

Sledilni poizkus v Jezeru v Ledvici, dolina Triglavskih jezer

Tracing experiment in the Ledvica Lake in the Triglav Lakes Valley

Janko URBANC¹ & Anton BRANCELJ²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

²Nacionalni inštitut za biologijo Ljubljana, Večna pot 111, 1000 Ljubljana

Ključne besede: Triglavska jezera, hidrogeologija, sledilni poizkus, uranin

Key words: Triglav lakes, hydrogeology, tracing experiment, uranine

Kratka vsebina

Opisan je sledilni poizkus, ki je v juniju 1999 potekal na območju Triglavskih jezer. Sledilo uranin je bilo injicirano v Jezero v Ledvici. Na osnovi sprememb koncentracije barvila je bilo možno oceniti hitrost obnavljanja vode v jezeru. S sledilnim poizkusom je bila dokazana tudi hidravlična povezava z nižje ležečimi jezери oziroma izviri: izvirov Močivec, Dvojn timerom, izvirov pod Rušnato glavo ter Savica.

Abstract

The paper presents the tracing experiment which was carried out in June 1999 in the area of the Triglav lakes. Uranine was injected into the Ledvica lake. Changes in tracer concentration were used to estimate the recharge rate of the water in the lake. The tracing experiment also showed a hydraulic connection with the lower-located lakes and springs: Močivec, Dvojno jezero, the spring under Rušnata glava and the Savica.

Uvod

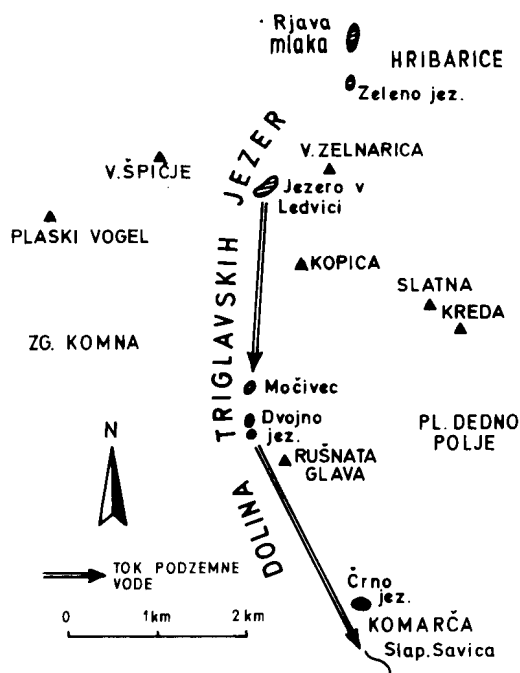
Območje Triglavskih jezer je zgrajeno v glavnem iz triasn timer in jurskih karbonatnih kamnin (G r i m š i č a r, 1971, R a m o v š, 1974; B u s e r, 1986; J u r k o v š e k, 1986). Jurske kamnine so zaradi lapornih vložkov dokaj neprepustne in so gotovo v veliki meri vzrok za nastanek Triglavskih jezer. V okolici najdemo tudi nekaj pleistocenskih sedimentov ter holocenskega grušča.

Namen naše raziskave je bila opredelitev dinamike vode v Jezeru v Ledvici (imenovanem tudi četrtro triglavsko jezero) ter ugotavljanje hidravličnih povezav med posameznimi jezeri in slapom Savica. Zaradi tega

smo se odločili izvesti sledilni poizkus na območju Jezera v Ledvici, ki je največje od Triglavskih jezer. Jezero sodi med naša najbolj čista jezera. Prosojnost vode je skozi vse leto enaka globini jezera (14 m), kar ga uvršča tudi med najbolj prosojna jezera v Sloveniji (B r a n c e l j in sod., 1997).

Potek in rezultati sledilnega poizkusa v Jezeru v Ledvici

Sledilni poizkus se je pričel 9.6.1999. Kot sledilo smo uporabili 6 kg uranina, ki smo ga injicirali v skrajno severo-vzhodnem delu jezera. Sledilo smo injicirali v ravni liniji



Sl. 1. Območje Triglavskih jezer
Fig. 1. Triglav Lakes area

preko celotne širine jezera (slika 2). Zaradi podzemnih tokov se je barvilo širilo v obliki intenzivneje obarvanih pasov najhitreje v osrednjem delu jezera. Barva je vzolž jezera potovala dva dni, tako da je bila 11. 6. jezerska voda dokaj enakomerno obarvana. Zatem smo opazovali dokaj hitro razbarvanje jezera; že 14. 6. barva s prostim očesom praktično ni bila več zaznavna.

