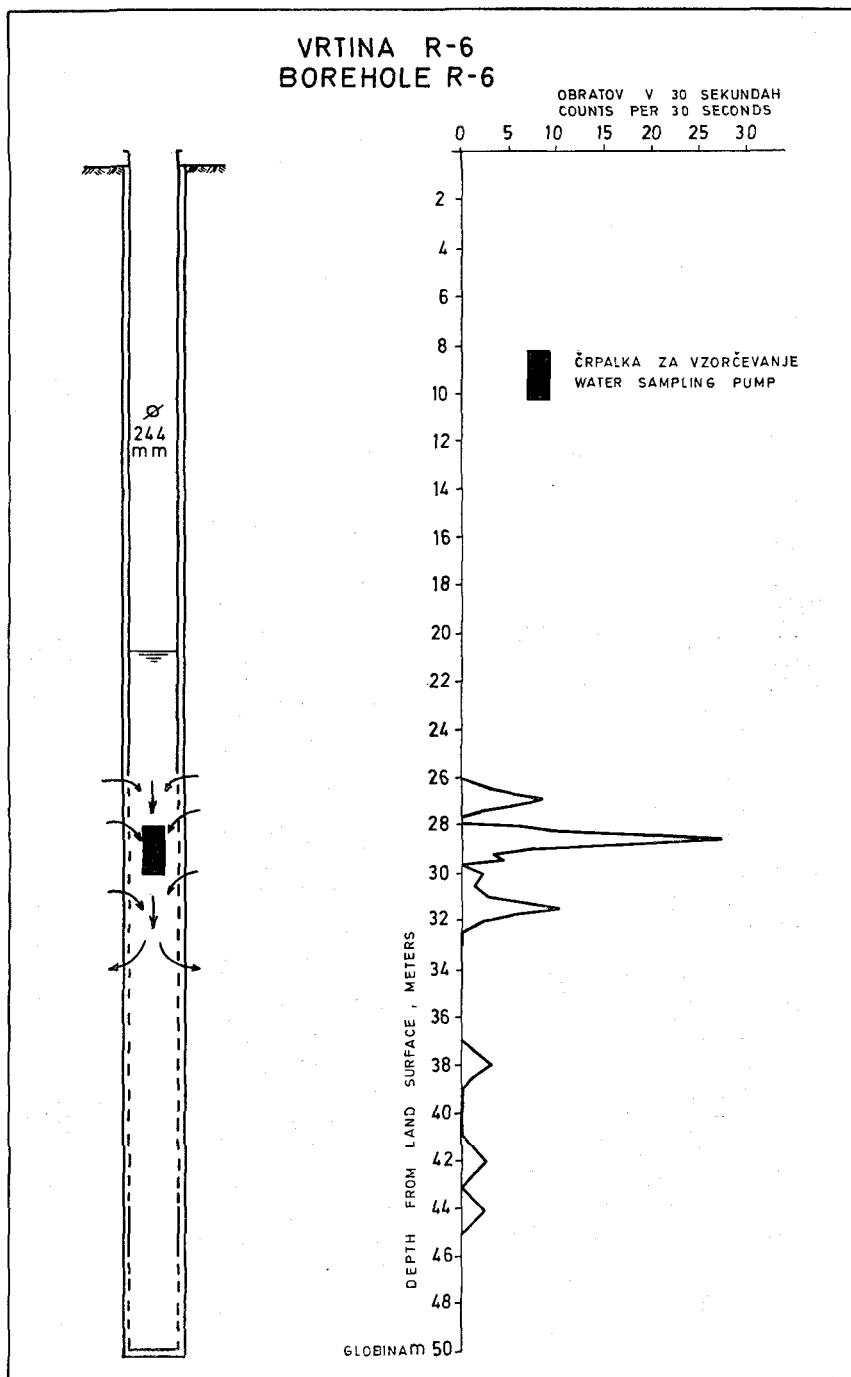
Fig. 4. Rižana spring, water intake for public supply flooded after several heavy rains.

v globini 28,6 m, kamor smo namestili črpalko za odvzem vzorcev, še precej večji. Tako smo iz vrtine R-6 dobili reprezentativne vzorce sledil, ki so potovala po vodonosniku proti izviru Rižane. Vzorčevanje na vrtini R-6, izviru Rakovec ter Gabrski potok je potekalo od 11. 4. do 26. 4. trikrat dnevno.

Na glavnem od izviru Timava pri Devinu (III. rokav) je vzorčevanje potekalo enkrat dnevno, od 13. 4. do 13. 5. 1985, v Boljuncu v Izviru pri pokriti pralnici pa dvakrat dnevno, od 11. 4. do 20. 5. 1985. Na Timavu je vzorčevanje organiziral dr. Gemiti s tržaškega vodovoda (firma ACEGA iz Trsta), na Boljuncu pa prof. Sancin (Jamarski odsek Slovenskega planinskega društva iz Doline pri Trstu). Obema se za pomoč najlepše zahvaljujemo.

Zahvaljujemo se tudi Istrskemu vodovodu iz Buzeta, kjer sta ing. Bratulić in ing. Sirotić organizirala vzorčevanje na izviru Sv. Ivan, dvakrat dnevno od 11. 4. do 16. 5. in nato enkrat dnevno vsak drugi dan do 23. 6. 85.

V Ospu smo jemali vzorce v profilu opuščene vodomerske postaje trikrat dnevno, vendar le v času delovanja bruhalnika, sicer pa je struga potoka suha. V izvirih Ara, Sopot in Sušec pri vasi Mlini smo jemali vzorce od 11. 4. do 11. 5. trikrat dnevno. Po prekinitvi, ki je trajala do 4. 6. 1985, smo vzorce do konca junija zajemali vsak drugi dan. Vzorce smo jemali tudi v močnem obmorskem izviru pod hotelom »Admiral« v Opatiji. Vzorčevanje je potekalo od 16. 4. do 11. 7. 1985 enkrat dnevno.



Sl. 5. Meritve vertikalnega pretoka vode v vodnjaku R-6 v naravnih pogojih brez črpanja.

Fig. 5. Impeller flowmeter log of a well R-6 showing direction and rate of natural ground water flow without pumping.

ANALIZE VZORCEV

V vseh vzorcih smo določali koncentracije fluorescenčnih barvil uranin in rodamin. Prav tako smo skoraj v vseh vzorcih določali K, medtem ko smo klorid analizirali le v nekaterih vzorcih kot dopolnitev analiz kalija. Fluorescenčna barvila smo določali na inštrumentu Perkin Elmer 204 z razliko ekscitacijske in emisijske valovne dolžine 25 nm ($\Delta \lambda = 25$ nm). Meja detekcije za uranin je 0,004 mg/m³, za rodamin pa 0,008 mg/m³. Kalij smo določali na plamenskem fotometru, klorid pa z metodo titracije s Hg (NO₃)₂. Meja detekcije za oba je 0,1 mg/l.

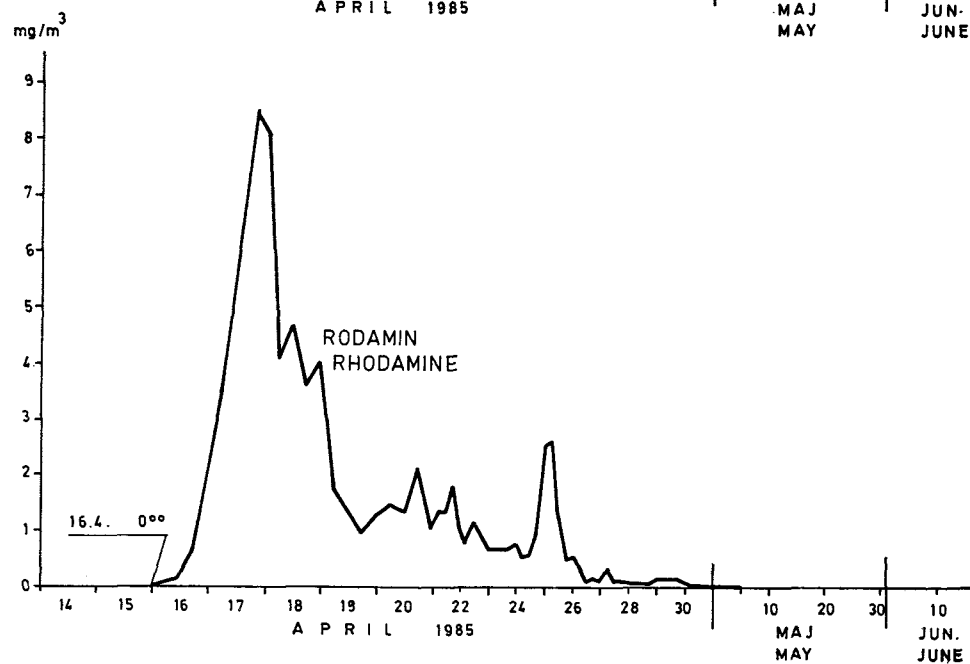
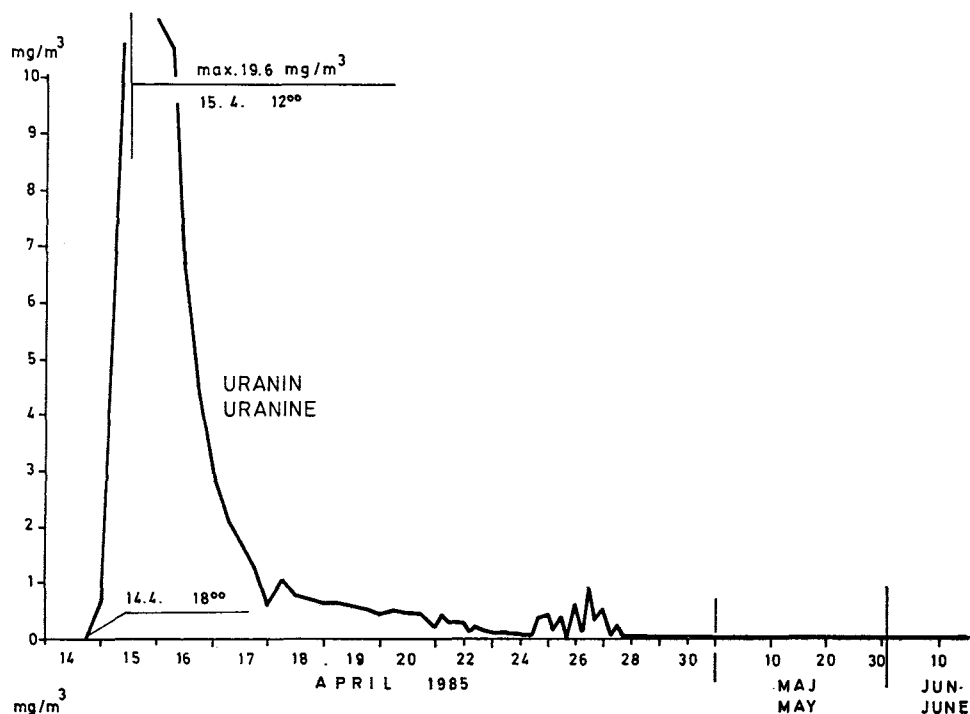
Količino bakteriofagov oziroma pfe (= plakformirajočih enot) smo določevali z dvema metodama. Metoda agarskega preлива je osnova metoda za določevanje števila bakteriofagov v mililitru vzorca ali fagnega titra. V našem primeru smo vzeli 5×1 ml vzorca. Mililiter vzorca smo dodali v epruveto s tremi mililitri raztopljenega mehkega agarja (0,75% hranilni agar TORLAK) na temperaturi 46° C, dodali 0,2 mililitra gostiteljske bakterije v logaritemski fazi rasti, na hitro dobro premešali med dlanmi in razlili preko trdnega agarskega gojišča (1,5% hranilni agar TORLAK) v obliki homogenega preлива. Po 18 urni inkubaciji smo plošče pregledali in prešteli razjednine ali plake (to so mesta, kjer so se bakteriofagi namnožili na gostiteljski bakteriji in jo lizirali). Rezultat smo izrazili kot število plakformirajočih enot = pfe na mililiter vzorca.

MPN metoda (določitev najbolj verjetnega števila pfe v 100 ml vzorca) temelji na enaki metodi, kot se uporablja v sanitarni mikrobiologiji za ocenitev števila koliformnih bakterij v 100 ml vzorca. Metoda je modificirana tako, da je primerna tudi za določevanje bakteriofagov. Pri našem sledilnem poskusu smo uporabili naslednji postopek: 3×10 ml vodnega vzorca smo dodali v 1 ml $10 \times$ koncentriranega triptoznega bujona; 1×1 ml in $1 \times 0,1$ ml vodnega vzorca pa v 10 ml navadnega triptoznega bujona. Vzorcem smo nato dodali 0,2 ml gostiteljske bakterije v logaritemski fazi rasti in inkubirali v vodni kopeli na 37° C preko noči. Naslednji dan smo v vzorce kapnili 3 do 5 kapljic kloroforma, jih dobro premešali na ekscentričnem mešalcu in postavili za dve uri v hladilnik na 4° C, da se je kloroform dobro vsedel. Po dveh urah smo iz vzorcev prenesli kapljico na trdno agarsko gojišče prelito z mehkim agarjem z gostiteljsko bakterijo. Po štirih do osmih urah smo pregledali prisotnost razjednin v dodanih kapljicah in rezultate ovrednotili kot število negativnih in pozitivnih. Količino plakformirajočih enot smo določili z uporabo Swaroopovih tabel.

Meja detekcije metode agarskega preлива pri uporabi 5×1 ml vzorca je 0,2 pfe/ml, kar pomeni 1 razjednina na petih uporabljenih ploščah. Meja detekcije MPN metode je pri uporabljeni količini 3×10 ml, 1×1 ml in $1 \times 0,1$ ml vzorca pri 6 pfe/100 ml vzorca, kar pomeni, da smo zasledili prisoten bakteriofag le v enem 10 mililitrskem vzorcu. Pri tem je potrebno omeniti, da se 6 pfe/100 mililitrov ne more dokazati z metodo direktne agarskega preлива.

URANIN

Uranin se je v višjih koncentracijah, ki zanesljivo dokazujejo povezavo med ponorom in izviri, pojavil v vrtini R-6 in izviru Rižane. Prva koncentracija, višja od koncentracij v slepih vzorcih, se je v vrtini R-6 pojavila 14. 4. ob 19.15



Sl. 6. Časovni potek koncentracij uranina in rodamina v izviru Rižane.

Fig. 6. Uranine and rhodamine concentration curves in the Rižana spring.

(0,009 mg/m³), v izviru Rižane (vodarna) pa v vzorcu, vzetem 14. 4. ob 18. uri. Maksimalna koncentracija 20,5 mg/m³ je bila izmerjena v vzorcu vrtine R-6 vzetem 15. 4. ob 9.15, v vzorcu izvira Rižane pa 15. 4. ob 12. uri (19,6 mg/m³). Časovni potek koncentracij uranina je prikazan za Rižano in za vrtino R-6 na slikah 6 in 7.

V vzorcih vode izvirov Timava in Boljunca smo določili uranin le v sledovih na meji detekcije in ne zvezno. Signal na valovni dolžini značilni za uranin je najbolj verjetno posledica onesnaženja, peneče kopeli v komunalnih odpadnih vodah ali naravnih organskih spojin.

V Osapski reki se je uranin v koncentraciji 0,009—0,010 mg/m³ pojavil v dveh zaporednih vzorcih vzetih 14. 4. 1985, sicer pa tudi v nepravilnih časovnih razmakih in nizkih koncentracijah na meji detekcije. Z ozirom na čas pojava barvila v Rižani in razdalje, je v primeru Ospa možno, da uranin določen v Ospu, izvira iz ponora Ločice. Vendar zaradi prenizkih koncentracij tega z gotovostjo ni mogoče trditi, še posebej ker se je v sledovih pojavil uranin že v slepem vzorcu. Popolnoma izključiti pa možnosti povezave ne moremo.

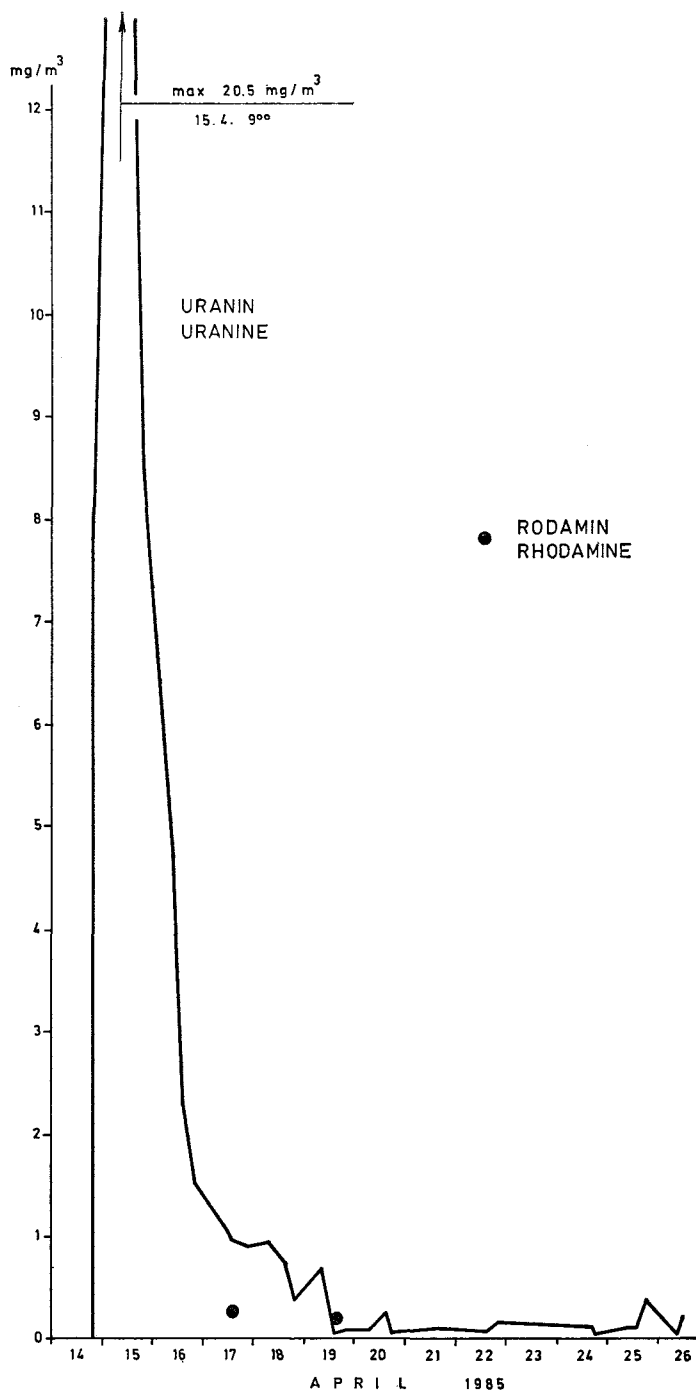
V Gabrskem potoku smo uranin določili v večini vzorcev, vendar v enakih koncentracijah kot v slepih vzorcih, torej gre pri tem zajemnem mestu za naravno ozadje. Tudi v izviru Rakovec smo v večini vzorcev določili koncentracijo uranina v mejah, ki je bila določena tudi v slepih vzorcih. Izstopata dva vzorca, v katerih je bila določena koncentracija uranina 0,015 mg/m³ (14. 4. ob 14.30 in 23. 4. ob 9. uri). Z ozirom na pogosto prisotnost sledov uranina oziroma snovi s signalom pri isti valovni dolžini domnevamo, da je ta dva višja signala prej pripisati ozadju kot pa sledilu. Z ozirom na padavine in povezavo z melioriranim poljem na Gračišču je to veliko bolj verjetno kot povezava z Ločico.

V izvirih Ara in Sopot v Mlinih so bile v posameznih vzorcih izmerjene koncentracije uranina na meji detekcije, za katere je težko reči, da izvirajo iz ponora Ločice. Zelo verjetno tudi izmerjene koncentracije v izviru Sušec ne. Vendar pa je bil v izviru Sušec pojav barvila v koncentracijah na meji detekcije, ki smo jih izmerili po 24. aprilu 1985, veliko pogostejši kot prej. Žal ravno med 21. in 23. 4. vzorci na tem izviru niso bili jemani. Z ozirom na istočasno povišane pretoke je možno in verjetno, da so te povišane koncentracije tudi posledica povišanega naravnega ozadja.

V izviru Sv. Ivan v Buzetu in izviru pod hotelom Admiral v Opatiji smo izmerili sledi v posameznih vzorcih, ki pa skoraj gotovo ne izvirajo iz ponora Ločice, temveč predstavljajo ozadje.

RODAMIN

Rodamin se je v visokih koncentracijah, ki lahko dokazujejo povezavo s ponorom na Gračiškem polju, pojavil le v izviru Rižane in v dveh vzorcih vrtine R-6. Prvi pojav barvila rodamin v vzorcu izvirov Rižane smo izmerili 16. 4. 1985 ob 0.00, maksimalno koncentracijo 8,5 mg/m³ pa v vzorcu vzetem 17. 4. ob 18. uri. Časovni potek koncentracije rodamina v izviru Rižane je prikazan na sliki 6, za vrtino R-6 pa sta na sliki 7 vrisani obe povišani koncentraciji v vzorcih



Sl. 7. Časovni potek koncentracij uranina in rodamina v vodnjaku R-6.
Fig. 7. Uranine and rhodamine concentrations in samples of water well R-6.

zajetih 17. 4. 1985 ob 14.05 in 19. 4. 1985 ob 14.50. V vrtini R-6 nismo izmerili povečanih koncentracij rodamina v obliki krivulje, temveč le posamezne višje vrednosti. Sledovi rodamina so se v vrtini R-6 pojavili 15. 4. 1985 ob 19.45, torej 4 ure prej kot v izviru Rižane, maksimalna koncentracija ($0,26 \text{ mg/m}^3$) je bila prav tako izmerjena 17. 4. 1985 ob 14.05, torej tudi 4 ure prej kot v izviru Rižane.

Že ob barvanjih z uraninom junija 1984, ko rodamina sploh nismo uporabili, so se pojavili posamezni vzorci s fluorescenčno snovjo z maksimalno emisijsko valovno dolžino 578 nm , ki odgovarja valovni dolžini značilni za barvilo rodamin, v koncentracijah do $0,6 \text{ mg/m}^3$. Zato menimo, da je barvanje ponikalnice pri Gračišču dokazalo le zvezo z izvirom Rižane, ne pa tudi z vrtino R-6.

Razen v teh dveh zajemnih mestih smo rodamin v manjših koncentracijah in posameznih vzorcih izmerili v naslednjih izviri: Rakovec 14. 4. ob 14.30 $0,010 \text{ mg/l}$ in 16. 4. ob 9. uri $0,015 \text{ mg/l}$, Gabrski potok 14. 4. ob 9.45 sled na meji detekcije, Boljunec 1. 5. ob 9.10 in 20.5 ob 9.10 sled na meji detekcije, izvir pod hotelom Admiral 28. 5. ob 10. uri in 25. 6. ob 10. uri sled na meji detekcije. V vseh ostalih vzorcih je bil rezultat analize na rodamin negativen.

KALIJEV KLORID

Koncentracija kalija in klorida v nobenem vzorcu ni bila bistveno višja od vrednosti ozadja. V izviru Rižane so bile slepe vrednosti za kalij precej konstantne ($0,6 \text{ mg/l}$), najvišja izmerjena pa je bila $1,0 \text{ mg/l}$. Kot dokaz za povezavo izvira s ponorom je to odločno premalo.

V izviri Boljunec, Ara, Sopot, Sušec in Sv. Ivan so bile izmerjene najvišje vsebnosti K okrog 1 mg/l , v slepih vzorcih pa $0,5\text{--}0,9 \text{ mg/l}$. Nekoliko višje vsebnosti kalija smo izmerili tako v slepih kot tudi pozneje jemanih vzorcih Gabrskega potoka in Rakovca, vendar je to posledica drugačne geološke sestave tal v zaledju teh dveh izvirov.

Edini od izvirov, kjer vsebnost kalija bolj niha, je izvir Osapske Reke v Ospi. 19. 4. ob 14. uri je bilo izmerjenih $2,6 \text{ mg/l}$, 20. 4. ob 14. uri pa $3,7 \text{ mg/l}$. Z ozirom na vsebnost kalija v slepem vzorcu vzetem 26. 2. 1985 ($2,4 \text{ mg/l}$) pa tudi te koncentracije ne pomenijo dokaza za povezavo s ponorom v Malih Ločah, temveč so prej znak za občasno onesnaženje iz zaledja.

Količina injiciranega sledila je bila z ozirom na razredčitve prenizka in bo treba injiciranje v ponoru Male Loče ponoviti. Na izvir pod hotelom Admiral vpliva morska voda in je vsebnost kalija ter klorida tako visoka, da meritve niso bile smiselne. Tudi dokazovanje povezav ponorov s tem izvirom s kalijevim ali natrijevim kloridom je nemogoče.

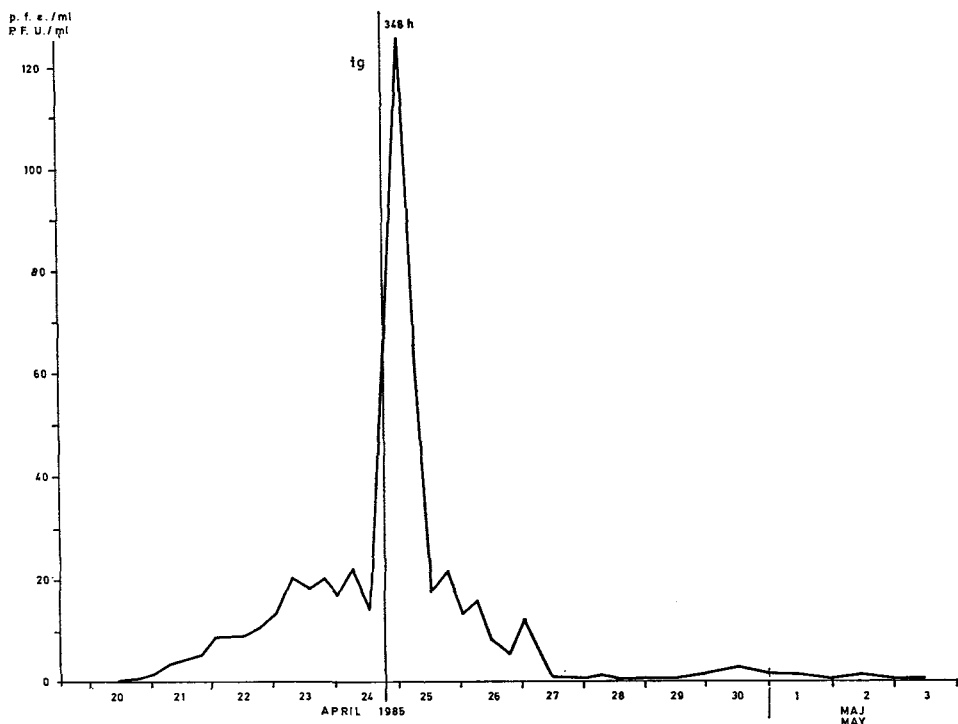
BAKTERIOFAGI

Ker so bili vzorci Rižane najbolj pomembni, to se vidi iz števila dnevnih vzorcev, smo se odločili, da ga preizkušamo samo z metodo direktnega agar-skega preliva, pri kateri dobimo točno določeno število pfe/ml. Tako smo od

11. 4. do 19. 4. določevali število bakteriofagov dvakrat dnevno. Od 20. 4. pa do 17. 6. pa smo pregledali vse vzorce. Prvi pojav bakteriofagov smo zasledili 20. 4. v vzorcu ob 18. uri. Koncentracija bakteriofagov se je povečevala do maksimuma dne 25. 4. ob 6. uri, ko je dosegla vrednost 128,4 pfe/ml, nato pa je začelo število bakteriofagov upadati (slika 8) in doseglo 3. 5. ob 6. uri zadnjo pozitivno vrednost. Od tega datuma pa do 17. 6. v vzorcih Rižane nismo več zasledili nobenega prisotnega bakteriofaga. S tem je dokazana zveza med ponikalnico v Smokovski vali in izviro Rižane.

Vzorke vode iz vrtine R-6 smo preizkusili z metodo MPN, enkrat dnevno pa smo en vzorec preizkusili tudi z metodo direktnega agarkega preliva. Vsi vzorci, preizkušeni z obema metodama, so bili negativni, bakteriofagov v vzorcih vode ni bilo prisotnih. Zato lahko sklepamo, da povezava med Smokovsko valo in vrtino R-6 ne obstaja.

Vzorke iz izvirov pri Mlinih (Sušec, Sopot in Ara) ter Sv. Ivan pri Buzetu smo obdelali z obema omenjenima metodama. Pri izviru Ara sploh nismo dobili pozitivnih rezultatov, pri ostalih izviri pa je bilo nekaj vzorcev na meji detekcije metode. V izviru Sušec smo v vzorcu z dne 15. 4. ob 6. uri z MPN metodo dobili 6 pfe/100 ml. V izviru Sopot je vzorec direktnega agarkega pre-



Sl. 8. Časovni potek koncentracij bakteriofagov v izviru Rižane.
Fig. 8. Concentration curve of bacteriophages in the Rižana spring.

liva pokazal dne 17. 4. ob 12. uri 0,4 pfe, z MPN metodo pa smo v istem vzorcu dobili 6 pfe/100 ml. MPN metoda je bila pozitivna sicer v meji detekcije tudi v vzorcu z dne 16. 4. ob 12. uri in 18. 4. tudi ob 12. uri. Vzorci iz izvira Sv. Ivan so dali pozitivne rezultate na meji detekcije z MPN metodo 17. 4. ob 19. uri in 18. 4. ob 7. uri.

Iz dobljenih negativnih rezultatov in le nekaj posameznih pozitivnih vzorcev, ki so na meji detekcije MPN metode, in enega pozitivnega rezultata metode direktnega preliwa lahko zaključimo, da povezava med Smokovsko valo in izviri pri Mlinih in Buzetu zelo verjetno ne obstaja, še zlasti, ker se tudi rodamin iz bližnjega Gračiškega polja v teh izviri ni pojavil.

IZRAČUN KOLIČINE POVRNjenih SLEDIL

Izračun količine povrnjenih sledil je narejen le za izvir Rižane, ker so se le v njem pojavili uranin, rodamin in bakteriofagi v višjih koncentracijah z značilnim časovnim potekom. Za izračun smo uporabili hidrološke podatke za vodomersko postajo Rižana — Kubed II z upoštevanjem odzema vode za Rižanski vodovod.

Sledilo uranin se je pojavilo v izviri Rižane 14. 4. ob 18. uri. Do 24. ure istega dne je priteklo v izvir 46,2 g uranina, 15. 4. 7143 g uranina, 16. 4. pa 4074 g. V času od pojava barvila 14. 4. ob 18. uri do 16. 4. ob 24. uri je v izvir priteklo 11 263 g uranina ali preko 75 % celotne injicirane količine sledila. Do zaključka vzorčevanja 7. 8. 1985 se je količina povrnjenega barvila dvignila na 13 960 g oz. 93,06 %. Izračunana količina povrnjenega sledila je glede na izkušnje zelo visoka, vendar je možna glede na ugodne hidrološke razmere ob sledenju in razmeroma hiter pojav v izviru.

Rodamin se je pojavil v vzorcih Rižane 16. 4. ob 0.00. Do 19. 4. ob 24. uri je priteklo v izvir Rižane 5592 g sledila oziroma 54,3 %. Do 10. 5. 1985 je v izvir priteklo 8504 g sledila, do zadnjega vzorca, v katerem smo še ugotovili prisotnost rodamina 21. 6. pa še 13 g. Skupno je povrnjenega 8517 g rodamina oziroma 82,7 %.

Procent povrnjenega rodamina je nižji kot pri uraninu, vendar je dovolj velik za sklepanje, da barvilo ni odtekalo nikamor drugam, kot v izvir Rižane. Časovni potek količine povrnjenih barvil uranina in rodamina je prikazan na sliki 9.

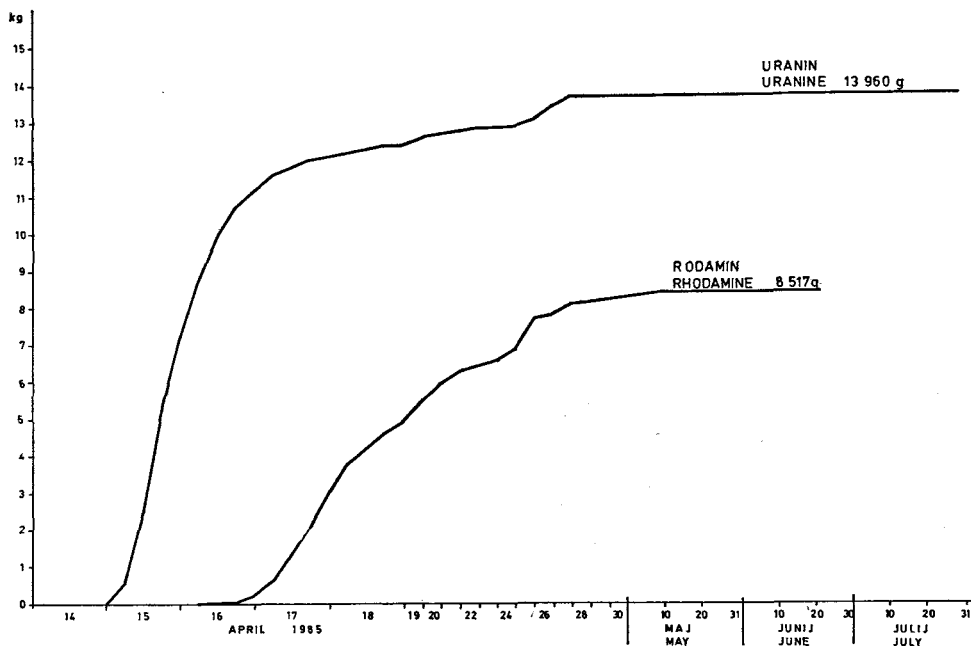
Z ozirom na neobičajno visoko količino povrnjenih sledil smo preverili tudi pravilnost analiz barvil in ostalih obdelav ter pretokov Rižane. Iz dobljenih pozitivnih rezultatov analiz bakteriofagov smo sestavili sledilno krivuljo, katero predstavlja slika 8. Iz podatkov smo lahko izračunali tudi težiščno vala. Pri tem smo uporabili naslednjo formulo

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

pri kateri pomeni

c_i — koncentracija fagov v vzorcu i

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



Sl. 9. Povrnjene količine sledil v izviru Rižane.