Za opazovanje sprememb koncentracije barvila v jezeru smo izbrali profil s štirimi meritvenimi točkami, na katerih smo vzorčevali po celotni globini vodnega stolpca (slika 2). Globinske vzorce jezerske vode smo odvezemali v intervalih po 3 m. Na ta način smo z vzorčevanjem zajeli velik del volumna jezera.

Spremembe koncentracij barvila na posameznih merilnih točkah so prikazane na slikah 3-6. Grafi prikazujejo spremembe koncentracij v obdobju od 13. - 15. 6. 1999.

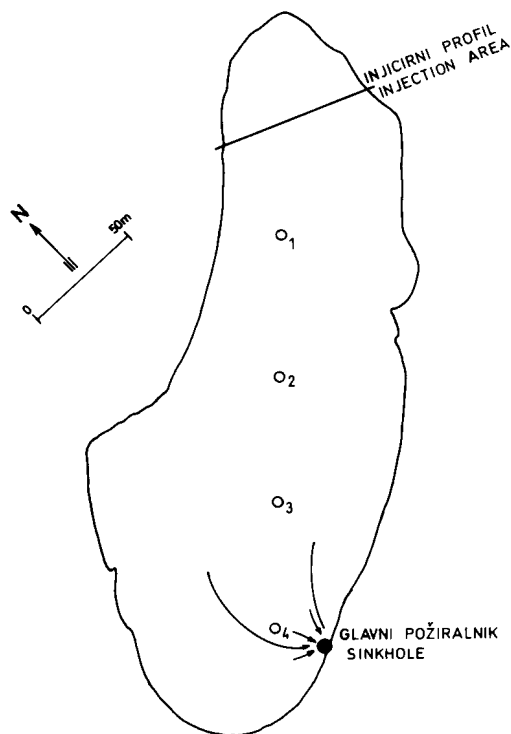
Iz slike 3 je razvidno, da je glavni transport sledila v NE delu jezera potekal v srednjem delu vodnega stolpca na globini okoli 3 m. Slika kaže zelo hitro upadanje kon-

centracij sledila, kar je posledica velikega dotoka sveže vode v jezero zaradi dokaj intenzivnih padavin, ki so se pojavljale pred poizkusom in tudi v času sledilnega poizkusa.

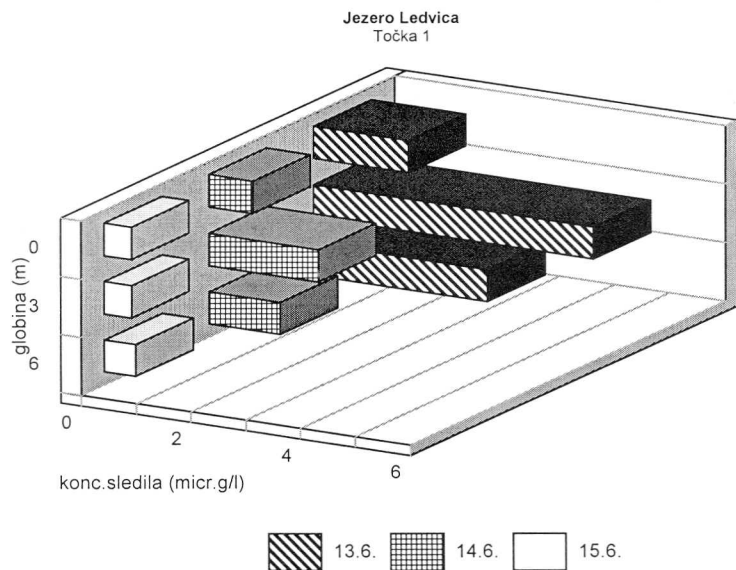
V točki 2 (slika 4) se je sledilo spustilo proti dnu jezera. Tudi v tej točki je opazno hitro zniževanje koncentracij sledila. Z vsakim dnevom beležimo približno 50 % znižanje koncentracije v posamezni točki glede na predhodni dan.