Fig. 9. Returned quantities of tracers as appeared in the Rižana spring.

Izračunana težiščnica vala ima vrednost 347,98 ure, kar lahko zaokrožimo na 348 ur.

Če vzamemo težiščnico vala kot povprečni čas potovanja mase bakteriofagov, lahko po naslednji empirični formuli izračunamo potrebno količino bakteriofagov za sledilni poskus:

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

P_{mark} = število bakteriofagov potrebno za sledilni poskus (pfe)

a = faktor z vrednostjo od 20 do 50, ki odraža osnovni nivo bakteriofagov, oziroma neugodne pogoje za preživetje (pfe/ml)

t = ocenjeni čas do pojave sledila v vzorcu (sec)

Q = pretok (m^3/sec)

Če v našem primeru vzamemo povprečni pretok na postaji Rižana-Kubed kot $7,64 \text{ m}^3/\text{sec}$ v času od začetka pojava fagov do konca, ko doseže koncentracija ponovno ničelno vrednost, potem v primeru uporabe faktorja 20 dobimo potrebno količino v vrednosti $1,7 \times 10^{14}$ Pfe; v primeru uporabe faktorja 50 pa $4,4 \times 10^{14}$ Pfe. Dodana količina pa je bila 4×10^{14} Pfe. Ker v našem primeru nismo zasledili nobenega osnovnega nivoja salmonelnih fagov v vzorcu, lahko upoštevamo faktor 20 ali še manj, torej je bila količina dodanih fagov za sledilni poskus dovolj velika.

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

$$\text{izkoristek} = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100$$

M_1 — količina injiciranega bakteriofaga

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

M_2 — količina bakteriofaga v površini vala

V vzorcih Rižane smo dobili količino vrnjenih bakteriofagov $6,24 \times 10^{13}$ pfe, kar pomeni le 15,6 % izkoristek.

ZAKLJUČEK

Dne 10. 4. 1985 ob 13. uri je bilo izvedeno istočasno obarvanje štirih ponikalnic s štirimi različnimi sledili. Priprave za ta poizkus pa so trajale že en mesec pred dnevom injiciranja. Večkrat so bili izmerjeni pretoki vseh ponikalnic na južnem obrobju Brkinov, pri Gračišču, Smokovski vali, ter izvirov, kjer smo kasneje odvezemali vzorce vode za analize. Vgrajene so bile hidrometrične letve in izmerjeni profili za opazovanje pretoka med sledilnim poizkusom. Nad ponorom v Malih Ločah je bila zgrajena pregrada za akumuliranje vode, s katero je bila kasneje odplavljena večja količina sledila v podzemlje.

Z uraninom obarvana voda iz Brezovice se je že po 4,5 dneh pojavila na vrtini R-6 pri Srački babi in na izviru Rižane. Barvilo rodamin iz Gračišča je prišlo do izvira Rižane po 6,5 dneh. Bakteriofagi iz Smokovske vale 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.

Ugotovljene navidezne hitrosti podzemne vode proti izviru Rižane z ozirom na maksimum koncentracije znašajo iz Brezovice 101 m/h, iz Gračišča 18,5 m/h in iz Smokovske vale le 11,3 m/h. Visoka hitrost dotokov iz smeri Brkinov (104 m/h), je bila ugotovljena tudi že pri barvanju Brašnice pri Odolini leta 1910. Počasni pretok vode z južne strani proti izviru Rižane pa je verjetno vzrok za neuspela barvanja, ki so bila izvedena na tem področju.

Rezultati sledilnih poizkusov so služili predvsem za določitev padavinskega zaledja izvira Rižane in za zaščito tega pomembnega vodnega vira. Na osnovi predhodno izvršenih raziskav so bili določeni varstveni pasovi in območja izvira Rižane. Za določitev varstvenih pasov so bili uporabljeni sledeči kriteriji:

- hidrografski kriteriji (površinske razvodnice)
- hidrogeološki kriteriji (podzemske razvodnice)
- litološki kriteriji (kolektorji — prepustne plasti: apnenci, dolomiti; izolatorji — neprepustne plasti: fliš)

- hidrodinamični kriteriji (hitrost pretoka vode od potencialnega mesta onesnaževanja do izvira in čas zadrževanja vode v podzemlju z ozirom na samočistilno sposobnost in eventuelno možnost posredovanja v primeru nesreče z izlitjem škodljivih snovi).

Zaradi značilne heterogenosti kraških vodonosnikov v vertikalni in horizontalni smeri varstveni pasovi niso več bolj ali manj nepravilne elipse, kot v primeru aluvijalnih vodonosnikov, pač pa ponekod oddaljenejša področja (ponorne cone ponikalnic) zahtevajo strožjo zaščito od izvira bližjih ozemelj brez direktne infiltracije do kraškega vodonosnika Rižane.

Ugotovljeno padavinsko zaledje izvira Rižane obsega 183 km² površine, od katere odpade na najožji varstveni pas 2,5 km², na ožji varstveni pas 43,7 km², na širši varstveni pas 110,8 km² in na vplivni varstveni pas 26 km². Z nadaljnjimi sledilnimi poizkusi se bo ugotovljeno padavinsko zaledje izvira Rižane nedvomno še povečalo. S tem pa se bodo povečala tudi varstvena območja, zlasti ožji in širši varstveni pas.

Kot nadaljevanje opravljenih raziskav predvidevamo sledenja ponikalnic pri Hotični, Velikih Ločah, Jezerini in ponovitev barvanja v Malih Ločah, za določitev razvodnice med Rižano in Kvarnerskim zalivom, ter barvanja v Čičariji (ponikalnice pri Vodica, Danah in druge) za določitev razvodnice med Rižano in izvirom Sv. Ivan pri Buzetu in ostalimi pritoki Mirne. Sledilni poizkusi opravljeni v letu 1985 so že precej razjasnili doslej neznano zaledje izvira Rižane in upravičeno lahko pričakujemo, da bodo tudi nadaljnji poizkusi pripomogli k poznavanju zaledja tega zelo pomembnega vodnega vira.

LITERATURA

- D'Ambrosi, C., 1952: Osservazioni geo-idrologiche preliminari presso Trieste, Boll. Soc. Adr. Sc. Nat., 46, (1951—1952), 75—90, Trieste.
- Čadež, N., 1963: Barvanje in poizkus z raziskovalno metodo s trosi v Brkinih leta 1963. Arhiv HMZ, Ljubljana.
- Gams, I., 1966: Poročilo o barvanjih v Dimnicah in v Triglavskem breznu v l. 1964. Acta Carsologica, 4, 151—156, Ljubljana.
- Habič, P., R. Gospodarič, A. Mihevc, F. Šušteršič, 1983: Movraška in Smokovska vala ter Jama pod Krogom. Acta Carsologica, 11, (1982), 77—97, Ljubljana.
- Mosetti, F., 1966: Lo stato delle attuali conoscenze sulla idrologia carsica e relative ripercussioni sul problema dell'alimentazione idrica di Trieste, Atti Mus. civ. St. Nat., 25, 4, 73—105, Trieste.
- 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.

WATER TRACING IN THE RIŽANA SPRING GROUND WATER BASIN

Summary

The investigations of the catchment area of the Rižana spring started in 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. Dye-tracings done in the years 1960 to 1963 in three sinking streams at the Matarsko podolje in the SW part of the Brkini Mts., and twice in the swallet of sinking brook near Gračišče did not result into significant outcomes. So, the catchment area of this very important Karst spring of the Rižana river was unknown until recent tracing experiment presented in this paper.

Four different tracers were injected at the same time on the 10th of April 1985 at 1 p. m., into four sinking rivers, selected for this experiment. Two of them are on the foothills of the Brkini Mts. (Brezovica and Male Loče), and two in Čičarija region (Gračišče and Smokovska vala). 15 kg of uranine has been injected into the swallet of sinking river Ločica near Brezovica. At Male Loče tracing with 3200 kg of potassium chloride has been achieved and 10 kg of rhodamine was used in Gračišče swallow hole, while the injection of bacteriophage tracer P 22 H 5 was performed with 10 liters of phage broth with titer of 4×10^{13} P. F. U. in Smokovska vala.

Samples were collected from the springs Rižana, Rakovec and Gaber, and from the drilled water well R-6, in the Rižana valley; from the springs Sopot, Ara, Sušec and Sv. Ivan in the Mirna valley; from the springs Timavo and Boljunec on the rim of the Trieste Bay in Italy and in one spring near Opatija in Kvarner Bay in Croatia.

Uranine appeared at Rižana spring and in R-6 borehole four days after the injection. Practically the total amount of the injected tracer emerged at Rižana spring and the apparent velocity of the water from the sinkhole to spring was about 101 m/h. Rhodamine appeared six days after the injection, but only at Rižana spring. As calculated, the 82 % of injected dye reappeared at Rižana spring and the apparent velocity of the water flow from Gračišče was 18,5 m/h. Bacteriophages from Smokovska uvala also appeared only at Rižana spring after ten days. But only 15,6 % of injected phages reappeared with the velocity of groundwater flow of 11,3 m/h. In other springs only some traces of injected tracers were detected, as e. g. potassium chloride from the Male Loče sinkhole, on the limit of detection.

The present established precipitation recharge area of the Rižana spring amounts to 183 sq. km, of which the most narrow groundwater quality protection area comprises 2,5 sq. km, the narrow protection area 43,7 sq. km, the broader protection area 110,8 sq. km and the influence protection area 26 sq. km. The known precipitation catchment area of the Rižana spring can be increased by further investigations.

SLEDILNI POSKUS NA KRAŠKEM RAZVODJU
MED IDRIJCO, VIPAVO IN LJUBLJANICO

WATER TRACING TEST ON THE KARST WATERSHED AMONG
IDRIJCA, VIPAVA AND LJUBLJANICA

PETER HABIČ

Izvleček

UDC 556.34.04(234.422.1-16)

Habič Peter: Sledilni poskus na kraškem razvodju med Idrijco, Vipavo in Ljubljano

Na visokem krasu v NW delu Dinaridov (Slovenija, Jugoslavija) je z barvanjem ponikalnic na Vodica in v Črnem Vrhu nad Idrijo potrjena poglobitna zveza z izviri Podroteje in Divjega jezera in manj izrazita s Hubljem in Vipavo, bifurkacija na jadransko-črnomoškem razvodju pa ni zanesljivo dokazana. Izsledki so pomembni za varovanje kraških vodnih virov, hitrosti podzemeljskih tokov so razmeroma nizke, od 20 do 60 m/h.

Abstract

UDC 556.34.04(234.422.1-16)

Habič Peter: Water tracing test on the karst watershed among Idrijca, Vipava and Ljubljana

In the High karst of the NW Dinarids part (Slovenia, Yugoslavia) the main connection with Podroteja spring and Divje jezero and less distinctive with Hubelj and Vipava has been proved by the sinking streams water tracing on Vodice and Črni Vrh. The bifurcation between Adriatic — Black Sea watershed has not been surely established. The results are important for karst water resources protection. The underground streams speed being relatively low, from 20 to 60 m/h.

Naslov — Address

dr. Peter HABİÇ, znanstveni svetnik
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
66230 Postojna, Titov trg 2
Jugoslavija

UVOD

V severozahodnem delu Dinarskega krasa se stikajo med dolinama Idrijce in Vipave ter med Notranjskim podoljem in Postojnsko kotlino različne zgradbene enote, ki jim pripadajo visoke kraške planote Hrušice, Nanosa in Trnovskega gozda. Pretežni del tega brezvodnega kraškega površja sega v višine med 800 in 1300 m, izviri na obrobju pa so v višinah med 100 in 300 m. Bogate padavine, ki dosegaajo v dolgoletnem povprečju od 1500 do 3000 mm, v celoti podzemeljsko odtekaajo z okrog 300 km² redko naseljenega kraškega površja v izvire Idrijce in Vipave ter z njima proti Jadranskemu morju in v izvire Ljublanice ter z njo proti Črnemu morju.

V severnem dolomitnem razvodnem predelu med Idrijco in Ljublanico je več manjših ponikalnic. S predhodnimi sledenji je dokazano, da odtekaajo hkrati proti Ljublanici in proti Idrijci. V tem predelu torej zaradi značilne kraške bifurkacije ni mogoče natančno določiti niti površinskega niti podzemeljskega razvodja med Jadranskim in Črnim morjem. V osrednjem in južnem razvodnem predelu obravnavanega visokega krasa pa z izjemo ponikalnice na Vodicaah nad Colom ni nobenih površinskih voda. Na Vodicaah se zbira voda z ozkega pasu eocenskega fliša, ki je razgaljen med apnenci in dolomiti hrušiškega nariva in trnovskega pokrova. Potok ponika v apnenice trnovskega pokrova in ponuja redko priložnost za določitev smeri in hitrosti odtoka iz tega razvodnega predela.

Preučevanje zaledja kraških izvirov postaja vse pomembnejše še posebno pri izvirih, ki so zajeti za oskrbo. Na obrobju visokega krasa med Idrijco in Vipavo so že zajeti izviri Podroteje, Vipave in Hublja. Njihovo hidrografsko zaledje pa doslej še ni dovolj raziskano, narašča pa potreba po učinkovitem zavarovanju pomembnih virov pitne vode.

V okviru večletnega programa hidrogeoloških raziskav vodnih virov na Idrijskem, ki jih financirajo Občinska raziskovalna skupnost Idrija, Zveza vodnih skupnosti Slovenije in Območna vodna skupnost Soče, je Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU izvedel leta 1982 kombiniran sledilni poskus z obarvanjem ponikalnice na Vodicaah in v Črnem Vrhu. Izsledki so zanimivi, ker je ugotovljeno raztekanje vode v Idrijco in v Vipavo in nakazana kraška bifurkacija tudi v osrednjem delu visokega krasa.

PREGLED PREDHODNIH RAZISKAV

Z geološkim kartiranjem širšega območja in s podrobnim preučevanjem idrijskega rudišča (S. Buser, 1965; I. Mlakar, 1969; L. Placer, 1973; L. Placer, J. Čar, 1974) je pojasnjena tudi zapletena narivna zgradba visokega krasa med Idrijco in Vipavo. Kredni, jurski in zgornje triasni apnenci

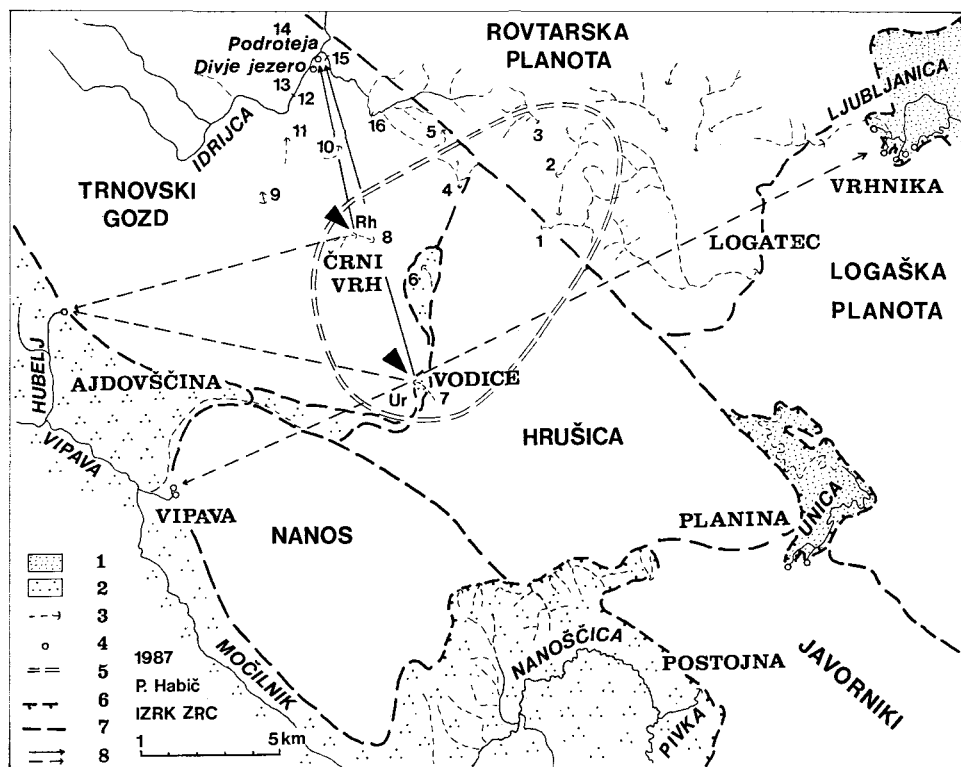
in dolomiti so v Trnovskem gozdu narinjeni na eocenski fliš. Npropustna flišna podlaga je razgaljena v Vipavski dolini, pa tudi v globoko zarezanih dolinah Idrijce pri Divjem jezeru ter Nikove in Kanomlje. Ozek pas fliša obkroža vzhodno obrobje trnovskega nariva med Colom, Vodicami in Lomi, pod njim pa leže kredni apnenci hrušiskega nariva, ki mu pripada vzhodni del Črnovrške planote in celotna Hrušica z Nanosom. Razpoložljivi geološki in hidrogeološki podatki še ne zadoščajo za natančnejšo opredelitev zaledja poglavitnih kraških izvirov Vipave, Hublja, Divjega jezera, Podroteje in Ljubljani. V zaledju izvirov so bile opravljene zanimive speleološke raziskave, zlasti na Črnovrški planoti (F. Habe, F. Hribar, P. Štefančič, 1955; J. Gantar, R. Savnik, 1959) in v Divjem jezeru (P. Krivic, T. Praprotnik, 1975). Geomorfološko in hidrološko problematiko visokega krasa med Idrijco in Vipavo smo preučevali tudi po letu 1963 (P. Habič, 1964; 1965; 1966; 1970; 1972; 1980). Nekaj novih spoznanj o hidrogeologiji tega območja so prispevale študije Geološkega zavoda (Z. Menec, 1972) in idrijskih geologov (L. Placer, J. Čar, 1974) ter skupine raziskovalcev v okviru 3. mednarodnega simpozija o sledenju podzemeljskih voda v porečju Ljubljani (R. Gospodarič, P. Habič, 1976). Takratno sledenje je prispevalo pomembno spoznanje o raztekanju ali bifurkaciji podzemeljskih voda z Logaško-rovtarske planote in hotenskih ponikalnic v porečje Idrijce in Ljubljani ter s tem hkrati v jadransko in črnomoško porečje (H. Hötzel, V. Maurin, J. Zötl, 1976). S tem se je tudi razširilo dokazano zaledje Podroteje in Divjega jezera precej proti vzhodu. Nerazjasnjeno pa je ostalo razvodje v osrednjem delu visokega krasa.

Ker se vode v visokem krasu raztekajo na vse strani, ni mogoče določiti razvodnice le na podlagi geološke zgradbe. S tektonskimi premiki po narivanju je razlomljena in razmaknjena tudi navidez npropustna flišna podlaga, zato je mogoče le z barvanjem ugotoviti smer odtoka iz določenega predela. V ta namen smo izbrali ponikalnico na Vodicah in enega od potokov, ki ponikajo v dolomitnem pokrovu Črnovrške planote (sl. 1).

PRIPRAVE NA SLEDENJE

V pripravi na kombinirani sledilni poskus so bile od jeseni 1981 do jeseni 1982 opazovane vodne razmere v celotnem zaledju. Opravljene so bile tudi enkrat mesečno kemične analize 16 ponikalnic in izvirov. Merjeni so bili pretoki, temperature, pH, prevodnost, trdota in vsebnost ter poraba kisika. Nekaj rezultatov teh analiz je podanih v tabeli 1 in na sliki 2, kjer smo primerjali celokupno trdoto ter razmerje Ca/Mg v izbranih izvirih in ponorih.

Na območju Črnovrške planote je več manjših občasnih ponikalnic. Njihove hidrografske lastnosti pa niso najbolj ugodne za zanesljivo sledenje, ker jih je mogoče barvati le ob visoki vodi, za kar pa so potrebne večje količine sledil. Med stalnimi in hkrati najbolj onesnaženimi je Črnovrški potok, ki smo ga izbrali za sledenje tudi zaradi ugodnega položaja.



Sl. 1. Sledilni poskus na Vodicah in v Črnem Vrhu nad Idrijo
 1 — kvartarne kotline
 2 — površje na eocenskem flišu
 3 — ponikalnica
 4 — kraški izvir
 5 — kraško bifurkacijsko območje
 6 — obrobje kotlin
 7 — rob kraške planote
 8 — dokazane zveze, poglavitne, stranske

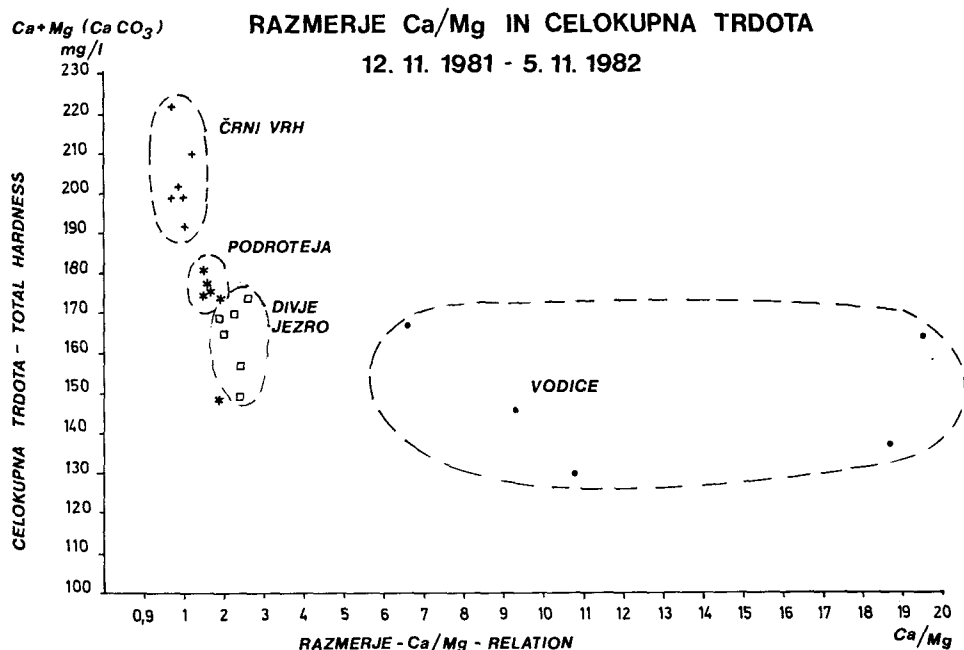
Fig. 1. Water tracing test on Vodicah and Črni Vrh above Idrija
 1 — quaternary basins
 2 — surface on Eocene flysch
 3 — sinking stream
 4 — karst spring
 5 — karst bifurcation area
 6 — margin of the basins
 7 — edge of karst plateau
 8 — proved connections, main, secondary

Črnovrški potok

Izviru ob dolomitnem vznožju v zatrepu nad vasjo Črni Vrh. Po geološki zgradbi sodeč se vode iz višjega kraškega dolomitnega zaledja prelivajo na površje zaradi manj prepustne podlage ob narivni ploskvi z zdrobljeno in milonitizirano kamnino med tretjim in četrtem idrijskim pokrovom. Obseg zaledja ni znan. Voda izvira na več mestih iz delno razširjenih razpok, ki jih ponekod prekriva pobočni drobir. Izviri so v višini med 695 in 700 m. Zajeti so za vodo-vod in po regulirani strugi odteka le nezajeta voda. Pod naseljem je struga speljana po nasipu, nekakšnem vršaju proti severu do najnižjega dela ravnice, kjer struga ob višjem dolomitnem bregu ostro zavije proti vzhodu. Prav na

ovinku se voda tudi začenja izgubljeni v strugi na višini okrog 680 m. Pri višjih vodah teče potok še naprej do ponikev v bližini sedanje bencinske črpalke, kjer je ob ponoru zgrajena čistilna naprava. Vanjo je speljana kanalizacija hotela Bor, pa tudi naselja Črni Vrh.

Stvarnega pretoka Črnovrškega potoka nismo mogli določiti, saj se vodne razmere spreminjajo vzdolž struge, zato jih ni mogoče stalno meriti in opazovati na istem mestu. Pretok je ocenjen od nekaj desetink litra na sekundo do preko 100 l/s. Pri visokih vodah niso upoštevane vode iz območja Trebč in Zaldoga, ki se občasno stekajo v ta potok. Temperature izvirne vode so razmeroma stalne in se gibljejo med 7 in 11° C. Majhne spremembe so zabeležene tudi pri drugih kemičnih in fizikalnih lastnostih, prevodnost se giblje med 350 in 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, karbonatna trdota med 190 in 225 mg/l, razmeroma velik je delež Mg od 90 do 115 mg/l, razmerje Ca/Mg pa okrog 1 (sl. 2). Zadovoljiv je delež kisika, stopnja onesnaženosti se spreminja, tako da poraba kisika znatno niha. Izvirna voda je kemično in tudi drugače ugodna za neposredno oskrbo, neugodne pa so odpadne vode, ki ogrožajo kvaliteto podzemeljske kraške vode v zaledju Podroteje.



Sl. 2. Razmerje Ca/Mg in celokupna trdota voda na Vodica in v Črnem Vrhu ter v izviri Podroteja in Divje jezero

Fig. 2. The rate Ca/Mg and total water hardness on Vodice and Črni Vrh and in the springs Podroteja and Divje jezero

TABELA 1: Pregled fizikalno kemičnih lastnosti ponikalnic in izvirov

28. 10. 1982	Pretok	T_v	pH		Trdote		Ca	Mg	Celokup.
					Karb.	Nekarb.			
	l s ⁻¹	°C		$\mu\text{S cm}^{-1}$			mg	CaCO ₃ l ⁻¹	
Hotenka (1)	60	9,6	8,1	408	245	3	122	126	248
Žejski potok (2)	20	9,5	8,1	361	203	13	155	61	216
Pikeljca (3)	15	9,2	8,1	339	190	10	116	84	200
Šebalkove ponikve (4)	2	10,6	8,0	430	255	—3	138	114	252
Potok za Godovičem (5)	3	11,1	8,1	554	306	26	160	120	280
Lome (6)	2	10,1	8,0	223	123	—1	102	20	122
Vodice (7)	0,02 m ³ /s	8,2	8,1	260	140	5	131	14	145
Potok nad Črnim vrhom (8)	10	8,0	8,1	349	188	11	98	101	199
Zadlog (9)	2	8,9	8,1	476	270	7	140	137	277
Potok pri Habeč. br. (10)	4	8,6	8,0	366	213	4	109	108	217
Potok pri Koševniku (11)	10	9,7	8,1	364	210	7	107	110	217
Idrija pred Divjim jezerom (12)	1,96 m ³ /s	9,5	8,0	316	183	—2	101	80	181
Divje jezero (13)	2,98 m ³ /s	8,6	8,1	243	162	5	111	56	167
Podroteja (14)	2,31 m ³ /s	9,3	8,0	306	167	7	112	62	174
Zala pred sotočjem (15)	0,338 m ³ /s	9,8	8,0	360	210	12	118	104	222
Zala pred kanjonom (16)		9,6	8,0	361	206	8	118	96	214

() oznake na sliki 1

Vodiški potok

Vodiški potok zbira vodo z 0,5 km² velike krpe krednega apnenca in z okrog 1 km² obsežne zaplate eocenskega fliša. Ta izdanja kot podlaga trnovskega nariva. Tu je flišna podlaga najvišje dvignjena, visi pa proti severozahodu, kamor naj bi bile usmerjene tudi podzemeljske vode (L. Placer, J. Čar, 1974). V flišu je nastala izrazita globel, nekakšna slepa dolina. Obdajajo jo apneniški hrbti z višinami med 1000 in 1200 m. Voda s flišnih in kraških bregov okrog Vodic se steka po naplavljeni ravnici v dnu globeli do požiralnikov na severozahodnem obrobju. Le nekaj metrov nad požiralniki je razmeroma širok dolinski preval, ki se nadaljuje z nizom suhih kraških globeli od Široke doline, Kanjega dola in Mrzlega loga do Malega Polja.

Površinsko in kraško zaledje ponikalnice na Vodicaх je omejeno po reliefnih in geoloških razmerah na okrog 1,5 km² površja v višini med 915 in 1240 m. Pretoki niso stalno opazovani, po občasnih meritvah so ocenjeni najnižji na 2 l/s, najvišji preko 300 l/s. Temperature so značilne za površinske vode v tej nadmorski višini. Potok pozimi zamrzne, pa tudi sneg na Vodicaх precej časa leži, sicer pa dosežejo temperature vode tudi 15° C. Prevodnost niha med 250 in 370 μ S/cm, karbonatov je med 120 in 165 mg/l, razmeroma malo je Mg, le od 8 do 22 mg/l, tako da znaša razmerje Ca/Mg od 7 do 18.

KOMBINIRANI SLEDILNI POSKUS

S sodelavci Hidrometeorološkega zavoda SRS M. Kolbeznom, M. Zupanovo in N. Trišičem smo pregledali izvirno in ponorno območje v zadnjih dneh oktobra in ugotovili ugodne hidrološke razmere za izvedbo sledilnega poskusa. Dne 28. 10. 1982 je bilo vse pripravljeno za obarvanje ponikalnic na Vodicaх in v Črnem Vrhу. V opazovalno mrežo smo zajeli izvire Divje jezero, Podroteja, za kontrolo pa smo zajeli tudi Idrijco pred Divjim jezerom. Da bi ugotovili morebitno raztekanje vode v druge obrobne izvire, smo opazovali tudi Vipavo, Hubelj in Ljubljaničo v Močilniku pri Vrhniku. Pred zlitjem barve v ponore so bili vzeti vzorci voda ponikalnic in navedenih izvirov. Sodelavci HMZ so opravili hidrološke meritve in pri Divjem jezeru postavili začasni vodomernik. Ugotovili so naslednje pretoke: Vodice 20 l/s, Črni Vrh 15 l/s, Podroteja 2,31 m³/s, Divje jezero 2,98, Vipava 5,23, Hubelj 2,82 in Idrijca pred Divjim jezerom 1,96 m³/s.

Barvanje ponikalnice na Vodicaх

Za obarvanje ponikalnice na Vodicaх smo izbrali fluorescenčno organsko barvilo uranin, skupno 20 kg. Barvilo smo predhodno raztopili v 100 l v bližnji šupi ob ponikvah na Vodicaх, ker je bilo vreme zelo vetrovno. Barvilo smo vlili v potok okrog 100 m pred požiralniki, kjer je bilo okrog 20 l/s pretoka. Dne 28. 10. 1982 med 15.15 in 15.35 uro je vsa barva odtekla s površja v podzemlje.

Barvanje ponikalnice v Črnem Vrhu

Črnovrški potok s pretokom 15 l/s je izginjal v strugi takoj po zavoju proti vzhodu pri počitniški hišici, preden je dosegel prvi znani požiralnik v dolomitnem bregu. Struga potoka je bila od konca vrtnega zidu pri omenjeni hiši že suha. V 100 l vode smo raztopili 10 kg rodamina in ga ob počasnem mešanju sproti odlivali v strugo, kar je trajalo od 17.15 do 18. ure 28. 10. 1982. Barva je delno zastajala v plitvih tolmunih in se usedala po rastlinju in kamnih, povsem jo je spral s površja šele naslednji dež.