Merska točka 3 leži v najglobljem predelu jezera, kjer jezero doseže globino 14 m. Slika 5 kaže, da je glavnina barvila točko prešla na globini okoli 9 m. Očitno najgloblji del jezera predstavlja žep dokaj stagnantne vode izven glavnega toka jezerske vode.

Meritve temperature vode, ki so bile opravljene neposredno pred injiciranjem so pokazale, da je bila temperatura vode na površini 7.4 °C in je enakomerno upadala

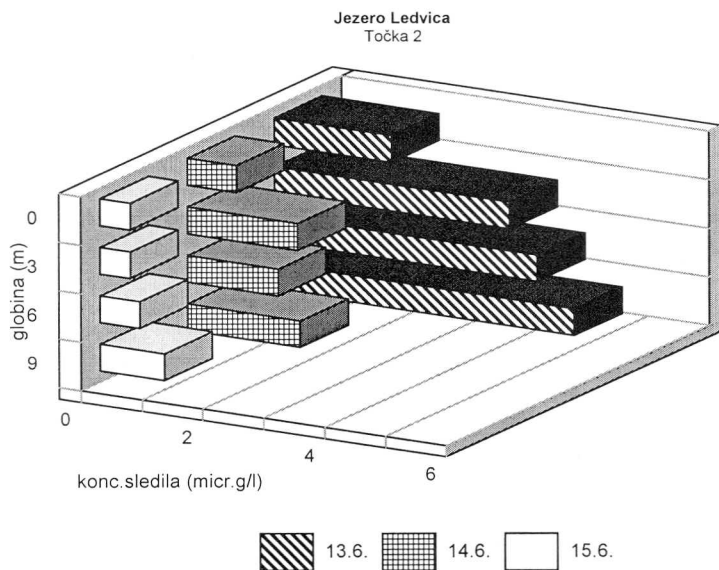


Sl. 2. Območje injiciranja sledila ter vzorčevalne točke na Jezeru v Ledvici
Fig. 2. Tracer injection area and sampling points in the Ledvica lake.



Sl. 3. Spremembe koncentracije uranina na opazovalnem mestu št. 1 v Jezeru v Ledvici od 13. - 15.6.1999

Fig. 3. Changes in uranine concentration at observation point No. 1 in the Ledvica lake from 13th to 15th June 1999

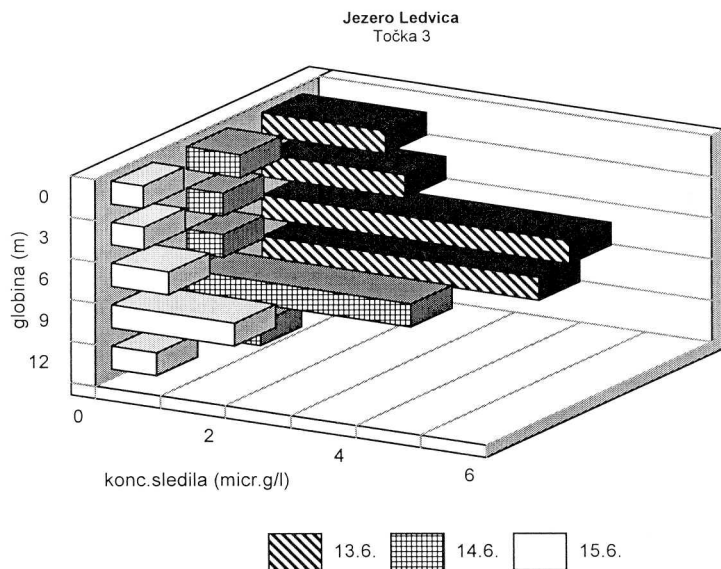


Sl. 4. Spremembe koncentracije uranina na opazovalnem mestu št. 2 v Jezeru v Ledvici od 13. - 15.6.1999

Fig. 4. Changes in uranine concentration at observation point No. 2 in the Ledvica lake from 13th to 15th June 1999