ZAJEMANJE VZORCEV V IZVIRIH

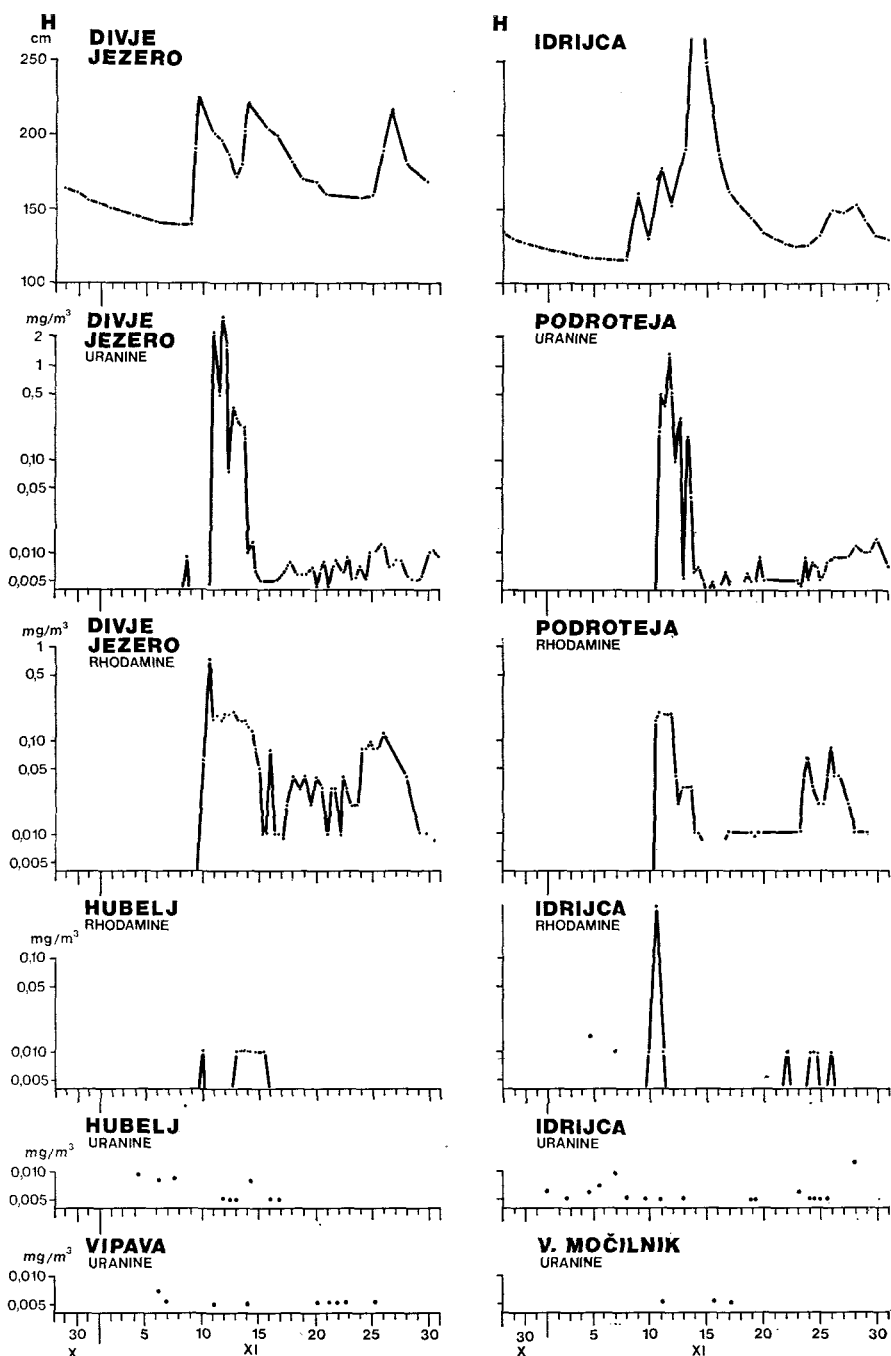
Opazovalci iz Idrije, Vipave, Ajdovščine in Vrhnike so zajemali vzorce vode v navedenih izviri od 29. 10. do 27. 11. 1982. Idrijco nad Divjim jezerom, Divje jezero in Podrotejo je zajemal tov. Fabjan iz Komunalnega podjetja Idrija trikrat dnevno. V Vipavi je dvakrat dnevno zajemala vzorce v izviru Pod farovžem gospodinja D. Robba, Hubelj je prav tako dvakrat dnevno zajemal vojak D. Ružič, Močilnik pri Vrhniki pa enkrat dnevno upokojenec J. Tršar. Opazovalci so bili zelo vestni in zanesljivi in so točno beležili vse potrebne podatke. Uvedena je bila tedenska kontrola opazovanja.

Pobrani vzorci so bili prepeljeni v Ljubljano za analize, tedensko pa so bili odvzeti tudi vzorci vode za kemično analizo, ki je bila opravljena v laboratoriju Inštituta za raziskovanje krasa v Postojni. Za opravljene analize se mag. Janji Kogovšek in Marjanu Luzarju najlepše zahvaljujem.

Ko so po 27. 11. 1982 ugotovili v Ljubljani le sledove barvila v vzorcih, so bila opazovanja in vzorčevanja zaključena. Petkrat so bili odvzeti tudi vzorci v idrijskem rudniku ter enkrat slepi vzorci v vseh površinskih vodah v zaledju Podroteje. Skupno so bili tako zajeti in analizirani 404 vzorci, od tega je bilo obarvanih z uraninom 154, z rodaminom pa 120.

HIDROLOŠKE RAZMERE PRED IN MED SLEDENJEM

Vodne razmere so bile ob koncu oktobra razmeroma ugodne za izvedbo kombiniranega sledilnega poskusa. Prvi jesenski dež je že v začetku oktobra napolnil izpraznjene podzemeljske vodne kanale in tako so po zadnjem višku 25. 10. 1982 vode enakomerno upadale vse tja do 9. 11., ko je ponovni dež dvignil gladino v izviri in povečal pretoke. Višek padavin je bil v noči od 13. na 14. 10., ko so izredno narastle vode zlasti v Vipavski dolini. Hubelj je izviral iz najvišjih votlin, aktiven pa je bil tudi Lijak. Po tem nalivu so vode enakomerno upadale, ob manjšem deževju proti koncu novembra pa so spet nekoliko narastle. Vodne razmere med barvanjem so prikazane na hidrogramih Hublja, Podroteje in Divjega jezera (sl. 3).



Sl. 3. Koncentracija in časovni razpored uranina in rodamina v izvirih Podroteja, Divje jezero, Idrija, Hubelj, Vipava in V. Močilnik po sledenju na Vodica in v Črni Vrh

Fig. 3. Concentration and temporal distribution of Uranine and Rhodamine in the springs Podroteja, Divje jezero, Idrija, Hubelj, Vipava and V. Močilnik after tracing test on Vodice and Črni Vrh

REZULTATI KOMBINIRANEGA SLEDENJA

Vzorke opazovanih izvirov je analizirala inž. Martina Zupan, sodelavka HMZ SRS, po ustaljeni metodologiji (glej 3. SUWT, 1976). Rezultati so grafično prikazani na sliki 3 in v tabeli 2.

TABELA 2: Podatki o sledenju na Vodica in v Črnem Vrhu
V o d i c e (915 m), 28. 10. 1982, 15.30, uranin 20 kg, Q 20 l/s

Izviri	Pojav sledila	H (m)	Q m ³ /s	D km	T h	V m/h
Divje jezero	11. 11. 16 ^h	302	2,98	11,9	336	35
Podroteja	11. 11. 7 ^h	295	2,31	12,4	327	39
Idrijca pred Divjim jezerom	10. 11. 17 ^h	310	1,96	11,0	313	35
Hubelj	6. 11. 17 ^h	220	2,82	13,5	217	62
Vipava	6. 11. 17 ^h	98	5,23	10,0	217	46
Ljubljana	(11.—17. 11)	290		18,5	340	54

Č r n i V r h (680 m), 28. 10., 18.00, rodamin 10 kg, Q 15 l/s

Izviri	Pojav sledila	H (m)	Q m ³ /s	D km	T h	V m/h
Divje jezero	10. 11. 7 ^h	302	2,98	6,1	300	20
Podroteja	10. 11. 7 ^h	295	2,31	6,5	300	22
Idrijca pred Divjim jezerom	10. 11. 7 ^h	310	1,96	5,8	300	19
Hubelj	13. 11. 7 ^h	220	2,82	10,0	372	27

UGOTOVLJENE ZVEZE VODIŠKEGA POTOKA

Nedvoumno je dokazana zveza ponikalnice na Vodica in izviri Podroteje in Divjega jezera. Prvi so oddaljeni od ponora 12,4 km, drugi pa 11,9 km, višinska razlika znaša 620 m. Za to pot z navideznim strmcom od 45 do 50 ‰ je potrebovala obarvana voda 327—336 ur, to je polnih 14 dni. Navidezna hitrost podzemeljskega toka znaša potemtakem komaj 35—39 m/h. V Divjem jezeru se je pojavila barva že tri dni prej, to je 8. 11. ob 16.30, vendar je v vzorcih naslednjih dveh dni ni bilo zaznati. V tem času se je namreč izdatno povečal pretok. Domnevamo, da je dež najprej izpodrinil iz podzemlja neobarvano vodo in barva je šele sledila vrhu vodnega vala. Barvni val se je v Podroteji in Divjem jezeru pojavil istočasno, ne glede na majhno razliko v oddaljenosti obeh izvirov. Zanimivo pa je, da v Podroteji barve ni bilo zaslediti že ob prvem pojavu v Divjem jezeru.

Na razlike v hidromehanizmu ožjega zaledja obeh izvirov opozarjajo tudi razlike v koncentracijah, saj so zabeležene koncentracije v Podroteji znatno manjše od onih v Divjem jezeru. To se sklada s hitrejšim in bolj neposrednim odtokom kraških podzemeljskih voda iz skupnega zaledja skozi Divje jezero. V Podroteji so se očitno mešale obarvane vode z neobarvanimi iz drugega dela kraškega zaledja. Določena izoliranost vodnih poti v ožjem zaledju Podroteje in Divjega jezera se odraža bolj v časovnem razporedu kot v različni koncentraciji sekundarnih barvnih valov ob koncu novembra, ko so pretoki ponovno narastli. Podobne razlike so tudi v obarvanosti z rodaminom, ki predstavlja hidrološko zvezo obeh izvirov s ponikalnico v Črnem Vrhu.

Manj izrazita je podzemeljska vodna povezanost ponikalnice na Vodicah s Hubljem in Vipavo ter nezanesljiva z izviri Ljubljanice v Močilniku. V vseh treh izviri je sicer ugotovljena barva v zelo nizkih koncentracijah. V Hublju so se pojavili sledovi uranina že dva dni prej kot v Divjem jezeru (16. 11. ob 17. uri do 8. 11. ob 7. uri). Ko pa so pretoki narastli, se je barva pojavljala le v posameznih vzorcih in ne več sklenjeno. Zanimivo je, da se je na podoben način in prav v istem času pojavila sled barve tudi v izviri Vipave. Ta skladnost omogoča, da ugotovljene sledi v Hublju in Vipavi dejansko povezujemo z barvanjem ponikalnice na Vodicah.

Glede na podobno izdatnost vseh treh velikih kraških izvirov Vipave, Hublja in Podroteje z Divjim jezerom lahko po rezultatih sledenja od 28. 10. do 27. 11. 1982 ugotovimo, da odteka pretežni del podzemeljskih voda iz območja Vodic proti Idrijci, manjši del pa odteka hkrati tudi v izvire Vipave in Hublja. Prav tako smemo računati z delnim odtekanjem podzemeljskih voda iz območja Vodic tudi v izvire Ljubljanice, saj se je v Močilniku trikrat pojavil uranin v dnevni vzorcih in to 11. ter 16. in 17. 11., kar se sklada s potekom osrednjega vodnega in barvnega vala. Vodice že po svoji hidrogeološki legi pripadajo zaledju Podroteje in Divjega jezera, so pa očitno na pomembnem hidrografskem razvodju, ki je bilo s tem barvanjem prvič vsaj nakazano. Kljub temu ostajajo dvomi v izvor uranina v sosednjih kraških izviri.

K pomislekom nas navaja nesklenjeno pojavljanje uranina v izviri Podroteje in v Idrijci nad Divjim jezerom že v času pred prvim pojavom barvila v Divjem jezeru in pravim barvnim valom v Podroteji sami. Pri iskanju vzrokov in razlage za ta pojav smo ugotovili, da so bile pred letom dni barvane ponikalnice na Vojskem prav tako z uraninom in rodaminom in da se je barva dalj časa pojavljala v izviri ob Idrijci. V poročilu HMZ SRS o tedanjem barvanju (J. Čar, 1982) je omenjeno dolgotrajno iztekanje sledil v obe smeri proti Idrijci in Kanomljici. V raztegnjeni opazovalni dobi, od 5. 11. 1981 do 3. 2. 1982, je bil ugotovljen razmeroma majhen delež povrnjene snovi v izviri, le 5 % oziroma 13 %. Čeprav so kontrolne analize 22. in 23. 4. 1982 bile v vseh primerih negativne, pa prisotnosti barvila v zaledju Idrijce še ni mogoče povsem izključiti. Očitno enkratni slepi vzorci še niso dovolj zanesljivi, ker se tudi sicer ob višku barvnega vala pojavlja barvilo v izviri nesklenjeno. Takšna zakonitost občasnega iztekanja sledil je značilna zlasti za manjše ponikalnice z večjo višinsko razliko in značilno razpoklinsko mrežo prevodnikov v heterogenih in nezalatih kraških hidrografskih conah.

Upravičeno torej dvomimo, ali izvira uranin enako kot rodamin v Idrijci iz obarvanih ponikalnic na Vojskem, ali iz Vodic oziroma Črnega Vrha. Predčasnega pojava sledov uranina v Podroteji pa zaenkrat še ne znamo pojasniti. Morda so to sledovi starejšega sledilnega poskusa, ki ga je prav tako opravil HMZ na hotenjskih ponikalnicah, o čemer pa nimamo poročil.

UGOTOVLJENE ZVEZE ČRNOVRŠKEGA POTOKA

Podobne hidrološke zveze, kot z uraninom iz Vodic, so ugotovljene tudi z rodaminom iz Črnega Vrha. Začetek barvnega vala je v Divjem jezeru zabeležen 10. 11. ob 7. uri, višek pa še istega dne ob 16.30. Sklenjen in enakomeren barvni val je nato trajal do 14. 11., z manjšimi presledki pa še tja do 27. 11., nakar se je koncentracija rodamina v Divjem jezeru zelo znižala. Izviri Divjega jezera in Podroteje so od požiralnika Črnovrškega potoka oddaljeni 6,1 in 6,5 km, višinska razlika pa znaša 380 m in strmec 55 do 60 ‰. Za to pot je barva potrebovala 300 ur, kar da navidežno hitrost okrog 20 m/h. Ti podatki odražajo navidežno neskladnost, da se bližnje ponikalnice z večjim strmcem počasneje pretakajo od bolj oddaljenih. Takšne razmere pa si moremo pojasniti z vodnim valom, ki je sledil obdobju počasnega upadanja pretokov in zmanjšanja hitrosti podzemskih tokov. Vodni val je očitno pospešil odtok obarvane vode iz skupnega zaledja, zato se je rodamin pojavil le dan poprej kot uranin iz 12 km oddaljenih Vodic.

Nerazumljiva je izredno visoka koncentracija rodamina v Idrijci dne 10. 11. ob 17. uri, ki se sklada z viškom tega barvila v Divjem jezeru in Podroteji, slednjega celo znatno presega. Pojava ne moremo razložiti z ostankom sledila v Idrijci po barvanju ponikalnic na Vojskem, pa tudi ne z morebitno zamenjavo steklenic med vzorčevanjem ali analizo. Pojav ostaja nepojasnen, ker ni znan ustrezen izvir ob Idrijci nad Divjim jezerom; obstaja pa možnost, da se kraška voda neposredno preliva v površinsko Idrijco in zato tudi uranin v Idrijci nad Divjim jezerom lahko izvira iz Vodic in z Vojskega.

SKLEP

Po predhodnih geoloških, morfoloških in hidroloških preučitvah visokega krasa med Idrijco in Vipavo ter Ljubljano je bil dne 28. 10. 1982 izveden kombiniran sledilni poskus z barvanjem ponikalnice na Vodicah z 20 kg uranina in v Črnem Vrhu nad Idrijo z 10 kg rodamina. Po enomesečnem opazovanju 6 do 18 km oddaljenih izvirov Podroteje, Divjega jezera, Idrijce pred Divjim jezerom, Hublja, Vipave in Ljubljane v Močilniku pri Vrhniki so bile ugotovljene zanesljive zveze ponikalnice na Vodicah z Divjim jezerom in Podrotejo, šibkejšje zveze pa s Hubljem in Vipavo ter dvomljive z Idrijco in Ljubljano.

Zanesljivo je dokazana tudi zveza ponikalnice v Črnem Vrhu z Divjim jezerom in Podrotejo, manj izrazita s Hubljem in nezanesljiva z Idrijco. Poleg tega je uspešno izveden sledilni poskus nakazal nekatere posebnosti pretakanja

vode v zaledju omenjenih izvirov. Navidezne hitrosti iz bližnjih požiralnikov v dolomitu so manjše od tistih iz oddaljenejših ponikalnic na stiku fliša in apnenca. Hitrejši so tudi stranski dotoki z Vodic proti Hublju in Vipavi od glavnih proti Podroteji.

Sledovi barvila v površinski Idrijci nad Divjim jezerom opozarjajo na potrebne daljše sklenjene kontrole sledil pred poskusom. Nezanosljivi sporadični pojavi sledil so lahko posledica sunkovitega pretakanja in neenakomernega mešanja ob deževnih valovih, ali pa so drugotnega izvora zaradi onesnaževanja oziroma prejšnjega sledenja. Za razjasnitev teh vprašanj bodo potrebne še sistematične raziskave v vseh obravnavanih izviri. Z nadaljnjim študijem in poskusi naj bi izpopolnili sedanje izsledke in jih uporabili pri praktični zaščiti vodnih virov.

VIRI IN LITERATURA

- Buser, S., 1965: Geološke razmere v Trnovskem gozdu. Geografski vestnik, 37, 123—135, Ljubljana.
- Čar, J., 1982: Raziskave vodnih virov Vojskarske planote. Fazno poročilo za 1981—82. RPC Idrija, Atelje za projektiranje. Rokopis, Idrija.
- Gospodarič, R., Habič, P., 1976: Underground Water Tracing. Investigations in Slovenia 1972—1975. Institute for Karst Research, Ljubljana.
- Habe, F., Hribar, F., Štefančič, P., 1955: Habečkov brezen. Acta carsologica, SAZU I, 1955, 25—39.
- Habič, P., 1966: Hidrografski problemi visokega krasa med Idrijco in Vipavo. Geografski obzornik, XIII, 3—4, 104—108.
- Habič, P., 1968: Kraški svet med Idrijco in Vipavo. SAZU, Inštitut za geografijo, 11, 1—243, Ljubljana.
- Habič, P., 1970: Hidrogeološke značilnosti visokega krasa v odvisnosti od geomorfološkega razvoja. Prvi kolokvij o geologiji Dinaridov, 2, 125—133, Ljubljana.
- Habič, P., 1972: Hidrografske značilnosti Divjega jezera in njegovega kraškega zaledja. Kulturni in naravni spomeniki Slovenije, zvez. 30, 7—14.
- Habič, P., 1980: Kraško zaledje in možnosti zaščite vodnih virov na Goriškem. Arhiv IZRK, rokopis, Postojna.
- Hötzl, H., V. Maurin, J. G. Zötl, 1976: Results of the Injection of Lycopodium Spores. Underground Water Tracing, Investigations in Slovenia 1972—1975. Institute Karst Research, 167—181, Ljubljana.
- Krivic, P., A. Praprotnik, 1975: Nove raziskave sifonov v porečju Ljubljane. Naše jame, 17 (1974), 123—135, Ljubljana.
- Mrakar, J., 1969: Krovna zgradba Idrijsko-žirovskega ozemlja. Geologija, 12, 5—72, Ljubljana.
- Mencej, Z., 1972: Padavinsko zaledje kraških izvirov pri Podroteji in Divjega jezera. Geološki zavod Ljubljana. Rokopis, arhiv K-II-30 d/c-1/138.
- Placer, L., 1973: Rekonstrukcija krovne zgradbe idrijsko žirovskega ozemlja. Geologija, 16, 317—334, Ljubljana.
- Placer, L., Čar, J., 1974: Problem podzemeljske razvodnice Trnovskega gozda, Križne gore in Črnovrške planote. Acta carsologica, VI, 79—93, Ljubljana.
- Savnik, R., Gantar, J., 1959: Kraško podzemlje na Idrijskem. Acta carsologica, SAZU, II, 107—155.

WATER TRACING TEST ON THE KARST WATERSHED AMONG IDRIJCA, VIPAVA AND LJUBLJANICA

Summary

In NW part of Dinaric karst (Slovenia, Yugoslavia) different structure units are jointed between the valleys of Idrijca and Vipava and Notranjsko podolje and Postojna basin. The high karst Plateaus Nanos, Hrušica and Trnovski gozd belong to them. From about 300 km² of the surface abundant precipitations, from 1500 to 3000 mm per year, are draining off undergroundly to karst springs of Idrijca and Vipava, belonging to Adriatic water basin and to Ljubljana, belonging to Black Sea water basin. On the watershed area there are few smaller sinking streams only, flowing off Triassic dolomite and Eocene flysh into Jurassic and Cretaceous limestones. As the waters in karstified limestones discharge irrespective of overthrust structure units, there was not possible to prove neither by geological (L. Placer, J. Čar, 1974) nor by geomorphological-hydrographical method (P. Habič, 1966—1980) the background of particular springs. By water tracing on Vodice (20 kg of Uranine) and near Črni Vrh above Idrija (10 kg of Rhodamine) in October 1982 the discharge of the underground waters into 10—13 km distant springs of Podroteja and Divje jezero near Idrijca and to Vipava and Hubelj springs has been proved. There is the possibility of flowing off from Vodice towards Ljubljana (18,5 km) too, while the wider area of karst bifurcation on Adriatic-Black Sea watershed, which was proved for the first time between Idrijca and Ljubljana (Hötzl, V. Maurin, J. Zötl, 1976) by water tracing on Vodice which has shown the connections between Ljubljana and Vipava too, has to be established by additional water tracings. The sporadic appearance of used tracers in Idrijca and other observed spring has to be checked, as this could be either the result of peculiar karst discharge in high karst or showing secondary origin of the tracers (pollution, previous tracing etc.). Because of injection of dyes into springs where karst and superficial waters are mixed, they could not be measured quantitatively and it was impossible to find out the share of returned tracers. The differences in the velocity of discharge are interesting, as the waters from the neighbour background flows one to two times slower (20 m/h) than this from more distant ones (40—60 m/h). The reasons can be in geological setting, dolomite nappe, or in hydrology, the rainfall pulse. The stated connections and velocities are important for protection of rich water sources background.

NARAVNO ČIŠČENJE SANITARNIH ODPLAK
PRI VERTIKALNEM PRENIKANJU V PIVKI JAMI

NATURAL PURIFICATION OF SANITARY SEWAGE DURING
THE VERTICAL PERCOLATION IN PIVKA JAMA

JANJA KOGOVŠEK

Izvleček

UDK 556.32:614.777(497.12:24 Pivka jama)

Janja Kogovšek: Naravno čiščenje sanitarnih odpadkov pri vertikalnem prenikanju v Pivki jami

Prispevek podaja rezultate meritev odpadne komunalne vode pri prenikanju skozi 40 m debel zakrasel strop Pivke jame. Ob dani količini in kvaliteti odpadkov prihaja ob nizkih pretokih na poti prenikanja do učinkovitega samočiščenja; slabši učinek pa nastopa ob večjih pretokih, ko voda spira tudi organski suspenz iz usedline z dna greznice, ki ima sicer vlogo nekakšnega filtra.

Abstract

UDC 556.32:614.777(497.12:24 Pivka jama)

Janja Kogovšek: Natural purification of sanitary sewage during the vertical percolation in Pivka jama

The results of waste communal water measurements during the percolation through 40 m thick karstified roof of Pivka jama are dealt with. At known quantity and quality of sewage at low discharges the autopurification is efficacious on the way of percolation; at bigger discharges the effect is worse as the water washes the organic suspension from the cess-pit bottom which otherwise acts as a filter.

Naslov — Address

mag. Janja KOGOVŠEK, dipl. ing. kem., višja razisk. sodelavka
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

UVOD

Voda z ne preveliko količino razgradljivih odplak, se na dovolj dolgem poteku v odsotnosti zaviralnih učinkov, že lahko sama očisti do določene mere. Leta 1974 je skupina hidrologov pod vodstvom N. Preke in N. Preka-Lipoldove (1976) preučevala procese samočiščenja podzemeljske Pivke. Ugotovili so, da se samočiščenje v kraških podzemeljskih vodnih tokovih nemoteno odvija in da je odvisno predvsem od časa zadrževanja vodne mase v podzemlju. Čeprav je tu izključen ugoden vpliv fotosinteze, poteka razgradnja nekoliko hitreje kot pa v statičnih pogojih spremljanja razgradnje v stekleničkah BPK. Tako se Pivka v Planinski jami pojavlja že kot čista oligosaprobnna reka. Leta 1976 sta raziskovala procese v onesnaženem podzemeljskem toku Pivke tudi B. Sket in F. Velkovich (1981). Med drugim sta ugotovila, da se večina parametrov, ki kažejo na onesnaženost, do Pivke jame že močno zmanjša, medtem ko je odstotek organskih snovi v finejši frakciji sedimenta vzdolž vsega podzemeljskega toka približno enak. Pivka pa ima v podzemlju očitno še nekaj neznanih odtokov in pritokov, ki tudi vplivajo na njeno kvaliteto.

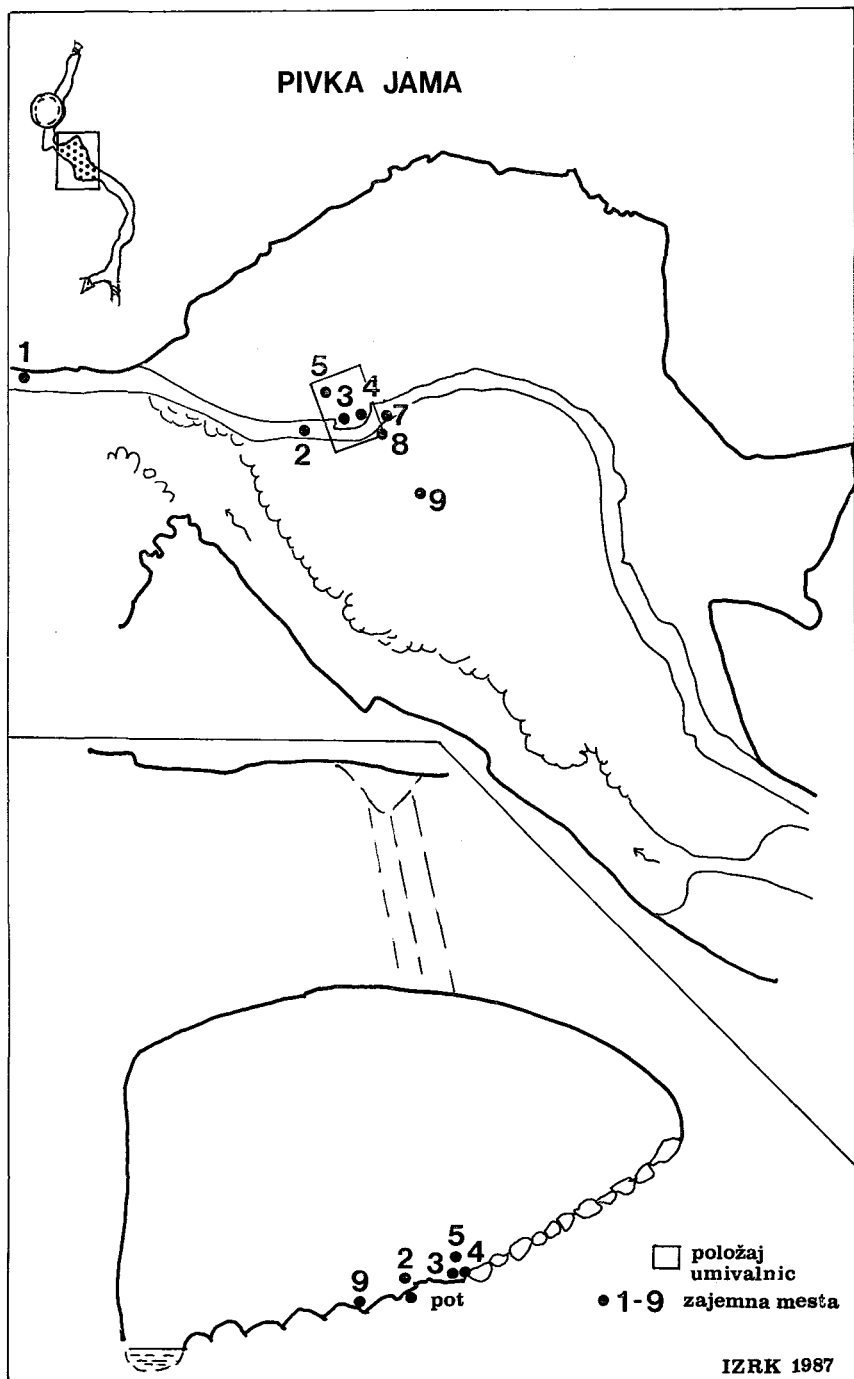
Naša naloga pa je bila ugotoviti, do kakšne mere se očisti odpadna komunalna voda pri vertikalnem prenikanju v krasu. Zato smo spremljali naravno čiščenje pri vertikalnem prenikanju odplak iz sanitarij in umivalnic kampa Pivke jame skozi 40 m debel jamski strop.

V turističnem kampu pri Pivki jami so do nedavna imeli sanitarije z umivalnicami v vrtači tik nad jamo. Odplake so se najprej zbirale v dvoprekatni greznici pod umivalnicami, od tam pa odtekale direktno v skalo. Ob novejši razširitvi kampa so speljali odplake iz te greznice v čistilno napravo s prezračevalnikom, ki leži v približno 100 m oddaljeni vrtači. Tja se stekajo tudi odplake iz novih sanitarij. Iz slike 1 je razviden položaj starih sanitarij na površju in opazovanih curkov v jami, ki kaže, da gre za sorazmerno direkten odtok vode v navpični smeri, tako da znaša dejanska pot prenikajoče vode nekaj več kot 40 m.

METODE DELA IN ANALIZE

Vzorke vode smo v začetku zajemali na raznih krajih v Pivki jami, kasneje pa smo se omejili na curke in kapljanja na ožjem območju pod sanitarijami, kjer prenika skozi strop onesnažena voda. Hkrati smo vzorčevali tudi odplake v greznici.

Pretok smo merili s štoparico in menzuro, temperaturo, specifično električno prevodnost in pH pa z WTW merilci na samem mestu vzorčevanja. Karbonatno trdoto, kemijsko potrebo po kisiku (KPK), biokemijsko potrebo po kisiku (BPK₅) ter vsebnost kloridov, nitratov in o-fosfatov smo določali v labo-



Sl. 1. Položaj umivalnic in sanitarij ter zajemnih mest v jami.
 Fig. 1. The situation of washrooms and sanitations and sampling points in the cave.

ratoriju še isti in naslednji dan. Vse te metode smo izvedli po standardnih metodah, ki so opisane v Standard Methods for the Examination of Wastewater (1975) in v Deutsche Einheitsverfahren für Wasser und Abwasser Analyse (1986).

Debelino jamskega stropa smo izračunali ob poznavanju nadmorskih višin površja in dna jame ter z meritvami višine stropa z meteorološkimi baloni (I. K e n d a, A. M i h e v c, J. K o g o v š e k). Ta znaša na točkah opazovanih curkov v direktni razdalji 37 do 41 m.

SPREMEMBE ODPADNE VODE PRI VERTIKALNEM PRENIKANJU

Prva opazovanja v letih 1982 in 1983

V namočenem obdobju 1981/1982 smo vzdolž naravnega dela in umetnega rova Pivke jame zabeležili številna kapljanja ter nekaj izdatnejših curkov. V sušnem obdobju so pretoki močno upadli, nekateri curki pa so celo presahnili. Na ponovne padavine so reagirali različno hitro. Iz slike 2 so razvidna nihanja pretoka, karbonatne trdote in spec. el. prevodnosti preko leta na štirih izbranih značilnih mestih. Opazni so nizki pretoki čez poletje in višji ob jesenskem in spomladanskem deževju. Izstopalo je le kapljanje na točki 3, kjer smo zabeležili poleti višje pretoke, kar je bil prvi pokazatelj, da gre za nek poseben vir te vode.

Karbonatna trdota že omenjenih štirih kapljanj je dosegala preko leta vrednosti od 100 do 250 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$, kar je posledica različnega načina prenikanja, pa tudi različno intenzivnega izločanja sige že na samem stropu. Opazno je tudi manj ali bolj izrazito sezonsko nihanje karbonatne trdote. Magnezijeva trdota je nizka (do 10 mg $\text{CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$), kalcijeva pa približno enaka karbonatni trdoti, podobno kot v Postojnski jami (J. K o g o v š e k, 1987). Specifična el. prevodnost teh curkov se je gibala pod $500 \mu\text{S cm}^{-1}$, razen curka 3, ki je od julija do novembra imel višje vrednosti (do $600 \mu\text{S cm}^{-1}$), ob sicer nespremenjeni karbonatni trdoti, iz česar sklepamo, da na tem mestu prenika skozi strop onesnažena voda.

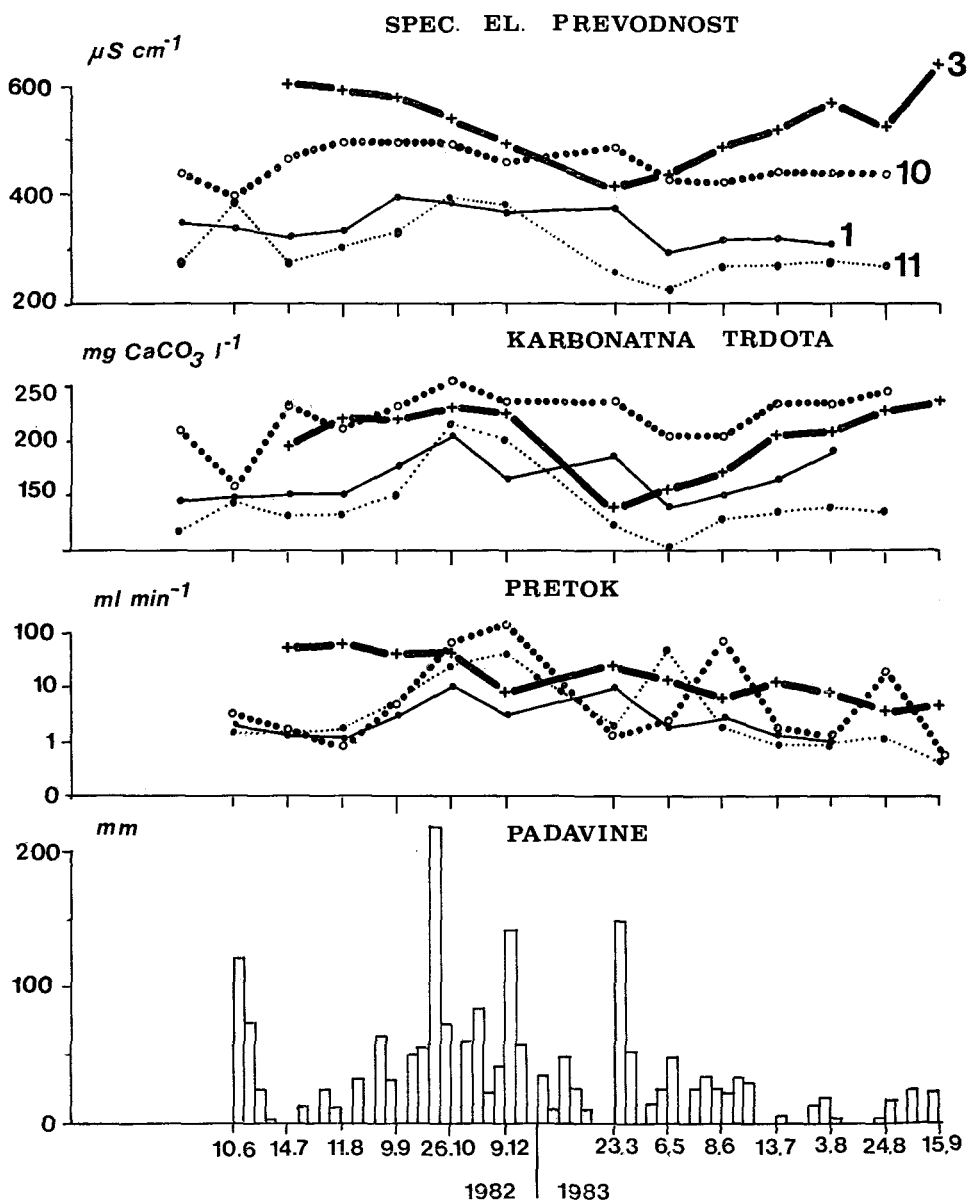
Pri nadaljnjih opazovanjih smo povečali število vzorčnih mest na območju curka 3, vzorcem pa smo določevali še BPK_5 in vsebnost nitratov, kasneje pa še vsebnost kloridov in o-fosfatov ter KPK. BPK_5 je dosegala izven turistične sezone vrednosti pod $2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, kar pa se kasneje ni več ponovilo. Sočasno smo zabeležili koncentracijo nitratov do 30 mg l^{-1} ter povišane koncentracije o-fosfatov in kloridov.

NARAVNI VODNI VAL

S spremljanjem naravnega vodnega vala, predvsem na vzorčnem mestu 3, smo želeli spoznati prevodnost tega vodnika, kot tudi način reagiranja na padavine.

V začetku septembra 1982 je padlo nad Pivko jamo 31 mm dežja, ki je povzročil reakcijo pretokov in kapljanj vzdolž cele jame. Dne 23. 9. 1982 smo na vzorčnem mestu številka 3 spremljali vodni val, ki ga je sprožilo 37 mm

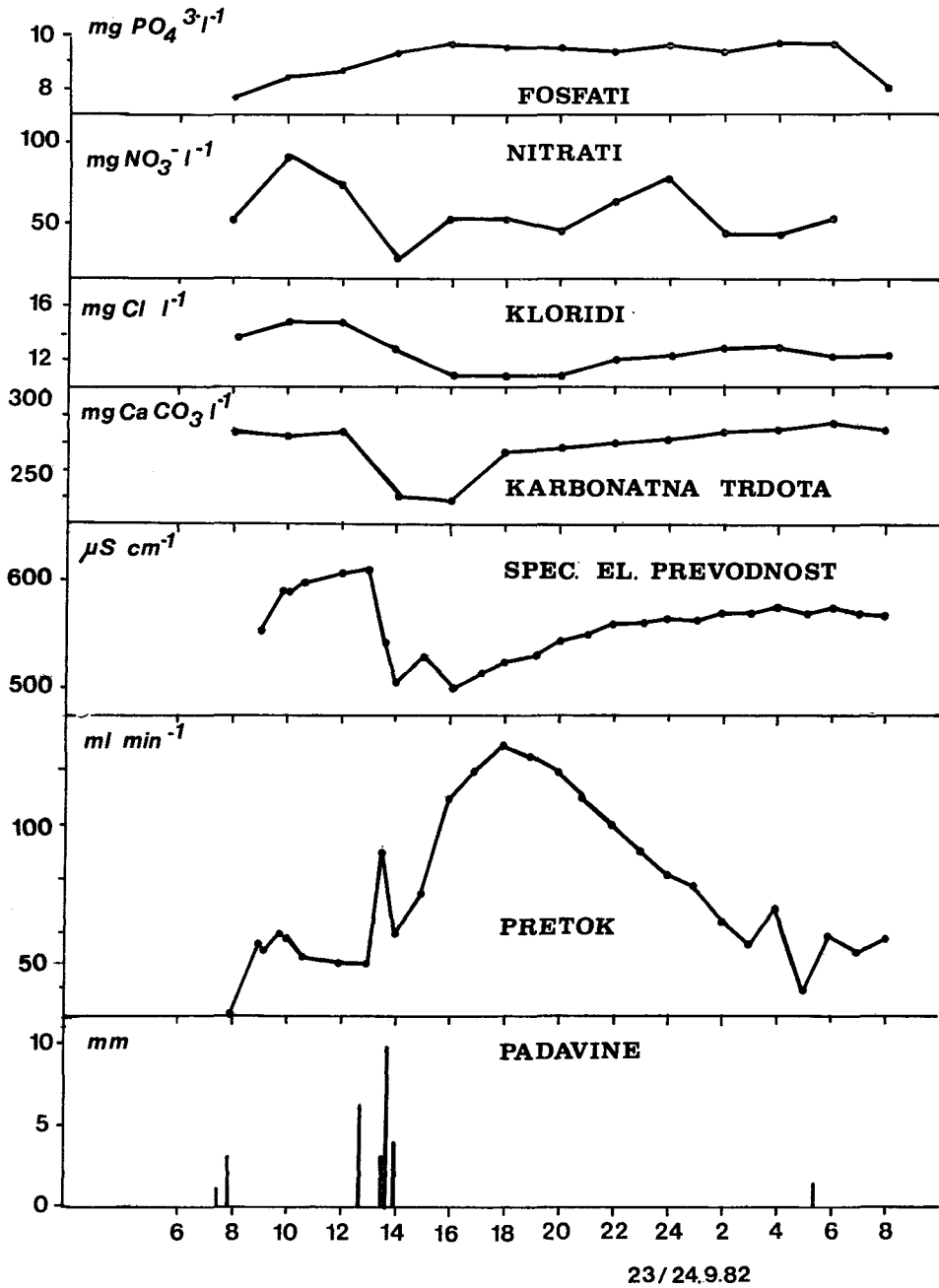
PIVKA JAMA



Sl. 2. Rezultati meritev na izbranih značilnih mestih vzdolž cele jame v letih 1982 in 1983.

Fig. 2. The measurement results on the characteristic points along the whole cave in the years 1982 and 1983.

PIVKA JAMA - naravni vodni val



Sl. 3. Naravni vodni val na vzorčnem mestu št. 3 jeseni 1982.
 Fig. 3. Natural water pulse on the sampling point no. 3 in the autumn 1982.

dežja. Prvih 6 mm padavin, ki so padle od 7. do 8. ure, se odraža tudi v začetnem porastu pretoka v vodnem valu, ki je padavinam sledil s približno 1-urno zakasnitvijo, kot je razvidno iz slike 3. Nadaljnjih 23 mm intenzivnih padavin pa je izoblikovalo obsežnejši vodni val, ki je svoj vrh s 130 ml min^{-1} dosegel šele 4 ure za padavinami, čeprav je reakcija v tako namočenih razmerah sledila takoj. Bližnja drobna kapljanja so takoj reagirala, prepustnejši kanal 7 pa šele takrat, ko so ostali curki dosegli maksimalne pretoke, nakar je sledilo njegovo hitrejše upadanje do presahnitve. Očitno gre za različno prepustnost odvodnih kanalov vrtače.

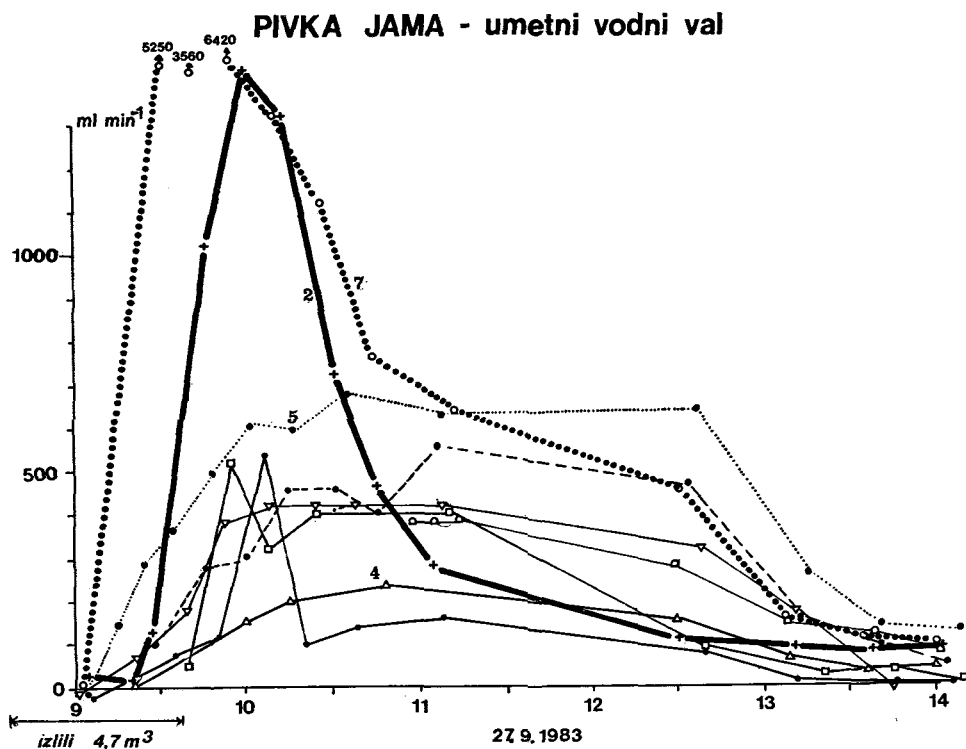
Vzporedno z merjenji pretoka smo na vzorčnem mestu številka 3 zajemali tudi vzorce za kemično analizo. Specifična električna prevodnost in karbonatna trdota sta ob sočasnem naraščanju pretoka upadali in obratno, kot smo že ugotavljali za curke v Planinski jami (J. K o g o v š e k, P. H a b i č, 1981). Ob prvem sorazmerno majhnem povečanju pretoka smo pri spec. el. prevodnosti, kloridih in nitratih, nekoliko pa tudi pri o-fosfatih, zabeležili najprej porast njihovih koncentracij, kar pripisujemo začetnemu spiranju jamskega stropa, oz. pretoku bolj koncentrirane odplake. Kasnejše upadanje koncentracij pa razlagamo kot posledico močnega razredčenja odplake v greznici z meteorno vodo. Pri kloridih je v vrhu vodnega vala prišlo do opazne razredčitve, ki pa je nismo zabeležili tudi pri nitratih in o-fosfatih, kar govori za manj uspešno spiranje v vodnem valu. BPK_5 , ki je dosegala vrednosti do $1,5 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, se je v vrhu vodnega vala še znižala. Pri tem je voda v greznici v času naliva vsebovala $28 \text{ mg Cl}^{-1} \text{ l}^{-1}$, $28 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$, $\text{BPK}_5 = 15,3 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, nižjo koncentracijo nitratov v primerjavi s preniklo vodo, zato pa večjo vsebnost NH_4^{+} .

SLEDILNI POSKUS

Z opisanimi opazovanji in meritvami smo opredelili območje, kjer prenika v jamo umazana voda, spoznali pa smo tudi različno prepustnost prevodnikov. S sledilnima poskusoma iz starih in novih sanitarij pa smo želeli ugotoviti, od kod se steka odpadna voda, ki se pojavlja v jami: ali iz greznice starih sanitarij ali iz iztoka iz nove čistilne naprave ali morda od obeh. Za sledilo smo izbrali dodatno vodo, poskusa pa smo izvedli v obdobju nizkih, ustaljenih, minimalnih pretokov. Deset dni pred poskusom ni bilo padavin.

Pri prvem sledilnem poskusu, dne 27. 9. 1983, smo iz starih sanitarij v 1 uri izlili $4,7 \text{ m}^3$ vode. Izlita voda je v jami na predvidenem območju že po približno 30 min sprožila naraščanje pretoka opazovanih curkov. Najmočneje in najhitreje sta reagirala curka 7 in 2, ki sta že po 15 min po končanem izlitju dosegla maksimalni pretok. Tudi curek 5 ter nekaj bližnjih curkov, ki so bili pred poskusom, pa tudi sicer, pretežno suhi, so oblikovali daljše vodne valove, kar nakazuje njihovo omejeno prepustnost. Umetno povzročni pretoki so prikazani na sliki 4.

Celotna količina vode, ki je med poskusom pritekla v jamo, je znašala približno 1 m^3 , kar pomeni približno 20 % vse vlite vode. Seveda moramo upoštevati, da se pretoki po 5 urah opazovanja, ko smo zaključili z meritvami, še niso vrnili na izhodno vrednost in je iztekanje trajalo še dan ali več. Vendar



Sl. 4. Oblikovanje umetnih vodnih valov pri curkih v jami v prvem sledilnem poskusu septembra 1983.

Fig. 4. Formation of artificial water pulses at the trickles in the cave during the first tracing experiment in September 1983.

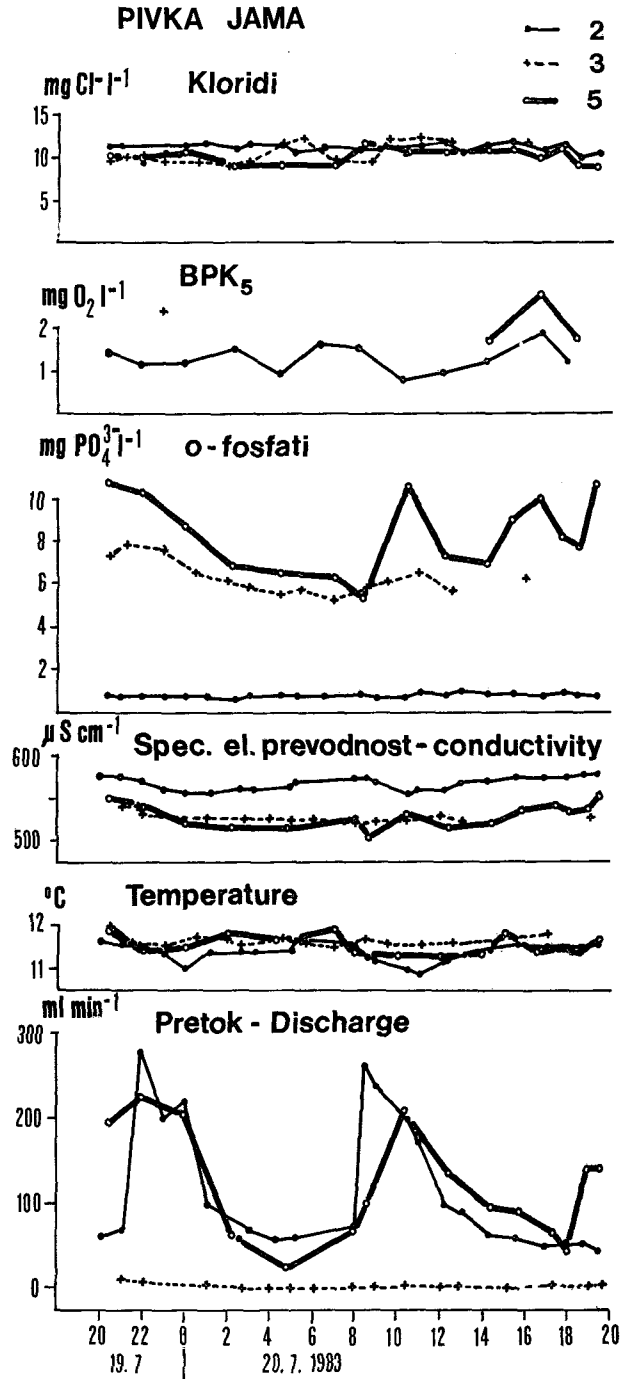
pa bi tudi z upoštevanjem teh količin priteklo v jamo le okrog 50 % vlite vode. Zelo verjetno je zaradi hitrega dotoka v greznico in počasnega prenikanja v jamo prišlo do močnejšega odtekanja v čistilno napravo. Tak odtok pa je pri običajni uporabi sanitarij verjetno redek.

Pri drugem sledilnem poskusu smo iz novih umivalnic v 1 uri izlili 9 m^3 vode. Tedaj v jami nismo opazili povečanega pretoka prenikajoče vode. Zato sklepamo, da se odpadna voda na opazovano območje v Pivko jamo steka le iz starih sanitarij.

Celodnevno opazovanje prenikanja odpadne vode

S 24-urnim opazovanjem curkov v Pivki jami smo skušali ugotoviti, kako se odraža poraba vode v starih umivalnicah in sanitarijih na treh curkih v jami.

V sušnem juliju 1983, ko je v prvih treh tednih padlo le 7,8 mm dežja, tako da je bila izključena reakcija curkov na padavine, smo v 24 urah vsako uro



Sl. 5. Rezultati celodnevnega opazovanja značilnih curkov v jami poleti 1983.
 Fig. 5. The results of one day observations of characteristic trickles in the cave in summer 1983.

merili pretok, temperaturo in spec. el. prevodnost ter vzorčevali vodo na treh mestih v jami, kjer smo že s predhodnimi opazovanji ugotovili onesnaženo preniklo vodo. V turističnem kampu je bilo v tem času 350 gostov, vendar ocenjujemo, da jih je stare umivalnice uporabljalo približno 1/3.

Meritve pretokov so pokazale, da se je kapljanje na opazovani točki 3 le neznatno spreminjalo: opazno pa sta nihala curka 2 in 5, ki sta dosegla maksimalni pretok pri 280 oz. 230 ml/min⁻¹. Če primerjamo s prvim sledilnim poskusom, ko sta prevodnika 2 in 5 delovala verjetno s polno zmogljivostjo, dosegala pretok do 1400 oz. 650 ml/min⁻¹ in se je voda hkrati odtekala tudi po najbolj prepustnem vodniku, laže razumemo bistveno drugačne pogoje pretakanja v tem primeru. Maksimalni pretok sta curka dosegla med 21. in 24. uro ter med 8. in 11. uro, kar se sklada s sorazmerno majhnim zaostankom za maksimalno porabo vode v umivalnicah in sanitarijah v jutranjih in večernih urah.

Podobno kot pretok se je tudi temperatura curka 3 le minimalno spreminjala; pri curkih 2 in 5 pa je ob maksimalnih pretokih upadla temperatura za 0,6° C. Meritve spec. el. prevodnosti in vsebnosti kloridov niso pokazale opaznejših nihanj. Spremljanje o-fosfatov in BPK₅ je podalo manjše onečiščenje sicer izdatnejšega curka 2, medtem ko sta curka 3 in 5 dosegala znatno višje vrednosti (slika 5).

Redna vzorčevanja prenikle odpadne vode

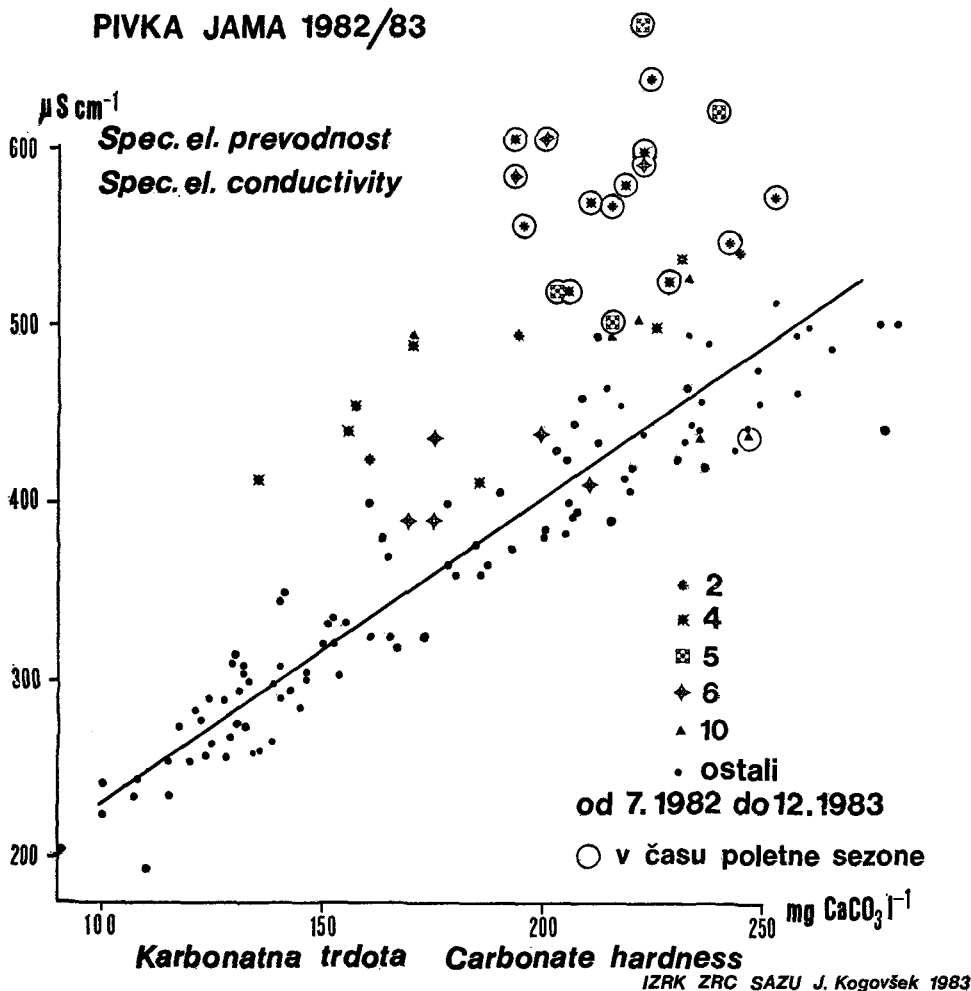
Doslej smo ugotovili vir onesnažene odpadne vode na površju in območje pritoka onesnažene vode v jami. Zanimiva pa je tudi primerjava karbonatne trdote s spec. el. prevodnostjo prenikle vode na območju onesnaženja in na drugih vzorčnih mestih v jami. Pokazala je odklone pri onesnaženi prenikli vodi v poletni sezoni, kar je razvidno iz slike 6. Curki čiste prenikle vode izkazujejo bolj ali manj linearno odvisnost med karbonatno trdoto in spec. el. prevodnostjo, medtem ko dosegajo onesnaženi curki višjo spec. el. prevodnost pri določeni karbonatni trdoti. V našem primeru je meritev spec. el. prevodnosti služila kot hiter pokazatelj onesnaženosti.

Nadaljnja opazovanja v letih 1983 in 1984 so obsegala mesečno spremljanje kvalitete curkov in kapljanj v jami. Hkrati smo v turistični sezoni 1984 vzorčevali tudi vodo v greznici. Začetne meritve pretoka, temperature, spec. el. prevodnosti, o-fosfatov, kloridov in BPK smo dopolnili še z določitvami nitratov in KPK. Slika 7 prikazuje našete meritve na štirih značilnih mestih.

Curek na točki 1, ki je izven našega opazovanega območja onesnažene vode, nam je služil za primerjavo, tako glede pretoka kot indikatorjev onesnaženja. Na samem opazovanem območju pa je bilo običajno aktivnih 5 do 6 curkov, ki so dosegali od julija do vključno septembra maksimalne vrednosti pretoka. Da gre pretežno za odpadno preniklo vodo je razvidno iz padavinskega diagrama, saj v tem obdobju pade le malo padavin, ki curkom v jami v glavnem ne povečajo pretokov in izcejajoča voda iz jamskega stropa tako le neznatno razredčuje odpadno preniklo vodo.

Pri opazovanih curkih je spec. el. prevodnost dosegala od junija do oktobra povišane vrednosti; najmanjše povišanje smo zabeležili pri curku 2. Očitno je to odraz manj onesnažene vode tega curka, kar potrjujejo tudi meritve o-fos-

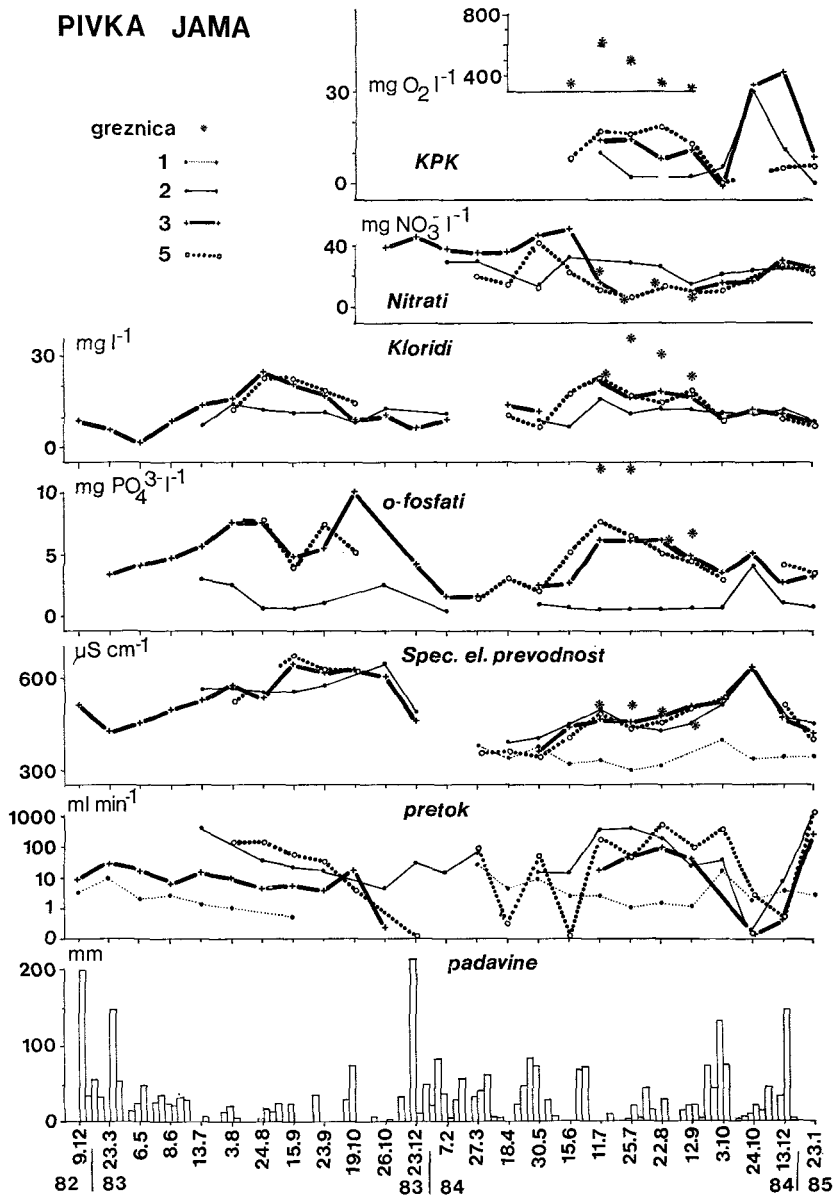
PIVKA JAMA 1982/83



Sl. 6. Specifična električna prevodnost čiste in onesažene prenikle vode v odvisnosti od karbonatne trdote.

Fig. 6. Specific electric conductivity of pure and polluted percolated water dependant on carbonate hardness.

fatov, kloridov ter KPK in BPK₅. To nakazuje učinkovitejšo filtracijo, oz. učinek čiščenja v jamskem stropu. V splošnem so opazne višje vrednosti spec. el. prevodnosti v sezoni 1983 v primerjavi s sezono 1984, kar pa zaenkrat še ne moremo pojasniti, ker v letu 1983 nismo vzorčevali vode v greznici; karbonatne trdote, ki bi bila tudi lahko vzrok, pa nismo redno merili, tako da ni možna ustrezna primerjava. Spec. el. prevodnost pa je bila običajno le malo višja kot pri curkih v jami.



Sl. 7. Rezultati meritev značilnih curkov v jami v letih 1983 in 1984.

Fig. 7. The measurement results of the characteristic trickles in the cave in the years 1983 and 1984.

Izhodna koncentracija o-fosfatov odpadne vode v greznici je dosegala poleti 1984 do $12,2 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$. Pri curkih v jami smo v istem času zabeležili najvišje vrednosti (do $7,7 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$) pri curkih 3 in 5, opazno nižje pa pri curku 2. V času izven sezone, ko ni več sveže odpadne vode in prihaja ob jesenskem in spomladanskem dežju do intenzivnega spiranja, koncentracija o-fosfatov ni padla pod $1,5 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ l}^{-1}$. Pri tem ima pomembno vlogo usedlina v greznici, saj padavinska voda, ki priteka v greznico, prenika skozi in se pri tem obogati z razpoložljivimi komponentami.

V obdobju 11. 7. do 12. 9. 1984 smo v prenikli vodi v jami zabeležili do 50% zmanjšanje koncentracije o-fosfatov. Občasne vzporedne meritve celokupnih fosfatov so pokazale na minimalne razlike med o-fosfati in celokupnimi fosfati. Zato smo se tudi odločili za enostavnejše določevanje o-fosfatov.

Odpadna voda v greznici je dosegala do $35 \text{ mg Cl}^{-} \text{ l}^{-1}$, prenikla voda v jami pa od 15 do $22 \text{ mg Cl}^{-} \text{ l}^{-1}$, pri čemer je zopet odstopal curek 2, ki je dosegal nižje vrednosti. V času izven sezone pa je koncentracija kloridov padla pod $10 \text{ mg Cl}^{-} \text{ l}^{-1}$. Če primerjamo koncentracijo kloridov v greznici in prenikli vodi, prihaja pri curkih 3 in 5 do 60% odstranitve kloridov, na točki 2 pa kar do 71%.

Nitrati kažejo na drugačno situacijo kot smo jo zabeležili pri o-fosfatih in kloridih. V času turistične sezone so bile koncentracije nitratov v greznici in v prenikli vodi na točkah 3 in 5 približno enake, medtem ko smo na točki 2 zabeležili višje vrednosti. V splošnem višje koncentracije nitratov pa smo zabeležili izven sezone, ko so prevladovali nižji pretoki. Verjetno večji pretoki ob večji hitrosti prenikanja pomenijo slabšo oksidacijo v jamskem stropu. Sicer pa se nakazuje širše območje onesnaženosti z nitrati, kar je, kot izgleda, posledica akumulacije, oz. daljšega zadrževanja nitratov v karbonatnem masivu jamskega stropa. V grobem ocenjena količina nitratov, ki se spira iz jamskega stropa, precej presega količino, ki se injicira iz greznice. Vendar pa so v nitratih v prenikli vodi v jami zajeti tudi nitrati, ki nastajajo z oksidacijo amonijaka, ki ga odpadna voda v greznici vsebuje precej. Zato sklepamo, da obstaja v predrtem karbonatnem jamskem stropu učinkovito prezračevanje.

Tudi visoke vrednosti KPK odpadne vode v greznici ($320\text{--}620 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) in hkrati nizke vrednosti v dekantirani prenikli vodi (pod $20 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) govore za intenzivne oksidacijske procese v času prenikanja, ki znaša po oceni do nekaj ur. Pri tem smo poleti 1984 zabeležili pri curkih 3 in 5 od 95 do 98% čiščenje (glede na KPK), pri curku 2 pa skoro 100%. Curek 2 je dosegal podobno kot pri o-fosfatih in kloridih tudi pri KPK nižje vrednosti.

Tudi analize BPK₅ so pokazale učinkovito čiščenje, saj je BPK₅ od 100 do $260 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, kolikor je znašala pri odpadni vodi iz greznice, upadla na poti do jame na vrednost pod $2,8 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, kar pomeni 98—100% čiščenje. Slabše čiščenje pa nastopa ob večjih pretokih, ko prihaja do spiranja organskega suspenza in se odpadna voda zadržuje v jamskem stropu krajši čas. Zato moramo pri naših določitvah KPK in BPK₅ v takih primerih zaradi nereprezentativnih vzorcev računati na napako, ki ima za posledico nekoliko slabši učinek čiščenja, kot pa izhaja iz naših meritev.

V skupino k curkom 3 in 5 bi po stopnji onesnaženosti prenikle vode uvrstili še curke 4, 7, 8 ter curek 9, ki sicer odraža nekoliko močnejšo filtracijo. Rezultati meritev so razvidni iz tabele 1.

Tabela 1:

Datum	Pretok (ml min ⁻¹)	Tempe- ratura (°C)	µScm ⁻¹	KPK (mg O ₂ l ⁻¹)	BPK ₅	NO ₃ ⁻ (mg l ⁻¹)	Cl ⁻	O-PO ₄ ³⁻
Zajemno mesto 1								
18/ 4 1984	4	6,6	347	—	—	7	8	0,03
30/ 5 1984	9	9,8	378	—	—	9,6	6	0,01
15/ 6 1984	2,5	11,2	316	—	—	3,1	4	0,02
11/ 7 1984	2,8	11,8	328	—	—	8,0	6	0,01
25/ 7 1984	1	11,7	295	—	—	9,0	6	0,01
22/ 8 1984	1,5	11,1	309	—	—	3,6	8	—
3/10 1984	18	—	392	—	—	4,9	5	0,22
24/10 1984	1,6	10,4	331	—	—	0,2	5	0,03
13/12 1984	3,5	3,0	343	—	—	9,9	6	0,02
23/ 1 1985	3	2,8	335	—	—	—	—	—
Zajemno mesto 2								
30/ 5 1984	14	9,4	397	—	—	12,8	8	0,8
15/ 6 1984	13	10,6	441	—	1,0	34	6	0,7
11/ 7 1984	320	11,2	477	9,7	1,0	—	15	0,76
25/ 7 1984	360	11,4	431	2,4	0,2	29	10	0,68
22/ 8 1984	160	11,1	419	—	0,5	27	11	0,78
12/ 9 1984	20	11,0	444	2,3	—	14,6	11	0,68
3/10 1984	30	11,3	502	—	—	21	10	0,64
24/10 1984	11	10,6	628	30	0,8	23	11	4,05
13/12 1984	6	3,8	459	10,6	0,9	26,4	11	0,85
23/ 1 1985	850	5,3	442	5,2	1,2	24,9	7	0,5
Zajemno mesto 3								
11/ 7 1984	12	11,5	458	13,4	1,0	15	21	5,8
25/ 7 1984	42	11,5	445	15,4	—	4	16	6,0
22/ 8 1984	80	11,0	481	8	1,1	13	17	5,9
12/ 9 1984	32	11,0	505	11	0,8	10,7	13	4,4
24/10 1984	0,1	10,7	632	31,7	6,2	16	11	4,8
13/12 1984	0,7	3,8	459	—	—	29,2	10	2,6
23/ 1 1985	210	5,6	408	8,2	1,5	24,4	7	3,2
Zajemno mesto 4								
27/ 3 1984	70	6,3	356	7	1,4	36	1	1,38
18/ 4 1984	0,5	6,9	374	10	—	35	8	3,5
30/ 5 1984	50	9,4	351	—	—	46	5	3,0
15/ 6 1984	3	10,5	423	8,7	2,4	55	11	3,15
11/ 7 1984	20	11,6	454	10,4	0,2	25	20	5,6
25/ 7 1984	40	11,3	441	10,5	0,7	4	16	6,1
22/ 8 1984	60	10,8	479	—	0,8	15	17	5,7
12/ 9 1984	18	10,9	506	11	—	10	14	4,6

Datum	Pretok (ml min ⁻¹)	Tempe- ratura (°C)	μScm^{-1}	KPK	BPK _s	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	O-PO ₄ ³⁻
				(mg O ₂ l ⁻¹)		(mg l ⁻¹)		
3/10 1984	80	10,9	523	—	—	16,5	9	3,2
24/10 1984	0,5	10,5	636	28,8	2,1	17	11	4,4
13/12 1984	0,2	3,9	499	35,6	—	27,6	10	3,8
23/ 1 1985	680	5,4	413	—	1,2	14,9	7	3,4
Zajemno mesto 5								
27/ 3 1984	90	6,1	357	5	1,2	21	1	1,35
18/ 4 1984	0,3	7,4	364	9	—	15	10	3,55
30/ 5 1984	52	9,6	345	—	—	44	5	2,0
15/ 6 1984	minim.	11	454	7,9	1,1	22	12	5,0
11/ 7 1984	160	11,7	466	17,3	—	11,5	22	7,7
25/ 7 1984	40	11,2	434	16	0,2	4	16	6,7
22/ 8 1984	480	10,7	450	18,4	1,3	14	14	5,0
12/ 9 1984	76	11,1	502	13	0,9	9,9	14	4,2
3/10 1984	300	10,7	522	—	3,6	11,0	9	2,8
13/12 1984	0,3	5,1	501	5,0	—	27	9	4,0
23/ 1 1985	1000	6,1	394	6,3	1,4	23	7	3,1
Zajemno mesto 8								
7/ 2 1984	14	5,7	—	15	—	33	6	1,4
27/ 3 1984	180	5,8	373	—	1,6	27	1	1,2
18/ 4 1984	0,25	7,0	375	11	—	24	6	1,9
15/ 6 1984	4	10,5	422	6,3	0,9	48	9	2,95
11/ 7 1984	120	11,3	460	12,4	—	31	21	5,95
25/ 7 1984	200	11,5	450	10	0,6	7,7	18	5,65
22/ 8 1984	60	11,3	519	8	0,4	15,0	18	5,5
12/ 9 1984	10	11,0	514	6	—	10,0	16	4,0
3/10 1984	110	11,3	503	—	1,5	19,0	7	3,0
24/10 1984	1,5	10,5	560	17,3	2,1	12	8	3,6
13/12 1984	0,1	4,3	438	—	—	25,6	5	2,6
23/ 1 1985	660	5,3	394	7,5	0,4	24,4	6	2,24
Zajemno mesto 9								
25/ 7 1984	—	12,0	488	—	—	5,2	22	4,5
22/ 8 1984	60	11,2	530	8,8	2,0	10	20	5,7
12/ 9 1984	10	11,0	514	6	—	10	16	4,0
3/10 1984	420	10,9	475	—	1,7	15,5	5	0,24
24/10 1984	20	10,4	537	13,0	1,5	15	6	2,4
13/12 1984	1	4,6	464	4,0	—	24,8	4	1,95
23/ 1 1985	900	5,6	386	6,7	0,7	12,2	5	1,2

Pri vzorčevanju oktobra 1982 in 1983 smo zabeležili povišane vrednosti o-fosfatov, BPK_5 in spec. el. prevodnosti na opazovanih mestih v jami. Sklepamo, da so posledica čiščenja greznice po zaključeni turistični sezoni, pri čemer je prišlo do manjšega ali večjega premešanja na dnu greznice in do njenega kasnejšega intenzivnejšega spiranja ob padavinah, ki so sledile. Konec oktobra 1984 so v sklopu prenovitve turističnega campa podrli stare sanitarije z greznico. Očitno je rušenje povzročilo predrtje usedline na dnu greznice, ki je sicer igrala tudi vlogo nekakšnega filtra, in sprožilo prost odtok v greznici zastajajoče vode in blata skozi dno vrtače. To smo zabeležili pri prenikli vodi v jami z izjemno povišanimi vrednostmi spec. el. prevodnosti, KPK, BPK_5 ter koncentracije o-fosfatov. Vzorci so vsebovali tudi več finega suspenza kot sicer, medtem ko so bili pretoki minimalni, saj dobra dva tedna pred tem ni bilo omembe vrednih padavin, ki bi lahko povečale pretok curkov v jami. Analiza suspenza je pokazala, da le-ta vsebuje 5 % organskega ogljika, KPK premešane vzorca pa je bila kar nekajkrat višja kot v dekantiranem vzorcu. Na zajemnem mestu 3, pa tudi 2, se je spec. el. prevodnost dvignila preko $600 \mu\text{S cm}^{-1}$, KPK preko $30 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, BPK_5 pa do $6 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$.

Padavine, ki so sledile, so povečale opazovane pretoke, sočasno pa povzročile upad spec. el. prevodnosti in o-fosfatov že po enem mesecu in pol: KPK in BPK_5 pa sta upadla na prvotno vrednost počasneje.

Bakteriološke analize

Kemijske analize prenikle vode smo dopolnili še z bakteriološkimi preiskavami. Tako smo 3. 10. 1984 po zaključeni turistični sezoni zajeli štiri vzorce za bakteriološko analizo. Rezultati preiskav, ki jih je izvedel Zavod za zdravstveno varstvo SRS, oddelek za sanitarno mikrobiologijo v Ljubljani, so razvidni iz naslednje tabele:

Vzorec oz. vzorčno mesto	1	5	8	9
MNP skupnih koliformnih bakterij v 100 ml	20	150	22	380
Sporogeni sulfitoreducirajoči anaerobi v 100 ml		+	+	
Vseh živih bakterij v 1 ml	12 000	2400	2400	7200

Koliformnih bakterij in streptokokov fekalnega izvora ter *Pseudomonas aeruginosa* in vrste *Proteus* vzorci niso vsebovali.

Vzorec 1 iz zajemnega mesta št. 1 je prenikla voda izven ožjega območja onesnaženja, oz. kemijske analize niso pokazale onesnaženja. Bakteriološka analiza je podala le povišano vsebnost vseh živih bakterij. Vzorca 5 in 8, kjer sklepamo, da gre za direktnjši odtok in slabšo filtracijo, sta imela povišano vrednost vseh živih bakterij ter prisotne sporogene sulfitoreducirajoče anaerobe, ki nakazujejo trajnejše onesnaženje. Vzorec 9, kjer predvidevamo močnejšo filtracijo, pa kaže nekoliko boljšo sliko.

Spoznanja in sklepi

Meritve so pokazale, da prenika odpadna voda po sedimentaciji trdih nečistoč na dno greznice, kjer imajo vlogo nekakšnega filtra, skozi pretrte in prezračene karbonatne sklade.

Na opazovanem območju v jami, ki obsega približno 50 m², smo zabeležili pri curkih dokajšnje razlike v kvaliteti prenikle vode. Različno stopnjo očiščenja razlagamo z različnim načinom prenikanja, ki ga pogojuje različna povezanost in prevodnost vodnikov.

Prenikla voda v jami je vsebovala do 22 mg Cl⁻ l⁻¹ in do 7,7 mg PO₄³⁻ l⁻¹, kar pomeni, da je pri prenikanju njuna koncentracija upadla do 50 %. KPK odplake iz greznice, ki je dosegala vrednosti do 600 mg O₂ l⁻¹, se je po prenikanju znižala za 95 % in več. Vzoredne meritve BPK₅, ki nam povedo količino kisika, ki ga porabijo mikroorganizmi za oksidacijo oz. razgradnjo v vodi prisotnih organskih snovi, so podale še boljše čiščenje. Dobro prezračenost jamskega stropa, ki omogoča učinkovite oksidacijske procese, potrjujejo tudi meritve amonijaka in nitratov v odplaki in v prenikli vodi v jami. Nitrati, ki nastajajo predvsem z oksidacijo amonijaka v času prenikanja, nakazujejo trajnejše in širše območje onesnaženosti.

Slabše čiščenje pa nastopa pri vertikalnem prenikanju ob večjih pretokih, ko prihaja do intenzivnejšega spiranja organskega suspenza z dna greznice in iz jamskega stropa, ki močno povečuje vrednosti KPK, BPK₅ ter drugih merjenih parametrov v prenikli vodi. Odpadna voda se pri takih pogojih zadržuje v jamskem stropu tudi krajši čas, kar dodatno negativno vpliva na učinek čiščenja. Najslabši učinek čiščenja pa smo zabeležili v času praznjenja greznice oz. v času gradbenih del na območju greznice, ko je prišlo zaradi miniranja do intenzivnega spiranja usedline z dna greznice, kar se je odražalo v do nekajkrat povečanih vrednostih KPK in BPK₅ v prenikli vodi. To pa pomeni znatno slabši učinek samočiščenja odplak.

Spremljanje čiščenja komunalnih odplak pri prenikanju skozi 40 m debel strop Pivke jame je pokazalo, da struktura jamskega stropa v veliki meri pogojuje učinkovite oksidacijske procese. Opazna je različna stopnja čiščenja po posameznih različno prepustnih vodnikih.

Po sedimentaciji trdih nečistoč na dno greznice (vloga filtra) smo pri prenikanju dane količine in kvalitete odplake iz umivalnic in sanitarij, zabeležili ob ugodnih razmerah učinkovito samočiščenje. Slabše čiščenje nastopa v času večjih pretokov, ko voda nosi s seboj manjše ali večje količine organskega suspenza. Še znatno slabši učinek čiščenja pa smo zabeležili po miniranju greznice, ko je prišlo do bistvenih sprememb pri odtekanju odplake iz vrtače v karbonatni masiv.

Lahko zaključimo, da pri primerno nizkem onesnaženju (količina, kvaliteta odplake) opravlja pretrt karbonaten masiv vlogo učinkovite naravne čistilne naprave. Njena učinkovitost pa v veliki meri zavisi od pretoka in načina prenikanja, ki pa ga pogojuje stopnja zakrasedlosti jamskega stropa.

LITERATURA

- Kogovšek, J. & P. Habič, 1981: Preučevanje prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 9, 129—148, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 1983: Prenikanje vode in izločanje sige v Pisanem rovu Postojnske jame. *Acta carsologica*, 11, 59—76, Ljubljana.
- Preka, N. & N. Preka-Lipold, 1976: Prilog poznavanju autopurifikacionih sposobnosti karstnih podzemnih tokova. *Hidrologija i vodno bogastvo krša*, 577 do 584, Sarajevo.
- Sket, B. & F. Velkovich, 1981: Postojnsko-Planinski jamski sistem kot model za preučevanje onesnaženja podzemeljskih voda. *Naše jame*, 22, 27—44, Ljubljana.
- Einheitsverfahren für Wasser und Abwasser analyse, 1986, Weinheim.
- Standard methods for Examination of water and wastewater, 1975, Washington.

NATURAL PURIFICATION OF SANITARY SEWAGE DURING THE VERTICAL PERCOLATION IN THE PIVKA JAMA

Summary

In 1982 to 1984 the percolation of waste communal water from sanitations and washrooms of camping place through 40 m thick roof of Pivka jama were observed.

At observed trickles in the cave in the area of 50 m², where the polluted percolated water occurs, we have noticed considerable differences in the water quality. This unequal degree of purification can be explained by different way of percolation, conditioned mostly by different permeability of the fissures.

After the sedimentation of hard impurities to the bottom of the cess-pit (the role of filter) during the percolation of known quantity and quality of sewage at favourable conditions efficaceous autopurification was observed.

The percolated water in the cave contained up to 22 mg Cl⁻ l⁻¹ and up to 7,7 mg PO₄³⁻ l⁻¹, meaning, that their concentration decreased during the percolation for 50 % almost. COD sewage from the cess-pit, reaching the value up to 600 mg O₂ l⁻¹ decreased for 95 % and more. Parallel measurements of BOD₅, showing the oxygen quantity, used by microorganisms for oxidation, decomposition respectively of organic matters present in water, showed still better purification. Good aired cave roof, rendering possible efficaceous oxidation processes, confirms the measurements of ammonia and nitrates in the sewage and in the percolated water. Nitrates, occurring mostly by ammonia oxidation during the percolation, show more permanent and wider area of the pollution.

During greater discharges at vertical percolation worse purification occurs while washing off organic suspension from the cess-pit bottom as well as from the cave roof is more intensive. Thus the COD, BOD₅ and other values are increased in the percolated water. Sewage water remains in such conditions for shorter time in the cave roof giving additional negative influence to the purification effect. Considerably worse purification effect was noticed after the cess-pit blasting when essential changes at water discharge from the doline to the carbonate massif have taken place.

We can conclude that at known pollution (quantity, sewage quality) the crushed carbonate massif plays the role of efficaceous natural purification plant. In any case the oxidation capacity of carbonate massif greatly depends on the karstification degree of carbonate rocks while on the other side the purification degree from the way of percolation.

REZULTATI POSKUSOV Z MODELI ZAGANJALK

THE EXPERIMENT RESULTS WITH EBB AND FLOW
SPRING MODELS

RAFAEL PODOBNIK

Izvleček

UDK 556.36.08 : 621.65.01

Podobnik Rafael: Rezultati poskusov z modeli zaganjalk

Avtor je z modeli preizkusil v literaturi dostopne in lastne zamisli o delovanju zaganjalk. Ugotovil je, da lahko delujejo na različne načine. Razlikuje višinsko, sesalno, pasivno in nihalno zaganjanje. Pri vseh preizkušenih oblikah delovanja ima zrak bistveno vlogo. Uvaja pojme razvlečena natega, zračna zapora, odprti in zaprti sistem, sesalna zapora, zračni most, sprožilni pretok ter minimalni in maksimalni kritični dotok.

Abstract

UDC 556.36.08 : 621.65.01

Podobnik Rafael: The experiment results with ebb and flow spring models

Accessible in literature and on the base of his own ideas the author tested the ebb and flow springs activity. He differs among heigth, pumping, passive and swinging manner of flowing. At all the tested ways of function the air plays an essential role. The author introduces the terms as extended siphon, air block, opened and closed system, pumping block, air bridge, released discharge and minimal and maximal critical inflow.

Naslov — Address

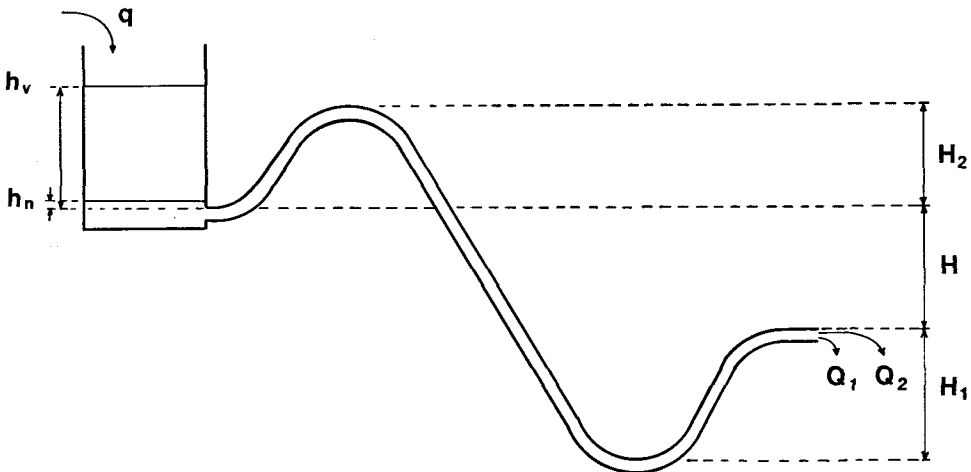
spec. ak. st. RAFAEL PODOBNIK, dr. stom.
Cankarjeva 15
65000 Nova Gorica
Jugoslavija

UVOD

Zaganjalke so redki in zanimivi kraški izviri, ki periodično spreminjajo iztok vode. Večina strokovnjakov razlaga njihovo delovanje z natega. Vedno znova pa se pojavljajo avtorji, ki vseh opazovanih pojavov ne morejo pojasniti s sistemom natega in iščejo druge razlage. Vprašanj je ničkoliko:

Zakaj voda med zagoni v večini primerov ne preneha teči? Kako razložiti časovne in količinske nepravilnosti zaganjanja? Kaj določa območje delovanja? Ali zaganjanje preneha, če dotok postane enak ali manjši od minimalnih iztokov med delovanjem (P o d o b n i k, 1968; H a b i č, 1970)? Kako lahko Lintvern pri Vrhniki izbruhne ob suši, ko je ocenjeni dotok preko stokrat manjši od maksimalnih iztokov med zaganjanjem (H a b i č, 1970)? Zakaj Zaganjalka v Cerkljanskem Vrhu zaganja na več popolnoma različnih načinov (P o d o b n i k, 1968)? Kako razložiti pojav ciklusov (P o d o b n i k, 1968)? Kakšno vlogo ima zrak? Ali lahko spreminjanje zračnega pritiska vpliva na zaganjanje (Bridge, 1923; P o d o b n i k, 1968)?

Da bi razširili znanje o zaganjalkah in odgovorili na katero izmed zastavljenih vprašanj, smo več let s pomočjo modelov raziskovali njihovo delovanje.



Seznam kratic

H	— višinska razlika med začetkom in koncem cevi (na slikah h)
H_1	— višinska razlika med koncem in najnižjim delom cevi
H_2	— višinska razlika med začetkom in najvišjim delom cevi
K_1	— minimalni kritični dotok
K_2	— maksimalni kritični dotok
l	— litri
min	— minute
P	— povprečno trajanje periode
q	— dotok oziroma povprečni pretok
Q_1	— minimalni iztok
Q_2	— maksimalni iztok
s	— sekunde
T	— trajanje posamezne periode
V	— prostornina vode, ki se med višinama h_n in h_v nabere v zbiralniku (v eni periodi)
h_n	— najnižja višina vode v zbiralniku, merjena od zgornjega roba svetline cevi
h_v	— najvišja višina vode v zbiralniku, merjena od zgornjega roba svetline cevi

ZGODOVINSKI IN TEORETSKI DEL

Uporabljeni viri kažejo, da je Valvasor leta 1689 prvi razložil delovanje zaganjalk z natega. Čeprav so v njegovi dobi še sežigali čarovnice, se ob raziskovanju Lintverna pri Vrhniki ni dal prepričati okoliškim kmetom, ki so trdno verjeli, da skrivnostno obnašanje izvira povzroča zmaj. Odločilni dokaz jim je bil zmajček, ki ga je bila voda prinesla na dan. Sklicevali so se na vrhniškega poštarja, ki je bil ped dolgo in kuščarju podobno žival odnesel domov. Slednje bi bil lahko prvi pisani vir o človeški ribici. Ker Valvasorju zaradi nedoločene omembe ni prinesel prvenstva (Aljančič, 1984), mu ga tem bolj privoščimo na področju razlage delovanja zaganjalk z natega. Nepojasnjena in brez primere v literaturi ostaja njegova potrditev ljudskih pričevanj, ko je dvakrat umetno povzročil izbruh kot milnica bele vode. Prvič je samo suval z drogom, drugič pa je zraven še kričal v iztočno luknjo Lintverna. Valvasor pojav razloži s stanjem, ko je voda v isti višini kot koleno natega in lahko najmanjši gib sproži delovanje. Edinstvena je njegova domislica o povezavi dveh nateg, ki jo je uporabil pri tolmačenju hitrega polnjenja Cerkniškega jezera. Voda iz višje natega se izliva v padajoči krak nižje natega in predčasno sproži njeno delovanje (Valvasor, 1984).

Če razlagamo delovanje zaganjalk z natega oziroma sifonom v hidravličnem smislu (Mangin, 1975), si predstavljamo v vodnem rovu votlino, iz katere pri dnu izhaja kolenasti rov. Ko voda doteka, se istočasno polnita votlina in dvigajoči se del kolenatega rova, dokler voda ne doseže kolena in se prelije navzdol. Voda v padajočem kraku kolenatega rova ob ugodnih pogojih

deluje kot bat v črpalki in srka vodo iz zbiralnika. Ko se votlina izprazni, kolenasti rov vsrka zrak in natega preneha delovati. Zbiralnik se prične ponovno polniti in pojav se ponovi. Darcy je leta 1857 opozoril, da do zaganjanja pride takrat, ko je pretok skozi kolenasti rov večji od dotoka v zbiralnik (cit. Imbeaux, 1930). Skladno s tem je Mangin (1969) s poskusi ugotovil, da mora biti iztok najmanj dvakrat večji od dotoka. Če je razlika med dotokom in iztokom manjša, pride do vrste hitrih in neizrazitih sunkov.

Da bi pojasnil iztekanje vode med izbruhi, je Darcy predvidel možnost, da se vodni rov razdeli v dve veji. Del vode teče preko mehanizma, drugi del pa se po obhodnem rovu izliva neposredno v izvir. Minimalni iztok je enak pretoku skozi obhodni rov. Pri maksimalnem iztoku se mu pridruži voda, ki jo dovaja natega (cit. Imbeaux, 1930). Bridge (1923) meni, da rov s stalnim iztokom lahko izhaja iz zbiralnika ali pa ni povezan z dejavniki, ki botrujejo zaganjanju. Ne moremo mimo bleščečega Darcyjevega razmišljanja, ko razglablja o predpostavki, da iz zbiralnika nekoliko nad ustjem natega izhaja manjši rov z lastnim izvirom. Če ob suši manjši rov odvaja vso vodo, dobimo stalni izvir, medtem ko je zaganjalka suha. Ob večji vodi se vključi natega in oba izvira zaganjata. Nadaljnje večanje dotoka povzroči, da postane iztok v glavnem izviru stalen, mali izvir pa je suh. Zaradi popolnosti dodajamo stanje, ki ga je Darcy predvidel v drugi povezavi. Ko se dotok poveča nad zmogljivostjo natega postaneta oba izvira stalna (cit. Imbeaux, 1930).

Neprekinjen iztok omogoča tudi Manginov mehanizem (1969), ki ne temelji na nategi. Iz zbiralnika izhajata zgornji zračni in spodnji vodni rov. Po krajšem ločenem poteku se združita v skupni rov, ki pada proti izviru. Začetek in konec zračnega rova morata biti v isti višini. Če konec zračnega rova napram njegovemu ustju nižamo, statični pritisk v stičišču obeh rogov potiska vodo v zračni rov in ovira vsrkavanje zraka. Da se vzpostavi zračni tok, se mora gladina v zbiralniku bolj znižati, kot je potrebno pri isti višini obeh koncev zračnega rova. Pri taki postavitvi je Mangin opazoval nepravilno delovanje. V obratnem primeru, ko stičišče obeh rogov dvigamo, naprava dobiva lastnosti natega. Velik iztok imamo toliko časa, dokler je nivo vode v zbiralniku nad ustjem gornjega rova. Ko se vhod v zračni rov odpre, voda v stičišču obeh rogov prične vsrkavati zrak. Iztok se zmanjša. Gladina v zbiralniku se prične dvigati in ponovno zapre zračni rov. Vsrkavanje zraka ni več mogoče in iztok se poveča. Ob ugodnih pogojih se pojav periodično ponavlja. Mangin meni, da lahko samo z opisanim mehanizmom ponazori delovanje zaganjalke Fontestorbes v Franciji, za katero so značilne majhne razlike med dotokom in maksimalnim iztokom ter pravilnost zaganjanja. Pomemben je Manginov eksperimentalni in računski prikaz, koliko zračni tok zmanjša vodni tok, če se istočasno pretakata po cevi.

Časovne in količinske nepravilnosti zaganjanja večina avtorjev razlaga s sestavom dveh ali več mehanizmov. Teoretično so lahko vezani vzporedno ali zaporedno. Že Darcy (cit. Imbeaux, 1930) si je zamislil sestavljeno zaganjalko z dvema zbiralnikoma. Višji je večji in ga povezuje z nižjim kolenasti rov z manjšo propustnostjo, kot jo ima natega, ki povezuje končni zbiralnik z izvirom. Kombinacija naj bi delovala tako, da bi obdobju pogostih izbruhov sledil daljši presledek, ko bi se polnil večji zbiralnik. Marković

(1963) nepravilnosti v delovanju Homoljske potajnice pojasnjuje s sekundarnimi zaganjalkami, ki se občasno praznijo v primarni zbiralnik. Če sekundarni mehanizmi delujejo med polnjenjem glavnega zbiralnika, skrajšajo čas med zagoni. Kadar pa se vključijo tik pred ali med delovanjem primarne zaganjalke, podaljšajo in okrepijo izbruh.

Bridge (1923) obravnava teorijo z več nategami kot izjemno možnost, nikakor pa v njej ne vidi splošnega obrazca za pojasnjevanje časovnih in količinskih nepravilnosti zaganjanja. Opozarja na redkost periodičnih izvirov. Zdi se mu nesmiselno, da bi z več nategami razlagal delovanje ene zaganjalke, medtem ko številni izviri v okolici ne kažejo nobenih znakov zaganjanja. Kot najverjetnejšo ocenjuje Meinzerjevo teorijo o vsrkavanju zraka skozi stene kolenastega rova. Med delovanjem naj bi natega srkala vodo skozi razpoke kolenastega rova. Če bi v okolici zmanjkalo podtalnice, bi natega vsrkala zrak, ki bi prekinil izbruh. Zaganjanje bi bilo nepravilno. Potrdilo za Meinzerjevo teorijo je dobil v opazovanjih Izvira pri Jack's Fork in Millerjevega izvira v državi Missouri v ZDA. Oba izvira izrazito, toda zelo nepravilno zaganjata. Med večtedenskimi merjenji je nekajkrat neznatno deževalo. Čeprav se dotok ni bistveno spremenil, so se razmaki med praznjenji podaljšali. Istočasno so se povečale količine izbruhane vode. Bridge meni, da majhne količine padavin ne vplivajo na dotok vode, pač pa zapolnijo razpoke okrog kolenastega rova. Kot drugo možnost za nepravilno zaganjanje Bridge navaja vpliv zračnega tlaka. Pri visokem barometriškem tlaku naj bi se podtalnica počasneje stekala v zbiralnik kot pri nizkem.

Podobnik (1968) je pri merjenjih Zaganjalke v Cerkljanskem Vrhu ugotovil različne načine zaganjanja, spremembe velikosti maksimalnih iztokov in večjo ali manjšo nepravilnost zaganjanja pri spreminjanju povprečnega pretoka. Nadalje je zabeležil nenadno spremembo maksimalnih iztokov, združitve dveh zagonov v enega, pojav ciklusov pri večjih dotokih in izostanek izrazitega delovanja za dobo enega ciklusa. Posebno zanimivo je bilo prenehanje zaganjanja, ko je dotok postal enak minimalnim iztokom med delovanjem ter ponoven pojav popolnoma nepravilnega zaganjanja pri še nižjem povprečnem pretoku. Avtor meni, da bi večino naštetih pojavov lažje razložil s sistemom z zrakom kot z natego. Sestavljata ga dve negativni in vmesno pozitivno koleni, v katerem se nabira zrak, ki zapira vodi pot. Količina zraka naj bi bila poleg dotoka vode ter oblike in mer zaganjalke iskani tretji dejavnik, ki vpliva na zaganjanje. Podobnik navaja trditve okoliških kmetov, da je zaganjanje pred slabim vremenom močnejše. Avtor ugotavlja, da so deli vodnega rova napolnjeni z zrakom. Pri padanju zračnega tlaka se zrak širi in sprošča v vodni tok. Mehanizem zaganjalke ima na razpolago več zraka in zaganjanje je močnejše.

Darcy je bil prvi, ki je obravnaval učinke, ki jih lahko povzroči zrak v naravnih vodih. Kot primer je navedel vrh v vodnem rovu, v katerem se nabira zrak. Pri nižji temperaturi zrak dopušča vodi pretakanje preko vrha. Če pa se temperatura zviša, se zrak razširi in zapre vodi pot. Na njegovo hipotezo naj bi se naslanjal Mangin, ko je leta 1969 razložil delovanje Fontaine Ronde v Juri v Franciji s pritiskom ogljikovega dioksida (cit. Verdeil, 1962, cit. Mangin, 1969).

Verdeil (1962) ugotavlja, da ne gre za cgljikov dioksid, ampak za zrak, ker se v izviru ne nabira lehnjak. Za Fontaine Ronde navaja, da pri zelo visoki vodi ne zaganja. Pri nižanju dotoka se najprej pojavijo neredni in težko ločljivi zagoni. Najpravilnejše delovanje dobimo ob nizki vodi. Ob zelo nizki vodi zaganjanje preneha. Izvir sestavljata dva bazena, v katerih je vidno sproščanje zraka v obliki mehurčkov ali pravega vrenja. Izhajanje zraka se začne nekoliko pred zgonom, se večja skupaj z njim in preneha malo pred njegovim koncem. Slišno je podzemno šumenje. Ob zelo nizki vodi, ko ni zaganjanja, se v spodnjem bazenu vsakih 10—15 minut ali v še daljših časovnih razmakih sprošča zrak. Ob zelo visokih vodah pa skupaj z zaganjanjem izgine tudi izhajanje zraka. Med prebijanjem bližnjega železniškega tunela je Fontaine Ronde zaradi izhajanja zraka usahnila. Ko so odprtine v tunelu zamašili, je voda pričela iztekati in čez eno uro se je vzpostavilo zaganjanje.

Bridge (1923) je prvi ugotovil, da stranske reže in razpoke ob izbruhu sprejmejo vodo, ki jo ob nižanju gladine postopno oddajajo in podaljšujejo čas upadanja.

Verdeil (1962) poroča, kako so v vrtači v okolici Fontestorbese odkrili šibak intermitentni preprih. Na tem mestu so s težakim delom odprli Brezno Caoujous, v katerem so na dveh mestih prišli do vode, ki je naraščala in upadala. Če Fontestorbes ni deloval, tudi voda v breznu ni spreminjala višine. V severozahodnem jašku je bilo med delovanjem možno slišati oddaljeno grmenje, odtekanje vode v jugovzhodni dvorani pa je spremljal oglušujoč hrup. Mangin (1969) je v NNW delu opazoval 4,7 m visoko dviganje vode in v SSE prostoru 3,3 m. Pojav tolmačita različno. Verdeil meni, da sta opazovani mesti v zaledju dveh nateg. Mangin trdi, da se nahajata med intermitentnim mehanizmom in izviro. Gladina naj bi se dvignila zaradi pritiska izbruhane vode, podobno kot se dvigne v razbremenilnih jaških pri vodnem udaru.

Fontestorbes ne deluje pri srednjem in visokem vodnem stanju. Mangin navaja, da se delovanje običajno začne sredi julija in konča novembra. Kritični pretok, pri katerem se pojavi zaganjanje, znaša 1,2—1,5 m³/s. Brezno Caoujous se nahaja 1120 m jugovzhodno in 100 m višje od Fontestorbese. Voda je okrog 90 m globoko. Pozimi je opazoval višjo gladino vode, pred nastopom intermitence pa nižjo od maksimalnih višin med delovanjem. Maksimum je zabeležil v SSE dvorani 2 min in v izviru 17,5 min kasneje kot v NNW jašku. Minimum nastopi v obeh delih brezna istočasno, v izviru pa se pojavi 29 min pozneje. Čas naraščanja vode v izviru je krajši in čas upadanja daljši kot v breznu.

Verdeil (1962) poroča o intermitentnem sistemu Poudak v Visokih Pirenejih, ki deluje samo ob visokih vodah. V Breznu Poudak je opazoval 4 m visoko dvigovanje vode s periodo 58 min. V 50 m oddaljenem breznu je vodna gladina nihala s periodo 29 min. Verdeil uganka razlaga s kombinacijo dveh nateg. Za izvir Crupet v Belgiji, ki deluje zelo neredno in je njegov izvirni bazen ob deževju suh, trdi, da deluje na osnovi vodnega udara (oz. hidravličnega ovna). Ko se dotok dovolj poveča, naj bi vodni udari izginili. Vsa voda odteka po nižjem vodu in se ne dvigne do višine intermitentnega izvira. Če se

dotok še povečuje, dobimo v izvirnem bazenu najprej stalni nivo vode in končno stalni iztok brez zaganjanja.

M a r k o v i ć (1963) navaja, da Homoljska potajnica med izbruhi preneha teči. Tik pred začetkom iztoka se zasliši 3—4 s dolgo hrumenje, ki spominja na udarce in lomljenje.

Naštevaje podatkov iz literature, ki bi bili lahko pomembni za celovitejšo razlago delovanja zaganjalk, zaključujemo s podatki o Lintvernu. H a b i č (1970) ugotavlja, da Lintvern deluje, če je dotok manjši od maksimalnega iztoka med delovanjem, ki znaša okrog 400 l/s. Nedvomno gre za zaganjalko z izjemno intenzivnostjo zaganjanja, ki ji v razpoložljivi literaturi ni para. Maksimalni iztoki so osemdesetkrat večji od minimalnih. Posebej preseneča izbruh ob zelo nizki vodi po dvajsetdnevem presledku.

MATERIAL IN METODE

Uporabljena je bila eksperimentalna metoda. Merjenja smo opravljali v strmi grapi. Vodo smo preusmerili v betonsko korito, ki je nekoč služilo za napajanje majhne elektrarne. Nanj smo pritrdili 6 različno debelih cevi, ki smo jih kot natege uporabljali za dotok vode v zbiralnik. Tudi če so bile vključene vse, se je višek vode prelival preko korita, kar je zagotavljalo enakomeren dotok. Med potokom in koritom smo postavili tri rešetke iz preluknjane pločevine in žičnih mrež, da so zadrževale odpadlo listje in vejice. Za zbiralnik smo uporabili na gornji osnovni ploskvi odprt kovinski sod z notranjim premerom 57 cm in višino 86 cm. V njem sta bila na nasprotnih straneh prilepljena dva metra za spremljanje višine vode. Površina vode v zbiralniku je znašala 25,52 dm². Pri dnu je bil v obod vgrajen kovinski priključek za cev s koristnim premerom 37 cm. Za različne izvedbe vodnega rova nam je služila 12,3 m dolga plastična cev z notranjim premerom 43 mm in 6 mm debelim plaščem. Sorazmerno debele stene so ob primerno velikih polmerih ukrivljanja preprečevale upogibanje cevi pod ostrimi koti, kar bi zmanjšalo njeno prepustnost in motilo poskuse. Pri uporabljenih višinskih razlikah (H ni bil nikoli večji od 2 m) nismo zasledili, da bi podpritisni opazneje stiskali cev. Kljub debelini so bile stene zadosti prozorne, da smo lahko opazovali gibanje in mesta zadrževanja zraka. Namenoma smo izbrali cev večjega premera, da bi se bolj približali razmeram v naravi. Pri merjenjih E 6 in F 7 smo takoj za sodom podaljšali cev z 0,3 m dolgim delom enake vrste. Cevi sta bili povezani s pomočjo 8 cm dolgega kovinskega dela z notranjim premerom 37 mm in stranskim odcepom za dovod zraka, ki pa pri omenjenih merjenjih ni bil uporabljen.

Ob iztoku smo glede na hitrost spreminjanja pretoka vsakih 5, 10 ali 15 s merili dolžino curka. S pomočjo merskih posod in stoparice smo za posamezno dolžino curka trikrat zmerili pretok in izračunali povprečje. Dobljene rezultate smo grafično predočili, pri čemer smo popravili morebitna večja odstopanja. Tudi pri dotočnih ceveh smo najmanj trikrat zmerili pretok in izračunali povprečje. Možna je 15% napaka.

Model A (sl. 1) predstavlja razvlečeno natega, ki jo odlikujeta majhna višinska razlika in razmeroma dolg padajoči krak natega. Na modelu A smo opravili merjenje A 1.

Model B (sl. 1) je zaprta razvlečena natega. Dobili smo ga tako, da smo modelu A pred izlivom dodali zračno zaporo, ki ni nič drugega kot negativno koleno oziroma sifon v pravem pomenu besede. Na njem smo opravili merjenje B 2.

Model C (sl. 2) je odprta natega. Odprti sistem se loči od zaprtega po tem, da nima zračne zapore. Na modelu C smo izvršili merjenji C 3 in C 4.

Model D (sl. 3) predstavlja zaprto natega. Nastal je tako, da smo modelu C dodali zračno zaporo. Najnižji del zračne zapore je 35 cm nižji od pozitivnega kolena, ki ji sledi, oziroma 5 cm nižji od konca cevi. Na modelu D smo naredili merjenje D 5.

Model E (sl. 3). Modela E in F sta brez pozitivnih in negativnih kolen. Nedvomno predstavljata najenostavnejšo obliko zaganjalke. Kljub preprostosti ali prav zaradi nje takega mehanizma v literaturi nismo zasledili in gre za originalno izvedbo. Z modelom E smo opravili merjenje E 6.

Model F (sl. 4) se razlikuje od modela E po večji višinski razliki med začetkom in koncem cevi. Z njim smo izvršili merjenje F 7.

Model G (sl. 4) smo dobili tako, da smo modelu F dodali zračno zaporo. Z njim smo izvedli merjenje G 8.

Model H (sl. 5) je brez višinske razlike med začetkom in koncem cevi. Deluje lahko samo pod pogojem, da dotok v zbiralnik napeljemo tako, da peni vodo okrog vhoda v cev. Vodni rov sestavljata dve negativni kolena. Posnema sistem z zrakom (Podobnik, 1968). Z modelom H smo opravili merjenje H 9.

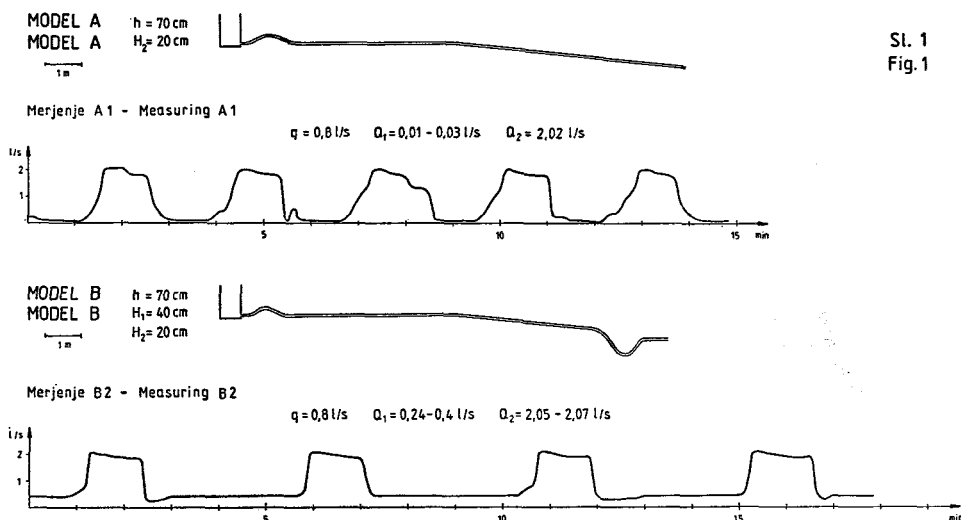
Model I (sl. 5) ima negativno koleno takoj za zbiralnikom. Spada med odprte sisteme. Z njim smo izvršili merjenje I 10.

Model J (sl. 6) je izveden iz modela I. Sestavljata ga negativno koleno takoj za zbiralnikom in zračna zapora pred ravnim iztočnim delom. Merjenja J 11, J 12 in J 13 se razlikujejo samo po dotoku. Pri merjenjih J 14 in J 15 smo zaganjanju zaradi vodnega padca (višinsko zaganjanje) dodali učinek z zrakom pomešane vode, ki jo povzroča slap v zbiralniku (pasivno zaganjanje).

Model K (sl. 8) je posebna zaprta natega. Namesto enega visokega pozitivnega kolena ima štiri nizka kolena z višinami (v smeri toka): 5, 6, 6 in 4 cm. Sledi jim enakomerno padajoči del cevi, ki tekoče preide v sesalno zaporo. Sesalna zapora je plitka oblika zračne zapore. Na modelu K je samo 5 cm nižja od nakazanega pozitivnega kolena, ki ji sledi. Najnižji del sesalne zapore in iztok sta v isti višini. Z modelom K smo izvedli merjenja K 16, K 17 in K 18.

REZULTATI

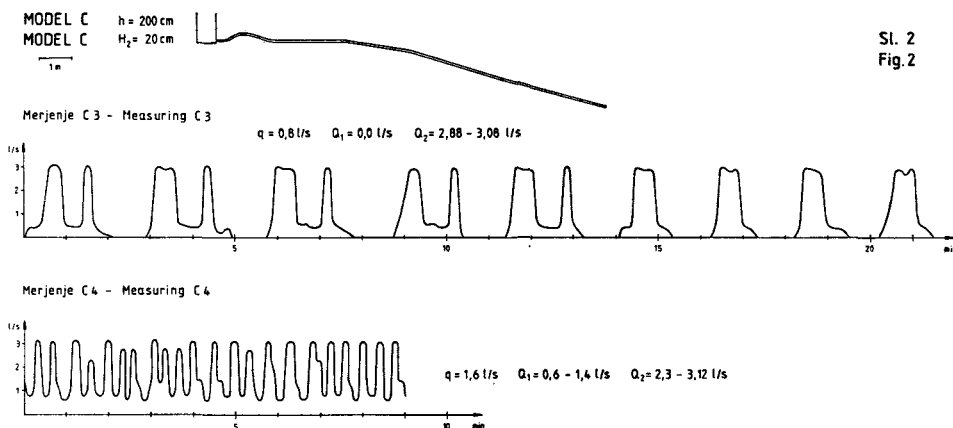
Merjenje A 1 (sl. 1): $h_n = 1$ cm, $h_v = 24,5$ —25 cm, $V = 60$ —61,2 l, $P = T = 170$ s. Med zagonom v cevi ni zraka in jo v polnem preseku izpolnjuje voda. Ko voda v zbiralniku upade in ustje cevi vsrka zrak, se iztok hitro zmanjša. Po vsrkanju imamo posebno v vrhu kolena in v ravnem delu cevi večje in manjše mehurje zraka. Istočasno se voda od izliva nazaj nadomešča z zrakom.



Voda, ki je izpolnjevala celotno svetlino cevi (če zanemarimo mehurje zraka), počasi odteka in polni presek vode, se retrogradno ruši kot v vrsto postavljene domine. Polna svetlina vode obstane približno na sredini dvigajočega se kraka kolena, ker se je medtem gladina vode v zbiralniku že toliko dvignila. Od vsrkanja zraka do konca nadomeščanja vode z zrakom je potrebnih okrog 25 s. Voda rabi nadaljnjih 50 s, da se dvigne v vrh kolena. Polna svetlina vode postoji nekoliko sekund v kolenu in prične potovati proti izlivu, do katerega rabi še približno 30 s. Najmanjše ponižanje cevi v ravnem ali padajočem delu deluje kot zračna zapora ter zaustavi prej opisano nadomeščanje vode z zrakom. Čeprav je potek izbruhov različen, se T in Q_2 ne spreminjata.

Merjenje B 2 (sl. 1): $h_n = 1$ cm, $h_v = 27,5 - 33$ cm, $V = 67,6 - 81,7$ l, $P = 280$ s, $T = 270 - 290$ s. Ob vsrkanju zraka nekaj mehurčkov vrže preko zapore v izvir. Potem nosi preko zapore okrog 1 mm velike mehurčke. Počasi se njihova velikost poveča na 3–5 mm, čeprav minimum še traja. V padajočem kraku kolena in v padcu pred zračno zaporo teče voda samo po dnu cevi. Ravni del za kolonom izpolnjuje polna svetlina vode, v kateri so večji mehurji zraka. Po vsrkanju zraka polni lumen vode obstane v vrhu kolena in omogoča neprekinjeni iztok. V vstopnem kraku zapore je gladina vode 15 cm višja kot v izstopnem delu, v katerem njen nivo narekuje višina izliva. Maksimum dobimo tako, da prične voda v polnem preseku potovati od kolena proti izlivu, pri čemer prehajajo preko zapore vedno večji mehurji zraka.

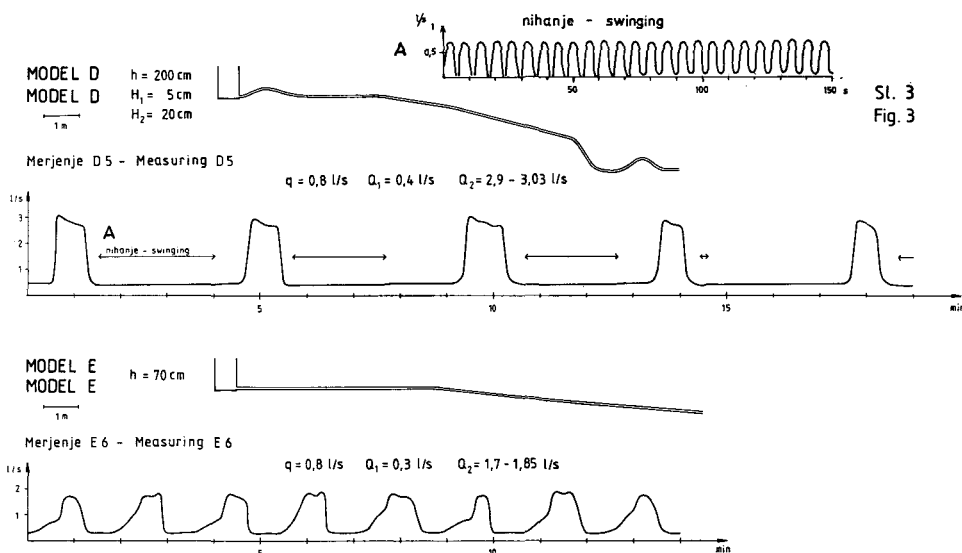
Merjenje C 3 (sl. 2): $h_n = 1,5$ cm, h_v širokih vrhov = 22,5 cm, h_v ozkih vrhov = 3–4,5 cm, V širokih vrhov = 53,6 l, V ozkih vrhov = 3,8–7,7 l, P ciklusov = 165 s, P enojnih vrhov = 123 s, T ciklusov = 150–190 s, T enojnih vrhov = 120–130 s. Obdobja, ko imamo samo en vrh, se izmenjujejo z obdobji, ko običajnemu zagonu sledi še ožji. Po izbruhu polna svetlina vode vztraja



v vrhu kolena, dokler se iz padca ne odteče voda. Nato pade po vstopnem kraku kolena navzdol in obstane okrog 6 cm nad zgornjim robom odprtine cevi. Ko zagonu sledi ožji vrh, polna svetlina vode obstane v začetku ravnega dela za kolenom, odkoder prične potovati proti izlivu.

Merjenje C 4 (sl. 2): $h_n = 1,5$ cm, $h_v = 2-6$ cm, $V = 1,3-11,5$ l, $P = 24$ s, $T = 15-33$ s. Zaganjanje je nepravilno. Čas trajanja period ter velikost minimalnih in maksimalnih iztokov se zelo spreminja.

Merjenje D 5 (sl. 3): $h_v = 1,5$ cm, $h_n = 28,5-36,5$ cm, $V = 68,9-89,3$ l, $P = 252$ s, $T = 230-280$ s. Po izbruhu voda in zrak obstaneta podobno kot pri

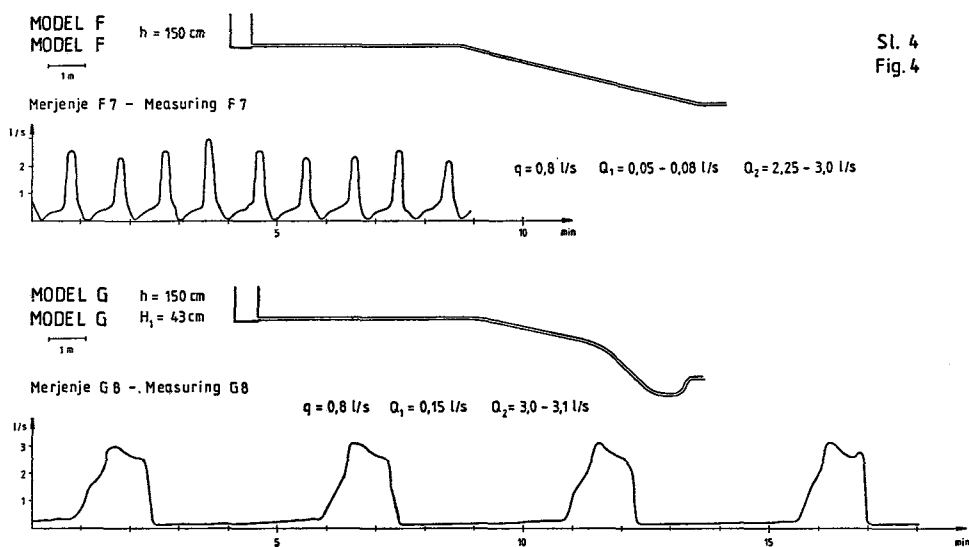


merjenju B 2. V začetku minimuma se pojavi nihanje s periodo 6 s, ki traja toliko časa, dokler je pretok nižji od 0,45 l/s. Polni lumen vode niha preko vrha kolena na razdalji okrog 40 cm. Kmalu se v ravnem delu za koleno oblikuje okrog 40 cm dolga polna svetlina vode, ki niha sočasno z vodo v kolenu in obeh krakih zapore. V padajočem kraku kolena in ostalem delu cevi med kolonom in zaporo teče voda samo po dnu. Voda se prelije ob vsakem nihaju preko kolena in iz zapore v izvir. Spočetka med nihaji v iztoku preneha teči, kasneje samo narašča in pada. Pri dotoku 0,3 l/s zaprta natega ne dela, pač pa stalno niha na prej opisani način. Iztok se za hip prekine, nato se zlije od 1,5 do 1,7 l vode. Pojav smo imenovali nihalno zaganjanje. Če smo cev podaljšali za 3 m, smo dobili nihanje s periodo 7 s.

Merjenje E 6 (sl. 3): $h_n = 1,5$ cm, $h_v = 11$ cm, $V = 24,2$ l, $P = 106$ s, $T = 100-110$ s. Ob vsrkanju zraka ga nekaj prinese v izvir. Razporedi se po vsej cevi v obliki mehurčkov. Istočasno retrogradno nadomešča polni lumen vode v padajočem delu in v prelomu cevi. Kmalu prične voda iz ravnega dela odnašati zrak. Polna svetlina vode zapolni prelom cevi in prične potovati proti izlivu. Ko ga doseže, dobimo maksimalni iztok.

Merjenje F 7 (sl. 4): $h_n = 1$ cm, $h_v = 6,5$ cm, $V = 14$ l, $P = 58$ s, $T = 52-67$ s. Obnašanje zraka je podobno kot pri merjenju E 6. Polni lumen vode rabi okrog 15 s, da se v prelomu cevi pomakne 50 cm naprej. Preostalih 7 m do izliva prepotuje v približno 14 s.

Merjenje G 8 (sl. 4): $h_n = 1$ cm, $h_v = 44,5-45$ cm, $V = 111-112,3$ l, $P = 293$ s, $T = 280-300$ s. Zrak prvič posrka pri višini vode v sodu od 6 do 1 cm, če jo merimo od zgornjega roba odprtine cevi. Po vsrkanju zraka imamo polno svetlino vode ob zbiralniku (v dolžini 25 cm), na sredi ravnega dela (45 cm) in



v zračni zapori. V vstopnem kraku zapore je voda okrog 10 cm višja kot v izlivu. Po vsrkanju se kot pri vseh do sedaj obravnavanih meritvah nič zraka ne vrne v zbiralnik. Že v začetku minimuma nosi preko zapore okrog 1 mm velike mehurčke. Pri iztoku 0,23 l/s se zrak v vstopnem kraku spusti do kolena zapore. K_1 znaša okrog 0,3 l/s. Ob tako nizkem dotoku so delovali samo modeli s sesalno zaporo. K_2 je približno 1,7 l/s. Pri $q = 0,23$ l/s sistem ne dela. Višina vode v sodu je 10 cm. Ko dotok doseže 1,75 l/s, cev prične stalno srkati zrak. Pri $q = 2,5$ l/s se prične gladina vode v zbiralniku dvigati.

V območju delovanja se voda pri dotoku 0,3 l/s v zbiralniku dvigne nekoliko manj kot pri 0,8 l/s, nasplošno pa se z naraščanjem dotoka h_v in T manjšata. Pri $q = 0,3$ l/s dobimo: $h_n = 0$ cm, $h_v = 42,5$ cm, T je okrog 785 s. Tik pred začetkom izbruha zrak v vstopnem kraku doseže dno zapore. Ob maksimalnem kritičnem dotoku so mere naslednje: $h_n = 1,5$ cm, $h_v = 10$ – $10,5$ cm, T je okrog 76 s. Količina vsrkanega zraka z naraščanjem dotoka pada.

Merjenje H 9 (sl. 5): $h_n = 25,5$ – $28,5$ cm, $h_v = 39$ – $47,5$ cm, $V = 26,8$ – $54,9$ l, $P = 340$ s, $T = 310$ – 360 s. Takoj za izstopom iz soda se oblikuje okrog 100 cm dolg podolgovat mehur zraka, ki se prilega ob zgornjo steno cevi. Manjši okroglasti mehurji se zadržujejo v vstopnih krakih obeh negativnih kolen. Poleg teh nastaneta v sredini padajočega kraka prvega in na začetku vstopnega kraka drugega negativnega kolena ob sredotežnih stenah okrog 25 cm dolga mehurja z ravno bazo in s proti toku ošiljenim vrhom. Maksimalna količina zraka ni vedno enaka. Ko voda v zbiralniku prične padati, izrine ves zrak iz cevi, tako da je okrog 30 s v njej samo voda. Medtem gladina v sodu toliko pade, da mehurčki dosežejo ustje cevi in voda prične ponovno vnašati zrak v sistem. Nivo vode v zbiralniku se še naprej niža. Količina zraka v cevi se veča in počasi nastopi preokret. Gladina vode v sodu se prične dvigati. Velik mehur zraka za ustjem cevi se med dvigovanjem vode še veča in se šele pred začetkom upadanja prične manjšati. Ko zdrsne preko prvega negativnega kolena, se različno dolgo zadržuje v vstopnem kraku drugega negativnega kolena in sorazmerno počasi drsi proti dnu sifona. Včasih se pomakne nekoliko nazaj. Takrat se nivo vode v zbiralniku bolj dvigne. Gladina v sodu enakomerno narašča in pada. Nekaj zraka se vrača nazaj v zbiralnik.

Pri vodoravni cevi zaganjanja nismo uspeli vzpostaviti. Zrak je enakomerno odnašalo. Če smo penjenje povečali, se je gladina vode v sodu ustalila na nekoliko višjem nivoju. Po drugi strani nismo uspeli doseči trajnega višinskega zaganjanja, če smo pri modelu H iztok znižali samo za 20 cm.

Merjenje I 10 (sl. 5): $h_n = 1$ cm, $h_v = 6,5$ cm, $V = 14$ l, $P = 57$ s, $T = 53$ – 60 s. Po vsrkanju zraka se polni lumen konča takoj za ustjem cevi in voda teče v vstopnem kraku negativnega kolena po spodnji steni do globine 75 cm. Tu se začne polna svetlina vode, ki se konča ob prehodu izstopnega kraka kolena v krajši ravni del cevi. Mehurji zraka v padcu se dvignejo v njegov zgornji del, tako da voda teče do globine okrog 65 cm samo po spodnji steni cevi. Preostalo cev v celem preseku izpolnjuje voda, ki se od izvira nazaj zamenjuje z zrakom. Ob vsrkanju zraka nastopi prvi minimum. Drugi izrazitejši minimum dobimo, ko iz padajočega dela cevi odteče polna svetlina vode. Po vsrkanju se precej zraka vrne nazaj v sod. Večino preostale količine doleti ista usoda, ko iz padca

MODEL H $h = 0$ cm
MODEL H $H_1 = 100$ cm

1 m



Sl. 5
Fig. 5

Merjenje H9 - Measuring H9

$q = 0,8$ l/s $Q_1 = 0,55 - 0,58$ l/s $Q_2 = 1,15 - 1,23$ l/s



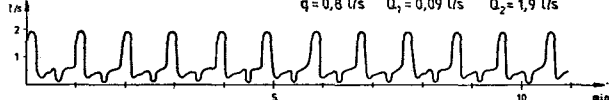
MODEL I
MODEL I $h = 150$ cm

1 m



Merjenje I10 - Measuring I10

$q = 0,8$ l/s $Q_1 = 0,09$ l/s $Q_2 = 1,9$ l/s



odteče polni lumen vode. Polna svetlina vode v začetku ravnega dela cevi se pomakne naprej in prekine drugi minimum. Polni lumen vode nadaljuje potovanje proti izviru in ko ga doseže, dobimo maksimalni iztok.

Merjenje J11 (sl. 6): $h_n = 1$ cm, $h_v = 12,5 - 15,5$ cm, $V = 29,3 - 37$ l, T je 580 in 590 s (zaradi dolgotrajnega poteka smo merili samo dve periodi). Po vsrkanju se podobno kot pri vseh meritvah z modelom J del zraka vrne v zbiralnik. V začetku minimuma voda v zgornjem delu vstopnega kraka kolena, v večjem delu padca in v iztočnem delu teče samo po dnu cevi. Polna svetlina vode v vstopnem kraku negativnega kolena se nahaja 70 cm in v padajočem delu cevi 100 cm globoko, tako da je 55 cm višja kot v izlivnem delu zapore. Takoj po vsrkanju zraka nosi preko zapore 1 mm velike mehurčke. Njihov premer kmalu naraste na 2—3 mm. V vstopnem kraku zapore se oblikuje večji mehur z ravno

MODEL J $h = 150$ cm
MODEL J $H_1 = 50$ cm

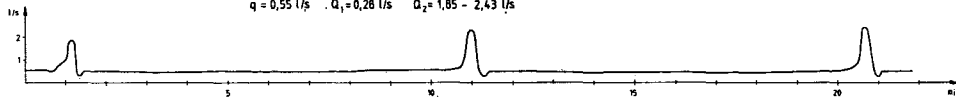
1 m



Sl. 6
Fig. 6

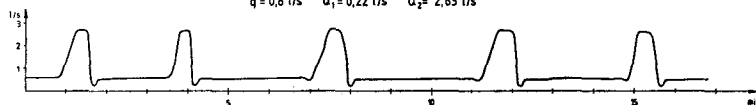
Merjenje J11 - Measuring J11

$q = 0,55$ l/s $Q_1 = 0,26$ l/s $Q_2 = 1,85 - 2,43$ l/s



Merjenje J12 - Measuring J12

$q = 0,8$ l/s $Q_1 = 0,22$ l/s $Q_2 = 2,63$ l/s



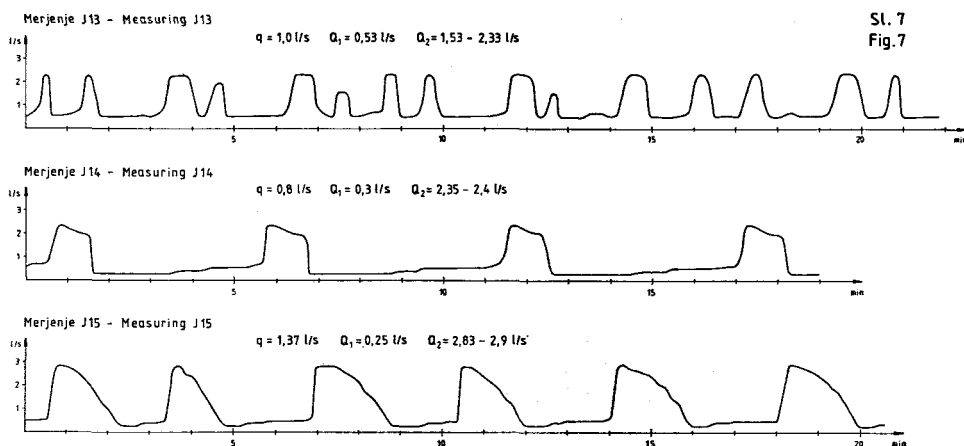
bazo in koničastim vrhom ter več manjših okroglastih mehurjev. Kasneje se koničasti mehur prične manjšati. Polna svetlina vode v padajočem delu cevi se pomika navzdol. Ravni izvirni del se polni z vodo v vsem preseku. Preko zapore meče 0,5—1 cm velike mehurčke. Polni lumen vode se prične od prehoda negativnega kolena v padajoči del cevi pomikati navzdol in pride do zagona. Voda odstrani ves zrak iz cevi šele proti koncu izbruha.

Merjenje J 12 (sl. 6): $h_n = 1,5$ cm, $h_v = 13$ —24 cm, $V = 29,3$ —57,4 l, $P = 204$ s, $T = 150$ —250 s. V primerjavi z merjenjem J 11 vodni rov vsrka manj zraka. Polna svetlina vode v vstopnem kraku negativnega kolena obstane v globini 65 cm. V padajočem delu cevi imamo večje zračne mehurje. Odsek v vrhu padajočega dela, kjer voda teče samo po dnu, je kratek. Ob izbruhu prej odstrani zrak iz cevi kot pri merjenju J 11.

Merjenje J 13 (sl. 7): $h_n = 1,5$ cm, $h_v = 4,5$ —19,5 cm, $V = 11,5$ —49,8 l, $P = 87$ s, $T = 60$ —120 s. Ob vsrkanju zraka enako kot pri merjenjih J 11 in J 12 prinese v izvir večje mehurčke. Obdobje, ko po vsrkanju nosi preko zapore 1 mm velike mehurčke, je v primerjavi s predhodnima merjenjima zelo kratko. Včasih voda ne preneha nositi v izvir večjih mehurčkov in po kratkem minimumu dobimo manjši zagon. Ostali pojavi so podobni kot pri merjenju J 12.

Merjenje J 14 (sl. 7): $h_n = 1,5$ cm, $h_v = 34$ —38 cm, $V = 82,9$ —93,1 l, $P = 330$ s, $T = 300$ —350 s. Po maksimumu se v padajočem kraku negativnega kolena polna svetlina vode ustavi 90 cm in v padcu 80 cm globoko. V izstopnem kraku kolena sega do prehoda v padajoči del cevi, tako da se pretok vode v minimumu ne prekine. V iztočnem delu teče voda po dnu cevi. Nadaljnji potek je podoben kot pri merjenju J 11. V izlivu ves maksimum izhajajo mehurčki, ker voda stalno nosi zrak v cev.

Merjenje J 15 (sl. 7): $h_n = 14,5$ —15,5 cm, $h_v = 36$ —53,5 cm, $V = 52,3$ —99,5 l, $P = 209$ s, $T = 170$ —240 s. Penjenje vode je tako močno, da prej prekine maksimum, kot bi prišlo do vsrkanja zraka. Voda stalno nosi mehurčke v cev. Po zagonu zrak v vstopnem kraku sega do kolena (100 cm globoko). V padajo-



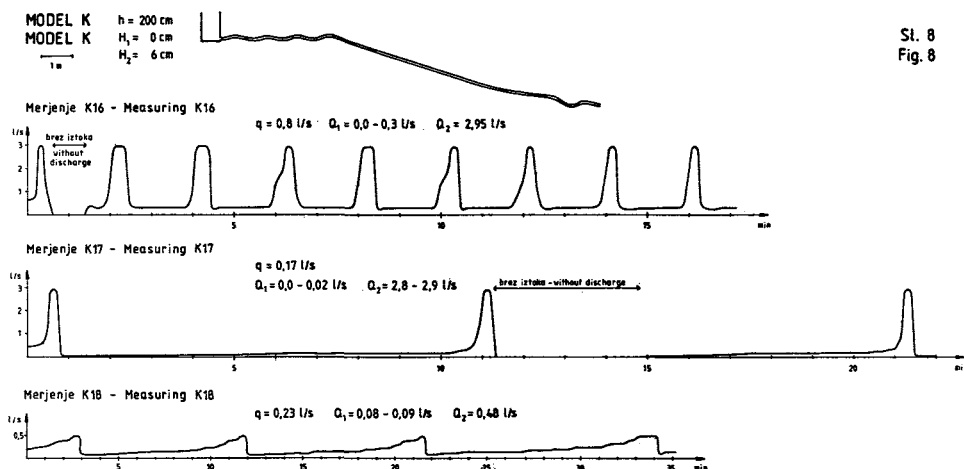
čem delu cevi se polni presek vode oblikuje v globini 75 cm. Ostalo je podobno kot pri merjenjih J 11 in J 14. V izviru stalno izhaja zrak. Pri iztoku 0,25—0,4 l/s voda nosi v izliv okrog 1 mm in v ostalem delu periode približno 1 cm velike mehurčke.

Merjenje K 16 (sl. 8): $h_n = 0,5$ cm, $h_v = 14,5$ — $22,5$ cm, $V = 35,7$ — $56,1$ l, $P = 119$ s, $T = 110$ — 130 s. Če zanemarimo periodo, ko je bil iztok prekinjen, znašajo vrednosti Q_1 od 0,25 do 0,3 l/s. Po maksimumu imamo v vseh štirih kolenih zrak. Gladina v vstopnih krakih je višja kot v izstopnih, tako da se voda prelija preko kolen. Od vrha četrtega kolena do zračne zapore teče voda samo po dnu cevi. V vstopnem kraku zapore je nivo vode 16 cm višji kot v izstopnem. Vodne gladine precej nihajo. Takoj po izbruhu meče preko zapore 5 mm velike zračne mehurčke. Nivo vode v vstopnem kraku se pomika navzdol, dokler se preko najnižjega dela zapore ne vzpostavi zračni most. O njem govorimo takrat, ko tudi v dnu zapore ni več vode v polnem preseku cevi in je ventilni učinek porušen. Istočasno s prekinjenim delovanjem zračne zapore prične potovati od prvega pozitivnega kolena polni lumen vode. Izvir doseže v približno 20 s. Včasih polna svetlina vode zastaja in iztok v začetnem delu maksimuma počasneje narašča (glej 4. in 6. izbruh). Z merjenjem nam ni uspelo zajeti drugače nič kaj redkega pojava, ko se polni lumen oblikuje samo v zgornjem delu cevi in so maksimalni iztoki okrog 40 % manjši od običajnih. Pač pa smo med prvim in drugim zagonom zabeležili redek pojav, ko po izbruhu v zapori nastane zračni most in približno 50 s nimamo iztoka.

Merjenje K 17 (sl. 8): $h_n = 0$ cm, $h_v = 19,5$ — 20 cm, $V = 49,8$ — 51 l, $P = 638$ s, $T = 610$ — 670 s. Zaradi dolgega trajanja period smo prikazali samo del merjenja. Po drugem maksimumu je v zapori ostalo premalo vode, da bi bil vzpostavljen sestalni učinek in voda okrog 210 s ni iztekala. Če to periodo zanemarimo, so minimalni iztoki znašali 0,005—0,02 l/s. Pojavi v cevi so podobni kot pri merjenju K 16. Opazovanje je lažje, ker vodne gladine ne nihajo. Šele pri iztoku 0,035 l/s oziroma 120—270 s po izbruhu voda prične nositi okrog 1 mm velike mehurčke preko zapore.

Maksimalni kritični dotok znaša približno 1,55 l/s. V področju med 1,7 in 2,5 l/s cev stalno srka zrak. Pri dotoku 2,7 l/s se voda v sodu ustali na višini 8 cm. Če smo napravo spremenili v model C (sl. 2), je minimalni kritični dotok znašal 0,6 l/s. Pri modelu K brez sestalne zapore se je minimalni kritični dotok znižal na 0,4 l/s. Kombinacija modela C in sestalne zapore je delovala do dotoka 0,3 l/s. Pri modelu K pa pade K_1 na 0,17 l/s (glej merjenje K 16).

Merjenje K 18 (sl. 8): $h_n = 0$ cm, $h_v = 12,5$ — $14,5$ cm, $V = 31,9$ — 37 l, $P = 619$ s, $T = 540$ — 765 s. Če smo dotok počasi višali z vrednosti 0,1 l/s, ki ni mogla povzročiti višinskega zaganjanja, smo pri $q = 0,23$ l/s dobili sesalno zaganjanje. Verjetno bi ga dobili tudi pri nekoliko nižjih dotokih, vendar bi bilo trajanje period predolgo za opazovanje in merjenje. Pri dotoku 0,3 l/s je sesalno zaganjanje običajno prešlo v višinsko, enkrat pa se je v zapori vzpostavil zračni most in se je višinsko zaganjanje pojavilo šele pri dotoku 1 l/s. Od dotoka 0,3 do 0,92 l/s mehanizem ni deloval. Vzporedno ko smo večali dotok, se je polni lumen vode podaljševal v padajoči del cevi. Ves zrak iz kolena je odneslo pri dotoku 0,82 l/s.



Med delovanjem voda v sodu počasi narašča in upada. Nad 5 mm velike mehurčke prične nositi preko zapore pri iztoku 0,14 l/s. Zanimivo je, da se pri iztoku 0,2 l/s gladina vode v vstopnem kraku zapore, ki se je do takrat nižala, prične višati. Kasneje začne ponovno padati in pri maksimalnem iztoku doseže koleno zapore.

RAZPRAVA

Poskusi z modeli zaganjalk so pokazali, da lahko ločimo štiri osnovne oblike zaganjanja:

Višinsko zaganjanje nastane zaradi višinske razlike med začetkom in koncem dejavnega vodnega rova. Ko se med maksimumom gladina vode v zbiralniku dovolj zniža, odtekaajoča voda vsrka zrak v vodni rov. Upor nanekrat naraste in iztok se zmanjša ali prekine. Vodna gladina v zbiralniku se prične dvigati. Statični pritisk narašča. Voda odnaša vedno več zraka iz aktivnega vodnega rova. Ko se vzpostavi sprožilni pretok, voda prične v velikih količinah odnašati zrak in sledi izbruh. Ob ugodnih pogojih se pojav periodično ponavlja. Sem prištevamo padajoče rove brez kolen (modela E, F), izvedbo vodnega rova z negativnim kolonom (model I) in vse zaprte sisteme (modeli B, D, G, J, K). Odprta natega (model C) je posebna oblika višinskega zaganjanja z že dolgo znanim načinom delovanja, pri katerem je sprožilni dejavnik vzpostavitev zadosti dolgega polnega lumna vode v padajočem kraku pozitivnega kolena. Razvlečena natega (model A) je oblika odprte natega s počasnim vzpostavljanjem polnega lumna vode v začetnem delu izbruha in počasnim odtekanjem vode iz rova po vsrkanju zraka. V to skupino lahko uvrstimo tudi Manginov mehanizem (Mangin, 1969).

Sesalno zaganjanje omogoča sesalna zapora (merjenje K 18, sl. 8). Dobimo ga v ozkem območju nad K_1 . Zaradi plitkega sifona sesalne zapore tudi

manjši pretoki mečejo mehurčke iz zaprtega sistema. Upor zraka toliko pade, da iztok preseže dotok. Statični pritisk vode v zbiralniku ima manjšo in srk sesalne zapore večjo vlogo kot pri višinskem zaganjanju. Delovanje sesalne zapore najlažje razumemo, če predpostavimo, da so upor zraka ter statični in dinamični pritisk vode nespremenljivi. Izhajanje zraka povzroča dvigovanje vode v vstopnem kraku zapore in podpritisk v sistemu se večja. Značilno za sesalno zaganjanje je počasno naraščanje iztoka. Med maksimumom se v padajočem delu rova ne vzpostavi polna svetlina vode. Po vsrkanju zraka iztok podobno kot pri višinskem zaganjanju hitro pade.

Nihalno zaganjanje srečamo pri zaprtih nategah. Opazovali smo ga pri modelu D (sl. 3). Nihanje polnih svetlin vode povzroča spreminjanje iztoka. Samostojno nastopa v določenem območju dotokov, ki so manjši od minimalnega kritičnega dotoka. Med minimumom se lahko kombinira z višinskim zaganjanjem. Zrak nastopa v vlogi prenašalca pritiskov. Energija vode ima podoben učinek kot uteži pri stenski uri in preprečuje, da bi nihanje zamrlo. Z daljšanjem aktivnega rova se povečuje trajanje periode.

Pasivno zaganjanje je samostojno (merjenje H 9, sl. 5) ali se kombinira z višinskim zaganjanjem (merjenji J 14 in J 15, sl. 7). Če ga kombiniramo z višinskim zaganjanjem, podaljša maksimume in obdobja nizkih iztokov za izbruhom. Povzroča ga slap ali dovolj izrazita brzica v zbiralniku. Razpenjena voda vnaša zrak v vodni rov. Med upadanjem vode v zbiralniku vedno več mehurčkov doseže ustje rova in količina zraka v sistemu se večja. Upor narašča. Pretok se manjša. Ko iztok postane manjši od dotoka, se prične gladina v zbiralniku dvigati. Vedno manj mehurčkov doseže vhod v rov. Končno se dovajanje zraka prekine. Statični pritisk vode se večja. Pretok narašča in voda odnaša vedno več zraka iz dejavnega rova. Nazadnje odnese vsega. Ko iztok postane večji od dotoka, prične voda v zbiralniku upadati. Ob ugodnih pogojih se pojav periodično ponavlja. Teoretično bi posebno obliko pasivnega zaganjanja lahko povzročilo sproščanje zraka ob hitrem padanju zračnega pritiska ali kakršnokoli dotekanje s plini pomešane vode.

Poleg osnovnih oblik zaganjanja moramo vsaj teoretično dopustiti sekundarno zaganjanje, ki ga omogoča povezava zbiralnika ali dejavnega dela vodnega rova s sekundarnim izvirom.

Če manjšamo dotok, dosežemo pri vseh oblikah zaganjanja stopnjo, ko delovanje ni več mogoče. Spodnjo mejo zaganjanja smo imenovali minimalni kritični dotok. Ker je območje delovanja najbolj jasno razmejeno pri višinskem zaganjanju, se bomo pri nadaljnjem izvajanju omejili nanj. Dotoke, ki so manjši od K_1 , zaganjalka prepušča, ne da bi se vodna gladina v zbiralniku toliko dvignila, da bi v dejavnem vodnem rovu dosegli sprožilni pretok. O sprožilnem pretoku govorimo takrat, ko voda prične množično odnašati zrak. Upor hitro pada in praviloma sledi izbruh. Sprožilni pretok je odvisen od preseka vodnega rova in od višine kolen. Preko plitkih negativnih kolen vodni tok lažje poriva zrak kot preko globokih. Poskusi so pokazali, da je pri zaprtih sistemih K_1 večji, če dotok višamo, kot če ga nižamo. Pojav najlažje prikažemo s sesalno zaporo. Značilno zanjo je, da tudi majhni pretoki porivajo zračne mehurčke preko nizkega negativnega kolena. Če nizko vodno stanje traja dalj časa, so izgube zraka velike. Ko se prične dotok večati, srk zapore in manjša količina

zraka omogočata nemoteno odvajanje tako velikih pretokov, ki bi pri nižanju dotoka povzročali zaganjanje. Pri tem se moramo zavedati, da vsako ponižanje rova, v katerem se vodna gladina dotika stropa, lahko deluje kot sesalna zapora.

Poskusi kažejo, da je pravilno zaganjanje bolj izjema kot pravilo. Razlike v vsrkani količini zraka, njegovem morebitnem vračanju v zbiralnik, njegovem odvajanju v izvir, premikanju večjih zračnih mas, vzpostavitvi sesalnega delovanja natege ali zračne zapore, višini vode v zbiralniku ob začetku vsrkavanja zraka in poteku odtokanja vode po vsrkanju zraka povzročajo različno velike časovne in količinske nepravilnosti zaganjanja. Posebej opozarjamo na znatno manjše maksimalne iztoke, ki jih dobimo takrat, ko se polni lumen vode vzpostavi samo v zgornjem delu padca dejavnega rova in ne v vsej njegovi dolžini.

Če zanemarimo kratke padce iztoka takoj za izbruhom, ki bi jih daljši vodni rov med sistemom in izvirom zabrisal, smo pri merjenjih J 11, J 12 in J 13 (sl. 6, 7) kljub spreminjanju dotoka dobili enake minimalne iztoke. Rezultat se ujema z nekaterimi terenskimi opazovanji (Podobnik, 1968). Kaže, da je po izbruhu podpritis v rovu, ki ga vzdržuje zračna zapora, kljub različnim količinam zraka približno enak. Obratno pa h_v in Q_2 kažeta odvisnost od količine zraka v dejavnem rovu. Manjše zračne mase voda lažje porine po padajočih delih aktivnega rova. Ker pri merjenju J 13 količina vsrkanega zraka ni tako velika kot pri J 12, sta h_v in Q_2 v povprečju manjša. Pričakovali bi, da bosta h_v in Q_2 največja pri J 11, vendar imamo pri tem merjenju velike izgube zraka zaradi dolgega trajanja minimumov. Merjenje J 13 kaže, da je bil pri izrazitih kolenih sprožilni pretok uporabljene cevi okrog 0,7 l/s, ker iztok 0,65 l/s ni vedno vodil v izbruh.

Če se dotok približuje maksimalnemu kritičnemu dotoku, ki označuje zgornjo mejo zaganjanja, postaja delovanje vedno bolj nepravilno (glej merjenji C 4 in J 13). Količine vsrkanega zraka niso enake. Druga spremenljivka je masa zraka, ki jo ob vsrkanju odnese v izvir. Približujemo se stopnji, ko po K_2 nastopi stalno srkanje zraka. Območje stalnega srkanja zraka je sorazmerno široko. Če dotok še naprej večamo, prej ali slej pridemo do stopnje, ko se gladina vode v zbiralniku prične dvigati in srkanje zraka počasi preneha. Nivo vode se ustali na višini, ki povzroča enako velik odtok, kot je dotok v zbiralnik. Za raziskave je pomembno, da je Q_2 znatno večji od K_2 . Pri merjenjih G 8 in K 17 znašata K_2 okrog 55 % vrednosti maksimalnih iztokov.

Merjenja so pokazala, da voda med minimumom ne preneha teči pri razvlečeni nategi (model A), sistemih brez kolen (modela E, F), sistemu z negativnim kolenom (model I), vseh zaprtih sistemih (modeli B, D, G, J, K), pasivnem zaganjanju (model H), sesalnem zaganjanju (merjenje K 18) in celo odprtih nategah, če se dotok približuje vrednosti K_2 (merjenje C 4). Če povzamemo, iztok pri večini poskusov ni bil prekinjen, kar se ujema s terenskimi opazovanji.

Neprekinjen iztok verjetno največkrat omogoči zračna zapora, ki zapre sistem proti izviru in po izbruhu zadržuje v njem podpritis. Srk lahko povzroča iztekanje vode iz zbiralnika tudi takrat, ko je gladina vode v njem nižja od najvišjega dela aktivnega rova. Popolnoma različen je učinek zapore v drugem delu minimuma, ko ovira odstranjevanje zraka iz mehanizma in se mora gladina v zbiralniku bolj dvigniti kot pri odprtih sistemih (primerjaj merjenje F 7

in G 8). Zaradi večjih h_v in Q_1 se povečajo Q_2 , čas trajanja maksimuma in čas trajanja minimuma.

Model K nam je pomagal odgovoriti na vrsto vprašanj, ki so se porajala med večletnim eksperimentiranjem, terenskimi opazovanji in študijem literature. Z večimi nizkimi pozitivnimi koleni smo vodi olajšali odnašanje zraka, ne da bi preveč zmanjšali njegov upor. Voda v sodu je zadosti narasla, da je prej prišlo do izbruha, kot bi njen statični pritisk zaradi naraščajočega odtoka postal premajhen. Dodali smo sesalno zaporo, ki je bistveno prispevala, da smo z nizkimi dotoki dosegli sprožilni pretok (merjenje K 17, sl. 8). S kombinacijo nizkih kolen in sesalne zapore smo K_1 znižali z 0,6 na 0,17 l/s. K_1 je 17-krat manjši od maksimalnega iztoka med delovanjem. Q_2 je od 140 do 580-krat večji od Q_1 . Model K nam daje več možnosti za razlago delovanja Lintverna ob zelo nizkem dotoku kot klasična natega (Habič, 1970). Obetaven za nadaljnja raziskovanja je model G (sl. 4), pri katerem je K_1 brez sesalne zapore znašal 0,3 l/s.

Če smo pri modelu K dotok počasi višali, smo dobili sesalno zaganjanje ob povprečnem pretoku, ki bi pri nižanju dotoka povzročal popolnoma drugačno višinsko zaganjanje. S počasnim večanjem dotoka nad območje sesalnega zaganjanja nam je uspelo doseči, da sistem ni deloval. Tudi dotok 0,8 l/s, s katerim smo izvedli večino merjenj, je brez zaganjanja tekkel skozi mehanizem. Vzporedno z večanjem dotoka se je daljšal polni lumen v padajočem delu aktivnega rova in s povečevanjem srka omogočal sprotno odtekanje vode.

Cikluse dveh vrhov smo dobili pri odprti nategi v delu merjenja C 3 (sl. 2). Merjenje J 13 (sl. 7) nakazuje, da v področjih velikih dotokov lahko nastanejo ciklusi tudi pri zaprtih sistemih, kar se sklada z merjenji Zaganjalke (Podobnik, 1968).

Odvisnosti K_1 od Q_1 med delovanjem nam ni uspelo spraviti na skupni imenovalce. Poskusi so pokazali, da odnos med dotokom in minimalnim iztokom ni pri vseh sistemih enak. Za razliko od modela J (merjenja J 11, J 12, J 13; sl. 6, 7) smo pri modelu K (merjenja K 16, K 17; sl. 8) zabeležili opaznejše spremembe minimalnih iztokov pri spreminjanju dotoka.

S poskusi smo odkrili možni vzrok za zatajitev zaganjanja. Tudi za različne načine delovanja ene in iste zaganjalke, ki jih ne moremo pojasniti s spreminjanjem dotoka pri odprti nategi, smo dobili nekaj odgovorov (Podobnik, 1968). Z ugotovitvijo, da ob istem dotoku lahko dobimo različne oblike zaganjanja, pa smo prehiteli naravo, ki bi nam prej ali slej zastavila tudi to vprašanje.

Posvetilo in zahvala

Študijo posvečam mami in očetu, ki sta kljub surovim zahtevam življenja vedno našla razumevanje za moje nepridobitvene dejavnosti.

Zahvaljujem se prof. Janki Frančeskin, prof. Olgi Šušmelj in dipl. ing. Andreju Campolunghiju za prevode. Hvala Rajku Gorjanu za izdelavo tehničnih pripomočkov, Andreju Albrehtu za risanje slik ter sinovoma Primožu in Petru za pomoč pri merjenju.

LITERATURA

- Aljačič, M., 1984: Človeška ribica v dolenskem krasu in njegovem obrobju. Naše jame, 26, 39—45.
- Bridge, J., 1923: Ebb and Flow Springs in the Ozarks. School of Mines and Metallurgy. University of Missouri. Bull. nov., 17—26.
- Habič, P., 1970: Intermitentni kraški izvir Lintvern pri Vrhniki. Acta carsologica 5, 189—203.
- Imbeaux, E., 1930: Essai d'hydrogéologie. Paris: Dunod, 146—8.
- Mangin, A., 1969: Etude hydraulique du mécanisme d'intermittence de Fontestorbes (Belesta — Ariège). Ann. Spéléol. 24, 253—99.
- Mangin, A., 1975: Constitution et fonctionnement des aquifères karstiques. Ann. Spéléol., 30, 88—92.
- Marković, Dj. J., 1963: Homoljska potajnica. Glasnik srpskog geografskog društva, 43, 117—26.
- Podobnik, R., 1968: Zaganjalka. Idrijski razgledi, 13, 64—7.
- Valvasor, V. J., 1984: Slava vojvodine Kranjske. Ljubljana: Mladinska knjiga, 94—6, 106—8.
- Verdeil, P., 1962: Les phénomènes d'intermittence dans les réseaux karstiques. Actes du deuxième congrès international de spéléologie. Instituto Italiano di Speleologia, Castellana — Grotte, 62—78.

THE EXPERIMENT RESULTS WITH EBB AND FLOW SPRING MODELS

Summary

The intermittent springs are rare and interesting karst springs exhibiting periodic variations in volume of flow. Most of the experts explain their function by siphon.

In 1689 J. V. Valvasor (1984), describing spring Lintvern near Vrhnika, for the first time explained the function of intermittent spring by siphon. The siphon theory prevailed for three centuries although all the observed phenomena could not be explained by it. The authors were disturbed by the outflow during the minimum discharge which was the case at most of intermittent springs. Temporal and quantity irregularities were explained by combination of several siphons (Darcy cit. E. Imbeaux, 1930; D. Marković, 1963), by air pumping through the walls of nook shaped channel (J. Bridge, 1923) or by air system (R. Podobnik, 1968). Podobnik has noticed different forms of emergence during the inflow changes, the appearance of cycles at greater inflows and stop of working.

In order to widen the knowledge on the ebb and flow springs and to answer to some of the questions we studied their function by the help of models for several years. The measurements were achieved in a steep gulch. The water was directed into concrete trough which once served for small power plant. Six differently thick tubes were attached to it used as siphons for the water inflow into the catchment basin. On the upper part opened metal barrel with inner diameter of 57 cm and 86 cm high was used as reservoir. An two opposite sides in the barrel two meters for water height control were fixed. The water surface in the reservoir has 25,52 dm². To the edge of the bottom the metal joining piece with useful diameter of 37 mm was installed. For different realization of water channel we used 12,3 m long plastic

tube with inner diameter of 43 mm and 6 mm thick walls. Relatively thick walls at convenient great radii of curving have prevented the tube bending to acute angles, which would diminish the permeability and disturb the experiment. At used altitude differences (h was never higher from 2 m) we did not perceive, that subpressions would squeeze the tube noticeably. In spite of thickness the walls were transparent enough to observe the moving and point of air retention. Deliberately we have chosen the tube of greater diameter to approach the natural conditions the most.

At outlet the length of jet was measured each 5, 10 or 15 seconds regarding the frequency of discharge (Q) changes. By the help of vessels of measure and stop-watch at least three times too and the average was calculated. 15 % mistake is possible. the average was calculated. The received results were graphically presented and eventual aberrations were corrected. At inflow tubes the discharge (q) was measured at least three times too and the average was calculated. 15 % mistake is possible.

List of conventional signs

H	level difference between the beginning and the end of tube gradient (h on figures)
H_1	level difference between the end of tube and the lowest part of tube
H_2	level difference between the beginning and the highest part of tube
K	released inflow
K_1	minimum critical inflow
K_2	maximum critical inflow
l	litres
min	minutes
P	average duration of periods
q	inflow, average rate of flow respectively
Q_1	minimum discharge
Q_2	maximum discharge
s	seconds
T	duration of individual periods
V	volume of water accumulated in the reservoir between the levels h_n and h_v (during one period)
h_n	the minimum depth of water in the reservoir, measured from the top of the tube hole
h_v	the maximum depth of water in the reservoir, measured from the top of the tube hole

Model A (Fig. 1) represents the extended siphon distinguished by small level difference and relatively long falling leg of siphon. On the model A we have measured A 1.

Model B (Fig. 1) is closed extended siphon. We got it so that on the model A air block was installed before the outlet presenting negative nook, siphon in true meaning of word respectively. On it the measurements B 2 were done.

Model C (Fig. 2) is opened siphon. Opened system differs from the closed one by not having the air block. On the model C the measurements C 3 and C 4 were done.

Model D (Fig. 3) presents the closed siphon. It was received by adding the air block to model C. The lowest part of the air block is 35 cm lower than the positive following nook, 5 cm lower than the tube end respectively.

Model E (Fig. 3). Models E and F are without positive or negative nooks. Without doubt they present the most simple form of intermittent spring. In spite of simplicity or just because of it such mechanism was not found in the literature and hence this is the original realization. With Model E the measurements E 6 were done.

Model F (Fig. 4) differs from the model E because of greater level difference between the beginning and the end of the tube. The measurements F 7 were done with it.

Model G (Fig. 4) was achieved by adding to model F the air block. The measurement G 8 were done with it.

Model H (Fig. 5) has no difference between the beginning and the end of the tube. It can work only if the inflow into reservoir is such that the water around the entrance to the tube is bubbling.

Model I (Fig. 5) has the negative nook just behind the reservoir. It belongs to opened systems. The measurements I 10 were done with it.

Model J (Fig. 6) was transformed from the model I. It is composed by two negative nooks just behind the reservoir and air block before the straight outflow part. The measurements J 11, J 12 and J 13 differs by inflow (q) only. While measuring J 14 and J 15 the effect of bubbling water was added to the emergence because of water fall (height emergence). It was caused by the cascade in the reservoir (passive emergence).

Model K (Fig. 8) is a special closed siphon. Instead of one high positive nook there are four low nooks high (H_2) (in the direction of flow) 5, 6, 6 in 4 cm. They are followed by constant falling piece of tube passing without interruption to pumping block. Pumping block is shallow form of air block. On the model K it is 5 cm lower only from following positive nook. The lowest part of the pumping block and the outlet of the tube have the same height. At model K the measurement K 16, K 17 and K 18 were done.

On the base of the model experiments the author divides the intermittent springs into four basic forms:

Height emergence is caused because of level difference between the beginning and the end of the active passage (H). When during the maximum the water table in the reservoir is lowered enough (h_1) the outflowing water causes aero wash in the water channel. Resistance increases instantaneously and the outflow (Q) is smaller or cut off. The water level in the reservoir starts to raise. The static pressure (h) increases. Water transports more air from the active channel. When released discharge (K) is restored the water starts to transport the air in great quantities and outburst follows. Falling channels without nook (models E and F), water channels with negative nook (model I), and all the closed systems (models B, D, G, J, K) belong to it. Opened siphon (model C) is a special form of height emergence known for a long time already where the release factor is re-establishment of enough long lumen of water in the falling leg of the positive nook. Extended siphon (model A) is a form of opened siphon with slow restoration of full water lumen in the initial part of the outburst and slow water outflow from the channel after the aero wash.

Pumping emergence is rendered possible by the pumping block (measurements K 18, Fig. 8). We got it in narrow area above the K_1 . Because of shallow siphon of pumping block smaller discharges (Q) throw bubbles from the closed system. The air pressure diminishes so much that the outflow (Q) surpasses the inflow (q). Static water pressure in the reservoir plays smaller and aero wash greater role than at height emergence. Characteristic for the pumping emergence is slow outflow (Q) increase. After aero wash the outflow (Q), similar as at height emergence, decreases quickly.

Swinging emergence is met at closed siphons. The author observed it at the model D (Fig. 3). The oscillation of full lumens of water causes the outflow (Q) change. Independently it occurs in particular inflow (q) areas, which are smaller than minimal critical inflow (K_1). During minimum it can be combined with height emergence. The air plays the role of pressure transporter. At each swinging the water flows off the

positive nook and from air block to the spring. While measuring D 5 (Fig. 3) the swinging was stopped when the outflow (Q) increased to 0,45 l/s. Period was 6 s. By prolongation of active channel the period duration is longer.

Passive emergence is independant (measurements H 9, Fig. 5) or combined with height emergence (measurements J 14, J 15; Fig. 7). It is caused either by cascade or enough expressive rapid in the reservoir. Bubbling water introduces the air into water channel. During the water decrease in the reservoir there are always more bubbles reaching the channel mouth and the air quantity in the system is increasing. The resistance increases. The discharge (Q) decreases. When the outflow (Q) becomes smaller than the inflow (q) the level (h) in the reservoir raises. Less bubbles reach the entrance of the channel. Finally the air introducing is stopped. Static pressure of water increases. Discharge (Q) increases and water transports more and more air from the active channel. When the outflow (Q) becomes greater than inflow (q) the water in the reservoir decreases. The author thinks that the special way of passive emergence could be caused by air set free at quick falling of air pressure or by any inflow of water mixed by gases.

Beside special forms of emergence the author allows the existence of secondary emergence rendering possible the connection of reservoir or active channel part with secondary spring.

The inferior degree was called minimal critical inflow (K_1). The experiments have shown that at closed systems the minimal critical inflow is greater if the discharge (q) is increased than if it is decreased.

With experiments the author stated that temporal and quantity regular emergences are more exception than rule. The irregularities occur because of changeable air properties, because of difference in restoration of pumping effect of full lumen of water in falling parts of the channel and different water outflow after the aero wash. He paid special attention to considerable smaller maximal outflows (Q_2), occurring when the whole lumen is established in the upper part of the active channel and not in its entire length.

In the inflow (q) approaches to maximal critical inflow (K_2) marking upper limit of activity, the height emergence becomes more and more irregular (measurements C 4, Fig. 2; J 13, Fig. 7). At inflow (q) increase above K_2 the area of permanent air pumping and then the area of water level increase in the reservoir was obtained. For the researches it is important that Q_2 is considerably greater than K_2 .

At most of the experiments the outflow (Q) existed during the minimum too corresponding to field observation.

The author discovered the important role of air block and its special form pumping block. The air block is negative nook, siphon in a true meaning the word respectively. The water in it acts as an air valve. After outburst it retains subpressure in the system. The sip can cause the outflow of the water from the reservoir even then when the water level in it is lower from the highest part of the active channel. In the second part of minimum the air block prevent the air moving from the mechanism and the water level in the reservoir has to be raised more than in opened systems.

At model K (Fig. 8) with the help of pumping block and formation of several low positive nooks the author succeeded to lower the minimal critical inflow (K_1) from 0,6 l/s to 0,17 l/s (measurements K 17, Fig. 8). If at the model K the inflow increases slowly it obtains the pumping emergence (measurements K 18, Fig. 8) at average discharge (Q) which would cause completely different, altitude emergences at inflow (q) decrease (similar to measurement K 17, Fig. 8). With slow inflow (q) increase above the area of pumping emergence he succeeded to attain that in the area of inflow (q) 0,3—0,92 l/s the system did not work. In the pumping block the

air bridge was established. Simultaneously parallelly to inflow (q) increase the full lumen in the falling part of the active channel was lengthened and rendered possible with sipping increase the proportionate water outflow.

The experiments have shown that the rate between the inflow (q) and minimal outflow (Q_1) is not equal at all the systems. In distinction from model J (measurements J 11, J 12, J 13; Fig. 6, 7) were at the model K (measurements K 16, K 17; Fig. 8) noticed essential changes of minimal outflow (Q_1) during inflow (q) changing.

The cycles of two peaks were received at the opened siphon in a part of measurement C 3 (Fig. 2). The author thinks that the measurements J 13 (Fig. 7) infer that in the area of great inflow (q) recurring in cycles can appear at closed systems too.

JAMSKE ANASTOMOZE V DIMNICAH

CAVE ANASTOMOSES IN DIMNICE

TADEJ SLABE

Izvleček

UDK 551.442(497.12 Dimnice)

Slabe Tadej: Jamske anastomoze v Dimnicah

V zgornji etaži jame Dimnice pri Markovščini so kot paragenetska oblika nastale v rovih, zasutih z ilovico, tudi mreže jamskih anastomoz. Preučevana sklenjena mreža anastomoznih žlebov in kanalov je vrezana v strop podvisa, nastala pa je v lokalni sifonski coni poplavno zalitega rova. Za razvoj značilnih omega anastomoznih kanalov sta pomembna zlasti zmanjšana gostota blatnega toka in povečana prevodnost kanala.

Abstract

UDC 551.442(497.12 Dimnice)

Slabe Tadej: Cave anastomoses in Dimnice

In the upper level of the cave Dimnice near Markovščina a net of cave anastomosis developed as a paragenetic form in the passages filled up by loam. The studied connected network of tubular passages or holes is sculptured in the roof of the overhang wall and developed in the local siphon zone of vadose passage. Diminished density of the mud flow and hence augmented permeability capacity of the channel are specially important for the development of characteristic omega shaped tubular passages.

Naslov — Address

Tadej SLABE, dipl. geogr., raziskovalni asistent
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2
66230 Postojna
Jugoslavija

IZHODIŠČE IN METODA PREDSTAVITVE

Pri preučevanju oblik skalne površine v kraških jamah sem našel v jami Dimnice zanimiv primer anastomozne mreže, ki je nastala v jamskem rovu, zasutem z ilovico. Značilen položaj in sklenjenost mreže ter različno izoblikovani kanali so ponujali priložnost za predstavitev, preučitev in primerjavo izsledkov z dotlej navedenimi ugotovitvami v speleološki literaturi.

Anastomožno mrežo, kot enega izmed drobnih dokazov paraspeleogenetskih procesov v Dimnicah, sem skušal predstaviti z naslednjim delovnim postopkom.

Načrt razvejanih kanalov anastomozne mreže sem izdelal s pomočjo fotografij. S sodelavci smo vzporedno fotografirali v enaki oddaljenosti ukrivljeni strop podvisa. S prekrivanjem slik celotne anastomozne mreže smo zmanjšali popačenost na robovih. S pomočjo merila smo pri izdelavi fotografije lahko ohranili velikostno razmerje z manjšimi odstopanji.

Omega prečne prereze kanalov sem posnel s pomočjo plastelina, ki sem ga skozi ozko odprtino nagnetel pravokotno na smer poteka kanala. Plastelin se je v hladnem okolju nekoliko strdil in tako se je zmanjšala popačenost pri pobiranju vzorca, ki ga je bilo treba v kanalu zasukati. Posnetki in modeli so dovolj natančni in zato so risbe odraz stvarne oblikovitosti mreže in kanalov.

Pri terenskem delu in risanju sta mi pomagala Franjo Drole in Samo Morel.

JAMSKÉ ANASTOMOZE

V skalnih rovih, zasutih z ilovico, se pojavljajo raznovrstne korozijske stropne oblike, ki jih v literaturi različno imenujejo. Najpogosteje se zanje uporablja izraz anastomoze, pa tudi stropni žleb, kanal in podobno. To nas sili, da jih uvodoma natančneje opredelimo.

Izraz anastomoze (Anastomoza, gr., zveza med dvema votlima organoma: žile, črevo, želodec s črevesjem itd.) se uporablja na različnih področjih znanstvenega dela: v petrologiji, vulkanologiji, geomorfologiji, anatomiji (R. W. Fairbridge, 1968). Tu bo govora o jamskih anastomozah, kar pomeni sistem različno povezanih, mrežastih stropnih kanalov in žlebov. Izraz kanal uporabljam za podolgem odprto cev, če je odprtina v prečnem prerezu manjša od njenega premera.

Zapisov o jamskih anastomozah je v literaturi več. Omenjen je njihov nastanek v zasutih rovih, opisane so značilne oblike, različni pa so tudi pogledi na njihov nastanek.

Jamske anastomoze so labirint majhnih kanalov na stropu rova (B. Geze, 1973) ali kompleks različnih nepravilnih in ponavljajoče povezanih kanalov (Ph.

Renault, 1968). Po I. Gamsu (1971) so oblike, nastale z delovanjem vode med ilovnato plastjo in nagnjenim stropom, meandrski žlebovi na stropu. V slovenski kraški terminologiji (1973) pa jamski žleb pomeni večji, često meandrast žleb na jamskem stropu. Tudi drugi avtorji govorijo o stropnih kanalih kot meandrizajočih kanalih večjih dimenzij, ker so nastali v predelih z večjo hidravlično prevodnostjo (S. E. Lauritzen, 1968) in od katerih se cepijo kanali po stenah rova. Po nastanku jih delijo na inicialne rove in kanale, ki so nastali na jamskem stropu po zasutju z ilovico (Ph. Renault, 1958). Ker pa so ti kanali podobno zasnovani, jih lahko uvrstimo med anastomozne kanale.

Skupine stropnih izboklin, ločenih z anastomozami, Ph. Renault (1968) imenuje stropne škraplje, J. H. Bretz pa razlikuje anastomoze in stropne čeri. Anastomozni kanali so oblike freatične cone, stropne čeri pa oblike vadozne cone (Ph. Renault, 1968).

Izraz anastomoze se uporablja tudi za kanale, ki nastanejo med plastmi kamenine. To so medplastne anastomoze, nastale ob lezikah slabo prepokanih, plastovitih apnencev. So oblike freatične cone in majhni kanali se razvijajo ob vodoravnih ali malo nagnjenih plasteh, kjer je vodni tok počasen in hidravlični tlak velik. Netopna usedlina se zaradi počasnega toka useda na dno kanalov in ščiti spodnjo plast pred raztapljanjem (R. O. Ewers, 1966) ali pa je površje plasti prekrito s filmom ilovice (Ph. Renault, 1968). V Castellani in A. Cigna (1977) omenjata pomen kondenzacijske vode v razpokah, torej nastanek medplastnih anastomoz v vadozni coni.

Med oblikami skalne površine pod ilovnatim zasutjem loči Ph. Renault (1968) tudi podolgovate izbokline ali stenske police, ki nastanejo v ravnini nekdanje sedimentacije. Ker se te oblike po legi in okolju nastanka razlikujejo od jamskih anastomoz, jih tu ne kaže obravnavati.

A. Bögli omenja delovanje zračnih mehurčkov na strop, ko se vodna gladina zniža in v rov lahko vdre zrak (Ph. Renault, 1968). Tudi madžarska avtorja izpostavljata vlogo premikajočih mehurčkov v zgornji vodni plasti pod piezometričnim nivojem (F. Cser, I. Szenthe, 1986). Martini opozarja na korozijo vode, ki kondenzira iz toplejšega zračnega toka na hladnejšem stropu, pri čemer se oblikujejo stropni žlebovi in kotlice, po Ph. Renaultu (1968) pa je kondenzna korozija mogoča le v vhodnih delih jam.

Na skalnem stropu jamskih rogov nad ilovnatim zasutjem se torej pojavljajo naslednje skupine korozijskih oblik:

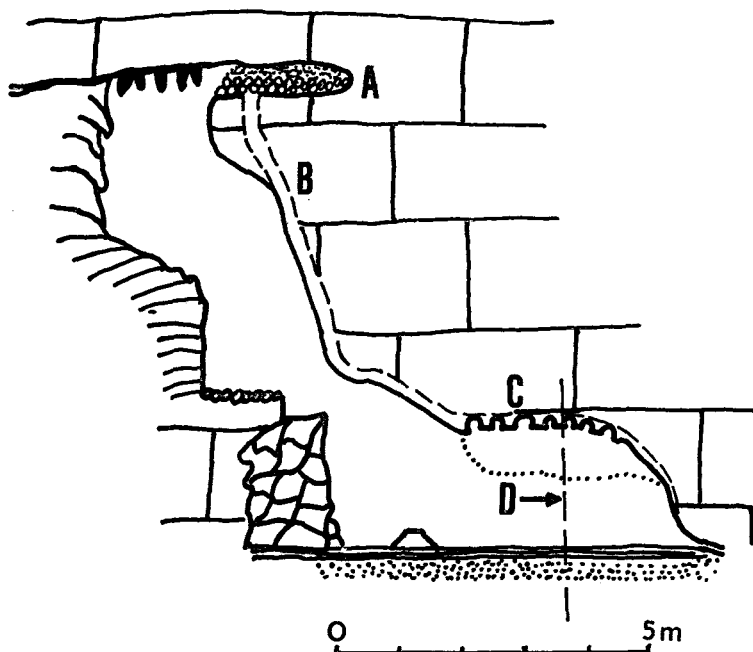
1. anastomoze ali stropni kanali in žlebovi,
2. stropne škraplje,
3. stropne čeri,
4. stropne kotlice.

Anastomoze so stropni kanali v zasutih rovih, nastali v pretočni zaliti coni in zanje je značilna rast navzgor. Nastanek anastomoznih kanalov v zaliti coni je potrjen s poskusom (S. E. Lauritzen, 1981).

PRIMER ANASTOMOZNE MREŽE V DIMNICAH

Položaj v jami

Jama Dimnice z dvojnim sekundarnim vhodom leži v Matarskem podolju pri Markovščini. Skoznjo teče potok s flišnih Brkinov, ki ponikne v slepi dolini pri Velikih Ločah. Ponor ni prehoden, pritočni rov v Dimnicah pa se približa površju na 15 m. Jamski sistem je sestavljen iz obsežnega fosilnega in aktivnega dela. Fosilna zgornja etaža je prostornejša, dolga 2000 m in preoblikovana s podori, delno zasuta s starimi flišnimi naplavinami in bogato okrašena s kapniki tako, da skalnega dna ni videti. Vodna etaža, ki meri 4000 m, je 40 m nižje (F. Malečkar, S. Morel, 1984).

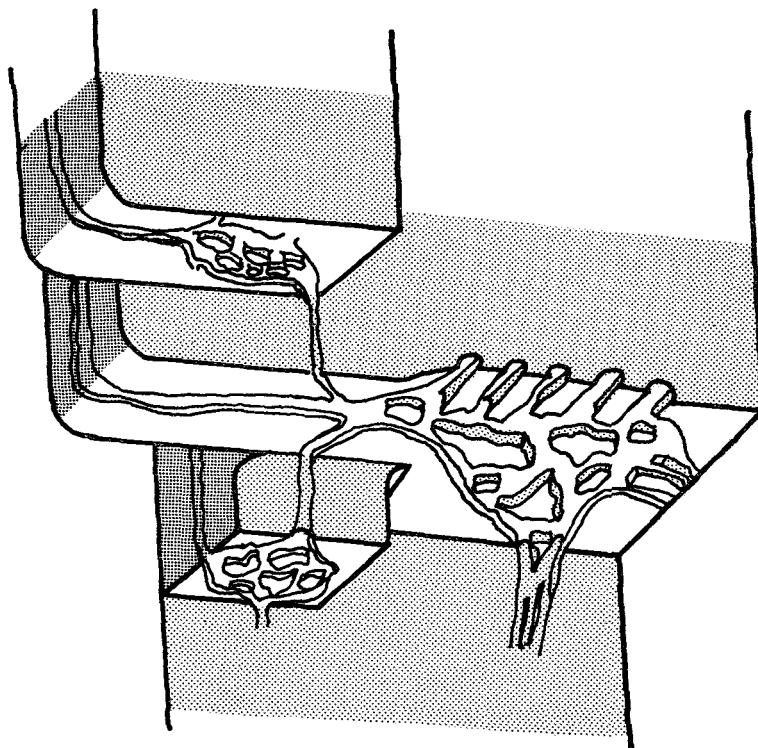


Sl. 1. Položaj anastomozne mreže v rovu,

- A — prod in ilovica na stenski polici,
- B — stenski žlebovi,
- C — anastomozna mreža,
- D — prečni prerez podvisa.

Fig. 1. The position of anastomoses net in the channel

- A — gravel and loam on walls shelf
- B — grykes on the walls
- C — anastomoses net
- D — cross-section of the overhang



Sl. 2. Shematski prikaz anastomoznih mrež na podvisih stene
Fig. 2. Schematic review of anastomoses nets on overhang walls

Zanimiv primerek anastomoz smo našli v zgornjem rovu na kraju Paletne dvorane, tik pod prehodom v Kitajsko dvorano. Anastomoznih oblik je v zgornji etaži več, poleg izrazitejših anastomoz na stropu Paletne dvorane so večji stropni kanali tudi v Dvorani kotlic.

Anastomozna mreža se nahaja na podvisu, ki je nastal na vogalu južne in jugozahodne stene, ko se je na spodnjem delu ob razpoki z naklonom 40° in leziki z naklonom 50° odlomil večji skalni blok (slika 1).

V tem delu rova prevladujejo prelomi s smerjo vzhod—zahod z naklonom 50° proti jugu in ob njih se je izoblikovala tudi spodnja etaža jamskega sistema.

Jugozahodna stena dvorane z anastomozno mrežo se previsno in stopničasto spušča proti zasutemu dnu rova. Tudi na drugih položnejših odsekih previsne stene so manjši sistemi anastomoznih žlebov, ki so nanizani vzporedno s smerjo izbranega podolžnega preseka in niso med seboj povezani (slika 2). Žlebovi so manj izraziti, široki in globoki največ dva cm.

Anastomozna mreža

Celotno vzorčno omrežje (sl. 3) je izoblikovano na 6 m dolgi in 2,5 m široki ploskvi in ga lahko razdelimo na tri enote:

- a) dotočni kanal, dolg 2 m in širok 10 cm,
- b) osrednja anastomozna mreža na ploskvi $3\text{ m} \times 1,5\text{ m}$,
- c) odtočni žlebovi dolžine 1,5 m in do 15 cm širine.

Stenski žlebovi se združujejo v dotočni kanal z naklonom 75° , po katerem je pritekel tok v podvis. Od odtočnega kanala se po strmem obodu na pregibu v podvis tik pred osrednjo anastomozno mrežo odcepijo neizraziti žlebovi, široki do 2 cm in 1 cm globoki. Na pregibu v podvis je dotočni kanal globlji, saj se vrezuje do nivoja anastomozne mreže.

Osrednja anastomozna mreža je pogojena z oblikovitostjo stene in je omejena na strop podvisa (slika 4).

Na prehodu iz pregiba v položnejši del podvisa se odtočni kanal razcepi v dva glavna kanala in vmesni splet manjših kanalov. Desni kanal poteka po križišču lezike in razpoke in je najvišji kanal v podvisu. Je polkrožne oblike, s premerom 10 cm in nekoliko širši kot globlji. Na začetku mreže se od njega odcepi kanal, ki obrobja mrežo po levi strani. Ta dva sorazmerno premočrtna kanala sta bila glavna prevodnika v omrežju.

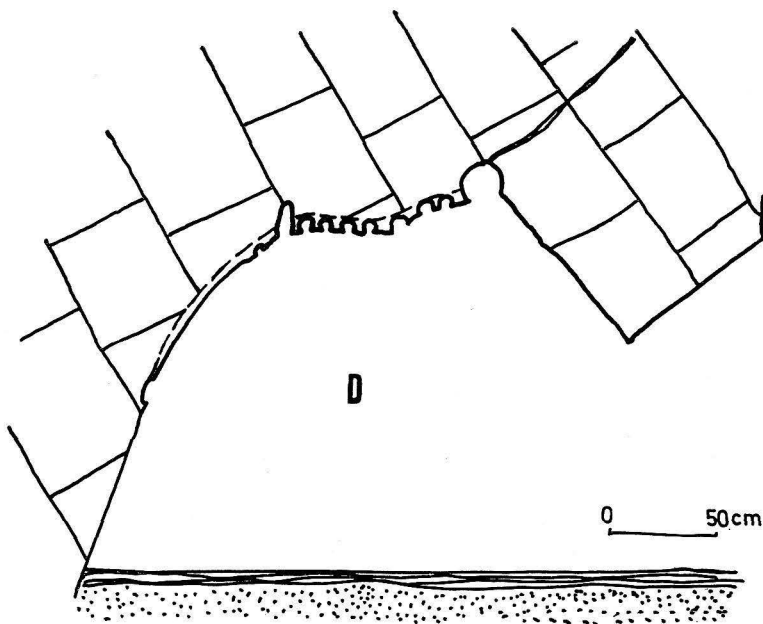
Po oblikovanosti žlebov in mreže sklepamo tudi o osnovni smeri toka. Največji del je prevzel desni glavni kanal, ki vodi naravnost v anastomozno mrežo. Večina blatnega toka je bila usmerjena na končno kotlico na pregibu iz podvisa. Del toka se je prelival v glavne odtočne žlebove, del pa je krožil v kanalih osrednje anastomozne mreže. Največji del odtoka iz mreže je bil nato usmerjen v leve odtočne žlebove.

Smeri pretoka v mreži med obema glavnima kanaloma samo po obliki kanalov ni mogoče natančno določiti. Mreža kanalov izkazuje večfazni razvoj. V prvotni mreži si je vodni tok za nadaljnje pretakanje izbral določene kanale, druge pa opustil. Tako lahko opazujemo glavno razvito mrežo kanalov in opuščene žlebove majhnih dimenzij na pomolih med kanali, nastale v začetni fazi razvoja. Kanali v tem spletu so meandrasti, večji so omega prečnih profilov, do 5 cm premera, manjši so žlebovi do 2 cm premera.

Ker so meandrasti kanali v anastomozni mreži tesno prepleteni, so med njimi nastale stropne čeri. Podobne, toda večje stropne čeri lahko opazujemo tudi v Ponvični dvorani. S poskusom je ugotovljeno, da nastane tak splet v zaliti coni v nerazpokani kamenini. Po obliki mreže sklepam, da nagnjenost podvisne ploskve ni bila odločilna za sam razvoj in potek osrednjih kanalov.

V spletu kanalov in žlebov so še posebej izrazita cepišča oziroma razdelilna križišča. Ločimo lahko dva glavna tipa. Dvokraka križišča so najbolj pogostna na zavojih meandrov. Prečni prerezi kanalov na zavojih so asimetrični, saj so zunanji obodi izrazitejši. Drugi tip so večkraka razdelilna križišča. Blatni tok je zaradi lokalno različne odpornosti kamenine, zmanjšanega vpliva razpoke ali oblikovanosti skalne površine, začel zastajati, se kopičiti in nastale so kotlice, iz katerih si je zaradi pritiska mase utrl pot v več kanalov. Najbolj izrazit je pri-





Sl. 4. Prečni prerez D podvisa z anastomozno mrežo in stenski žlebovi

Fig. 4. Cross-section of D overhang with anastomoses net and grykes on the walls

mer največje in najbolj globoke kotlice na koncu desnega glavnega kanala s premerom 50 cm in globino 20 cm.

Naklon skalne površine je bil odločilen za sistem odtoka iz podvisa. Odtočni žlebovi so nastali pod podvisom prečno in vzdolžno na nagnjeni ploskvi in so bolj premočrtni. Glavni odtok se je vršil po odtočnih žlebovih iz končne kotlice. Žlebovi so široki do 15 cm in globoki do 5 cm. Stranski odtočni žlebovi v levem boku mreže so manjših dimenzij, do 3 cm širine. Desno od osrednjega glavnega kanala ni sledov odtekanja.

Sl. 3. Osrednji del anastomozne mreže,

- 1 — žleb,
 - 2 — kanal,
 - 3 — omega kanal,
 - 4 — kotlica,
 - 5 — čer,
 - 6 — lijakasto ustje kanala,
 - 7 — ilovica v kanalu,
- puščica: smer toka

Fig. 3. Central part of anastomoses net

- 1 — gryke
 - 2 — channel
 - 3 — omega shaped channel
 - 4 — scallop
 - 5 — pendant
 - 6 — channel's runnel-like mouth
 - 7 — loam in the channel
- arrow: direction of flow

Okolje nastanka anastomozne mreže

Dosedanji izsledki omogočajo nekaj sklepov o okolju, v katerem je nastala anastomozna mreža. Ostanki ilovice in značilne oblike na stenah nam dokazujejo, da je bil rov, v katerem je nastala anastomozna mreža, poplavljen in zapolnjen z ilovico. Ilovica je ohranjena na vseh položnejših stenskih policah. Manjši stenski rovi z do 5 cm premera so delno zapolnjeni z ilovico, ostanke ilovice pa je najti tudi v anastomoznih kanalih. Preoblikovanje stene rova pod ilovnatim zasutjem pa dokazujeta tudi zaobljena skalna površina in skalni roglji.

Poplavne vode so očitno zalile zgornjo etažo Dimnic in v njej odložile ilovico. Verjetno so bili tedaj že izoblikovani tudi spodnji rovi, po katerih je odtekala poplavna voda. Ko je poplava začela upadati, je bil odtok premajhen, da bi hitro izpraznil vse poplavljene vode. Nastale so lokalno zalite cone, ki so se počasi praznile skozi spodnjo etažo. Voda je odtekala v manjših tokovih, ki so si utrli pot z vrezovanjem v kamnito steno. Nastali so stenski žlebovi na stiku z ilovico in stenski rovi, ki so prebijali izbočene dele stene.

Položaj anastomoznih mrež pod podvisi pa nas navaja k sklepu, da so tu nastali zatoki, kjer se je kopičila ilovica. Enakomeren odtok je bil zajezen, nastale so lokalne sifonske cone. Lokalno kopičenje ilovice in neprepustna ilovnata podlaga sta silila vodo, da se je vrezovala navzgor v apnenec. V poplavni coni je bilo onemogočeno erozijsko vrezovanje vode v ilovnato podlago, sproti nanašanje ilovice pa je vzdrževalo zajezeno cono. Omenjeni proces je bil možen le v sifonski coni, ko je gladina precej nad višino anastomozne mreže.

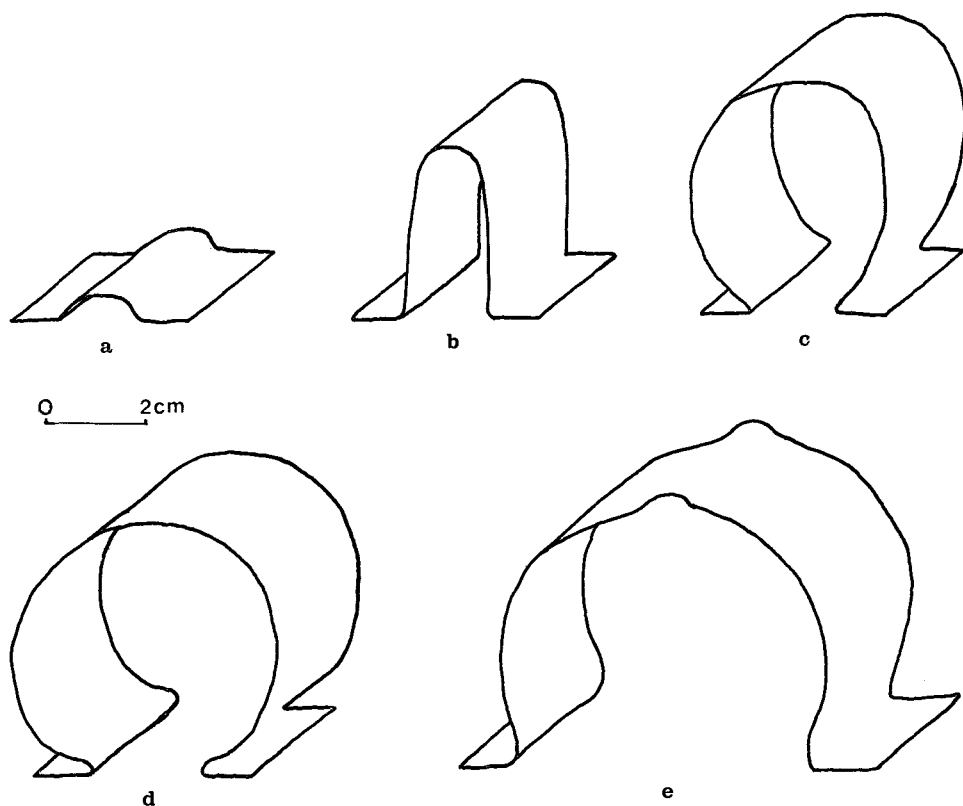
Poplavna voda je iz bližnjega flišnega zaledja pritekala v velikih količinah in hitro. Ohranila je agresivnost, kar nam dokazujejo tudi podatki o trdotah vode. I. G a m s (1962) je v slepi dolini Velike Loče nameril naslednje trdote vode: v marcu 114 mg CaCO_3/l , avgusta 139 in novembra 75. Janja Kogovšek pa je na potoku v jami po 2200 m rogov namerila februarja 168, avgusta 219 in novembra 115 mg CaCO_3 na liter. V mesecih z večjo količino padavin so večji tudi pretoki in voda ima nižjo karbonatno trdoto. Voda, ki priteka v jamo s površja skozi razpoke, ima višjo karbonatno trdoto, upada le ob povišanju pretoka in je večinoma sigotvorna (J. K o g o v š e k, 1983).

RAZVOJ ANASTOMOZNEGA KANALA

Na podlagi prečnih profilov različnih anastomoznih kanalov in preučitve okolja, v katerem so nastali, lahko nakažemo možen razvoj anastomoz (slika 5).

Zaradi različne prevodnosti in pretrnosti kamenine je razvoj kanalov v mreži različen. Posamezni kanali so se po vsej dolžini razvijali enako hitro, zato v enem kanalu ni moč opazovati različnih razvojnih stopenj.

Sprva nastane majhen meandrast žleb polkrožnega prečnega prereza (sl. 5/a). Dimenzije žleba so premajhne, da bi prevajal gostejši blatni tok. V spodnjem delu žleba se zato odlaga ilovica in nad njo se pretaka voda, ki korodira. Žleb raste navzgor (sl. 5/b). Ko je žleb dovolj visok in prepusten za blatni tok do-



Sl. 5. Shematski razvoj omega anastomoznega kanala

Fig. 5. Schematic development of omega shaped anastomoses channel

ločene gostote, se začne povečevati premer gornjega dela žleba in nastane kanal (sl. 5/c). S povečanim tokom se kanal razširi in nastane značilen, najprej bolj zaprt (sl. 5/d) in končno odprt omega profil (sl. 5/e). Odprt omega profil je značilen za večji polkrožni kanal. Najlepši primer zanj je desni glavni kanal, kjer je bil spričo največje prevodnosti opisani razvoj najhitrejši. Posledica preobrazbe kanalov omega prečnih prereзов so tudi prežrti spodnji robovi kanalov. Najprej se odprejo robovi na zgornji strani prečnih kanalov, ki so vrezani na nagnjeni steni podvisa.

Ko se pretok blatne mase v kanalu zmanjša, ilovica zapolni ves kanal in le v zgornjem delu se ohrani pretok manjše količine vode, ki oblikuje sekundarni žleb na vrhu kanala. Valoviti vzdolžni prerez anastomoznih kanalov je posledica meandriranja. Začetki kanalov, po katerih je blatni tok odtekal iz lokalnih poglobitev ali kotlic, so značilno lijakasto razširjeni. Takšni so tudi začetki odtočnih kanalov.

SKLEP

Po položaju, oblikah in velikosti ter okolju, v katerem je nastala preučevana anastomozna mreža, sem sklepal o možnem nastanku in razvoju kanalov in mreže. Anastomozna mreža je nastala v lokalni zajezeni coni znotraj zalitega rova, kjer se je po žlebovih na stiku z ilovico pretakal blatni tok. V zgornji polovici rova se je tok pretakal navzdol ob steni in zapustil stenske žlebove, v lokalnih sifonih v podvisih se je nato usmeril vodoravno in navzgor, izoblikovala se je mreža anastomoznih kanalov, po iztoku iz podvisa pa je tok odtekal spet navzdol po stenskih žlebovih.

Ilovnate naplavine in podvisna stena rova so torej v omenjenih razmerah omogočili nastanek značilnih anastomoznih oblik. Za razvoj značilnih omega anastomoznih kanalov sta pomembna zlasti zmanjšana gostota blatnega toka in povečana prevodnost kanala.

Omenjeni sklepi so torej napotek k nadaljnjemu preučevanju. S pomočjo ustreznega modela bi bilo potrebno preveriti opisani razvoj kanalov. S podrobnejšo preučitvijo anastomoznih oblik v drugih delih zgornje etaže Dimnic pa bom skušal osvetliti pomen sekundarnega preoblikovanja rogov pod vplivom poplav in ilovice v celotni speleogenezi jamskega sistema.

LITERATURA

- Castellani, V.; A. Cigna, 1977: Bedding plane anastomoses as evidence of erosion in different rock, 7th int. spel. congres, 102—105, Sheffield.
- Cser, F.; I. Szenthe, 1986: The way of cave formation by mixing corrosion, 9^o Congreso International de Espeleologia, 275—280, Barcelona.
- Ewers, R. O., 1966: Bedding plane anastomoses and Their Relation to Cavern Passages, Bull. of the Nat. Spel. Society V 28, 3, 133—141, Missouri.
- Gams, I., 1972: Železna jama (kat. št. 2678), Naše jame 13, 1971, 28—33, Ljubljana.
- Geze, B., 1973: Lexique de speleologie physique et karstologie, Annales de Speleologie, 28, 1, str. 9.
- Lauritzen, S. E., 1981: Simulation of Rock Pendants—Small Scale Experiment, Eight international congres speleology, 407—409, Georgia.
- Leksikon Cankarjeve založbe, 1976, str. 29, Ljubljana.
- Renault, P., 1958: Elements de speleomorphologie karstique, Annales de speleologie 13, 23—49.
- Renault, P., 1968: Contribution a l'etude des actions mecanique et sedimentologiques dans la speleogenes, Annales de speleologie, T 23, F 3, 529—596.
- Slovenska kraška terminologija, 1973: 1—76, Ljubljana.

CAVE ANASTOMOSES IN DIMNICE

Summary

While studying the forms of rocky surface in karst caves I've found in cave Dimnice near Markovščina very interesting example of anastomoses network, developed in the cave channel filled up by loam. Characteristic situation and connection of the network and differently shaped channels offered the opportunity for presentation, study and comparison of the results with those found in literature. Cave anastomoses are roof channels in filled up passages developed in throughflow waterfilled zone, the upward development is characteristic for them. The origin of anastomoses channels in the flood zone was inferred by the experiment of S. E. Lauritzen (1981). They can be classified into paragenetic forms developed on the rocky roof of the cave passages above the loam deposit. Ceiling grykes, solution pendants and ceiling solution cups belong to the same group of forms.

Anastomoses network is situated on the overhang rock in the upper level of Dimnice, which was flooded, proved by loam remains and characteristic transformation of the wall. When the water started to flow off the passage smaller drifts sculptured the rocky walls. Under the overhang wall the water stagnated and the loam was deposited here. Constant runoff was damed and local siphon zones appeared and on the ceiling of the overhang wall the anastomoses network developed.

The entire connected network can be divided to inflow channel, to central anastomoses net and to outflow solution flute. According to the shape of channels and net the main stream direction can be inferred. In the central net there are channels with omega cross section and abandoned flutes of smaller dimensions. On their base the possible development can be supposed. Meander channels of semicircular cross section are too small to permit the discharge of dense muddy flow. Therefore in lower part of the channel loam was deposited and the aggressive water flew above it. The runnel develops upwards. When the runnel is high enough and pervious for muddy flow of definite density the diameter of upper runnel part starts to augment and the channel originates. With increased flow the channel widens and characteristic at first closed and finally opened omega profile is developed.

We can conclude that the anastomoses network originated in local siphon zone inside the flooded passage where muddy stream was flowing through the runnels on the contact with loam. In the upper part of the passage the stream was flowing downwards near the wall cutting wall solution runnels, in local siphons in the overhang walls it was directed horizontally and upwards, forming a network of anastomoses tubular passages; when leaving the overhang wall runnels originated again. Loam deposits and overhang wall in the passage rendered possible the origin of anastomoses channels in the above mentioned conditions. For the development of characteristic omega anastomoses channels diminished density of muddy flow and augmented passage permeability capacity are specially important. By the help of suitable model the described development of anastomoses channels have to be checked.

YU ISSN 0583-6050

ACTA CARSOLOGICA
KRASOSLOVNI ZBORNIK










XVI
1987

Izdala
Slovenska akademija znanosti in umetnosti
v Ljubljani

Natisnila
Tiskarna »Jože Moškrič«
v Ljubljani
1987

Naklada 1200 izvodov

LEGENDA:

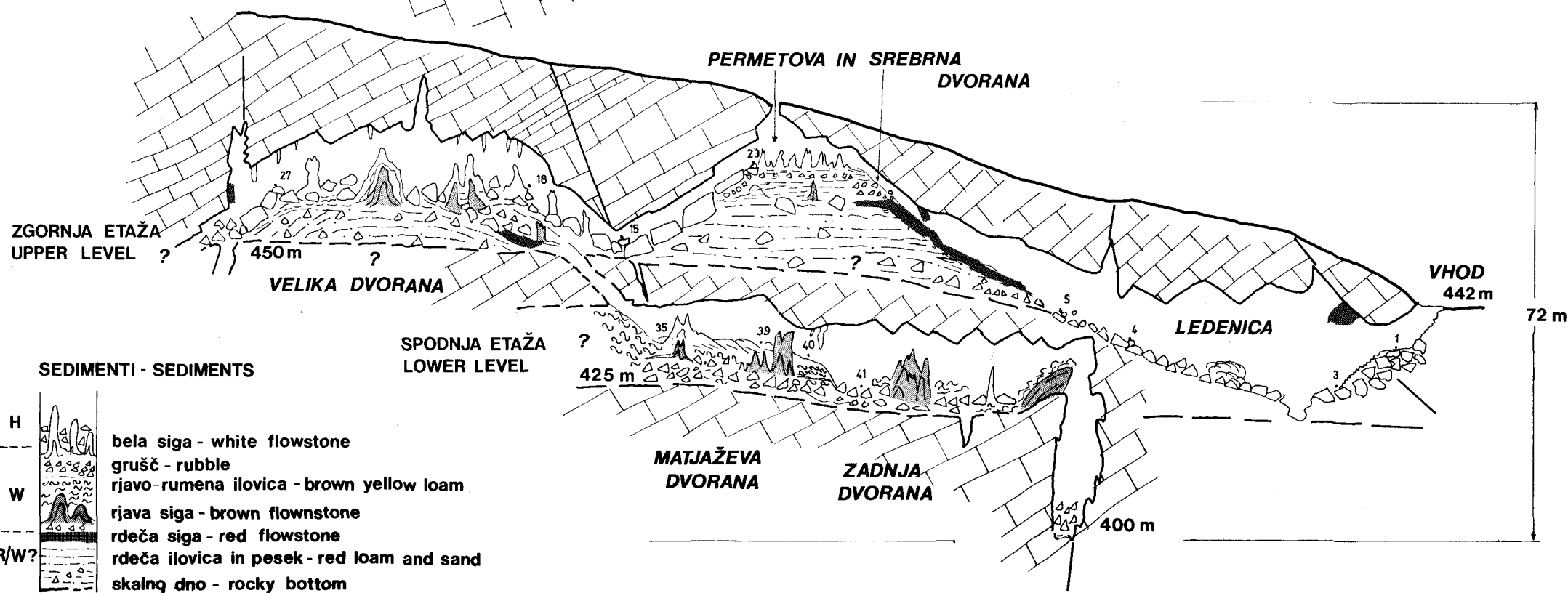
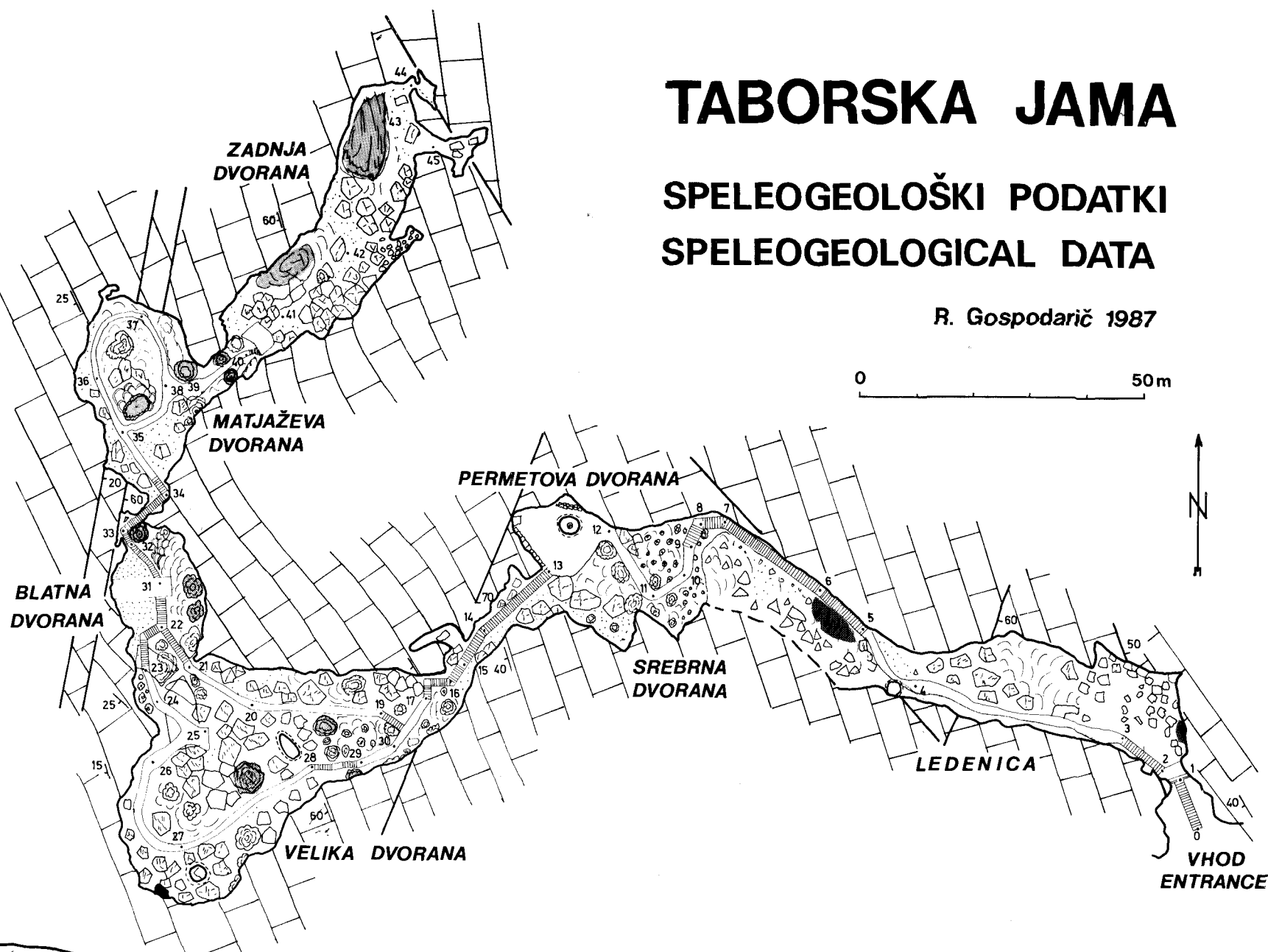
-  siga - generacije
flowstone - generations
-  ilovica - loam
-  podorne skale
collapse rocks
-  kamin - chimney
-  J₁ apnenec
limestone
-  prelomi - faults
-  smer in vpad skladov
strike and dep of beds
-  •12 merilne točke
survey points
-  steza - trail

TABORSKA JAMA

SPELEOGEOLOŠKI PODATKI SPELEOGEOLOGICAL DATA

R. Gospodarič 1987

0 50 m



Sl. 6. Taborska jama, speleološki podatki (priloga)
Fig. 6. Taborska jama, speleological data (in annex)

Priloga 1. Ponorna jama Golobina pri Danah, tloris
Annex 1. Ponor cave Golobina near Dane, ground-plan