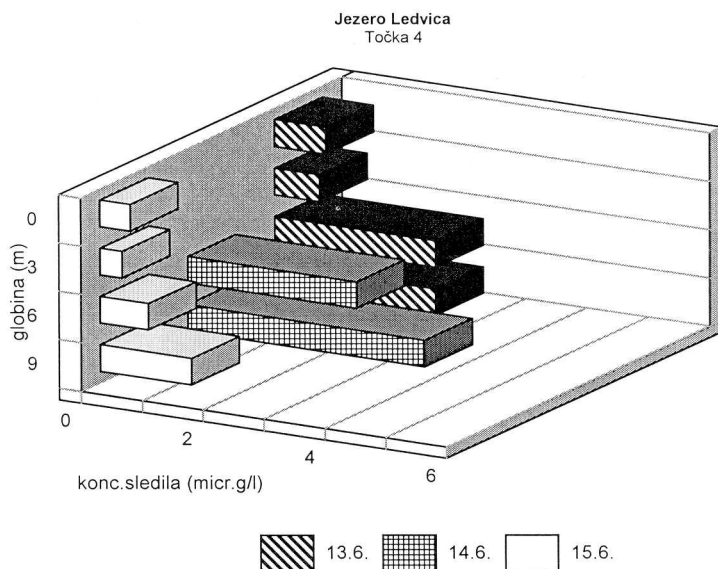
do temperature 4.2°C na globini 8 m, nato pa smo izmerili enako temperaturo vse do dna. Vrednosti meritev električne prevodnosti in koncentracije kisika so bile izenačene od površine do globine 11 m (el. prevodnost približno $145\ \mu\text{S cm}^{-1}$; kisik približno $11.5\ \text{mg l}^{-1}$). Šele pod to globino so vrednosti električne prevodnosti močno poskočile

(na $308\ \mu\text{S cm}^{-1}$ na dnu), medtem ko so vrednosti koncentracije kisika na dnu upadle na $1.4\ \text{mg l}^{-1}$). To kaže, da je bil vodni stolpec do globine 11 m dokaj enakomerno premešan, kar je omogočalo tudi enakomerno porazdelitev barvila. Pod globino 11 m pa je ostal žep nepremešane vode, ki je bil tam še od zime.



Sl. 5. Spremembe koncentracije uranina na opazovalnem mestu št. 3 v Jezeru v Ledvici od 13. - 15.6.1999

Fig. 5. Changes in uranine concentration at observation point No. 3 in the Ledvica lake from 13th to 15th June 1999



Sl. 6. Spremembe koncentracije uranina na opazovalnem mestu št. 4 v Jezeru v Ledvici od 13. - 15.6.1999

Fig. 6. Changes in uranine concentration at observation point No. 4 in the Ledvica lake from 13th to 15th June 1999

V točki 4 (slika 6) smo najvišjo koncentracijo barvila našli zopet pri dnu, približno na 9 m globine. Od te točke naprej je bilo možno opazovati obarvane vodne pasove, ki so izginjali v požiralniku na južni obali jezera (slika 2). Tega požiralnika G a m s (1962) v pregledu slovenskih gorskih jezer sicer ne navaja, čeprav je zelo očiten.

Ob poznavanju volumna jezera ter hitrosti zmanjševanja koncentracije sledila je možna ocena pretoka vode skozi jezero. V izračunu smo upoštevali povprečno koncentracijo sledila, ki je izračunana iz podatkov na vseh merilnih mestih.

Datum	Povp. koncentracija
13.6.1999	2,9 µg l ⁻¹
14.6.1999	1,5 µg l ⁻¹
15.6.1999	0,7 µg l ⁻¹

Razredčenje sledila v jezerski vodi zaradi dotoka nove vode lahko izrazimo z enačbo masne bilance:

$C_{sk} \cdot V_{sk} = C_0 \cdot V_0 + C_s \cdot V_s$ (1)

- C_{sk} ... koncentracija sledila v jezerski vodi po mešanju z novo doteklo (svežo) vodo;
- V_{sk} ... skupni volumen vode v jezeru;
- C_0 ... koncentracija sledila v komponenti jezerske vode pred mešanjem s svežo vodo (stara voda);
- V_0 ... volumski delež stare vode;
- C_s ... koncentracija sledila v sveži vodi (privzamemo $C_s = 0$);
- V_s ... volumski delež sveže vode.

Iz enačbe 1 izpeljemo volumski delež novo dotekle (sveže) vode:

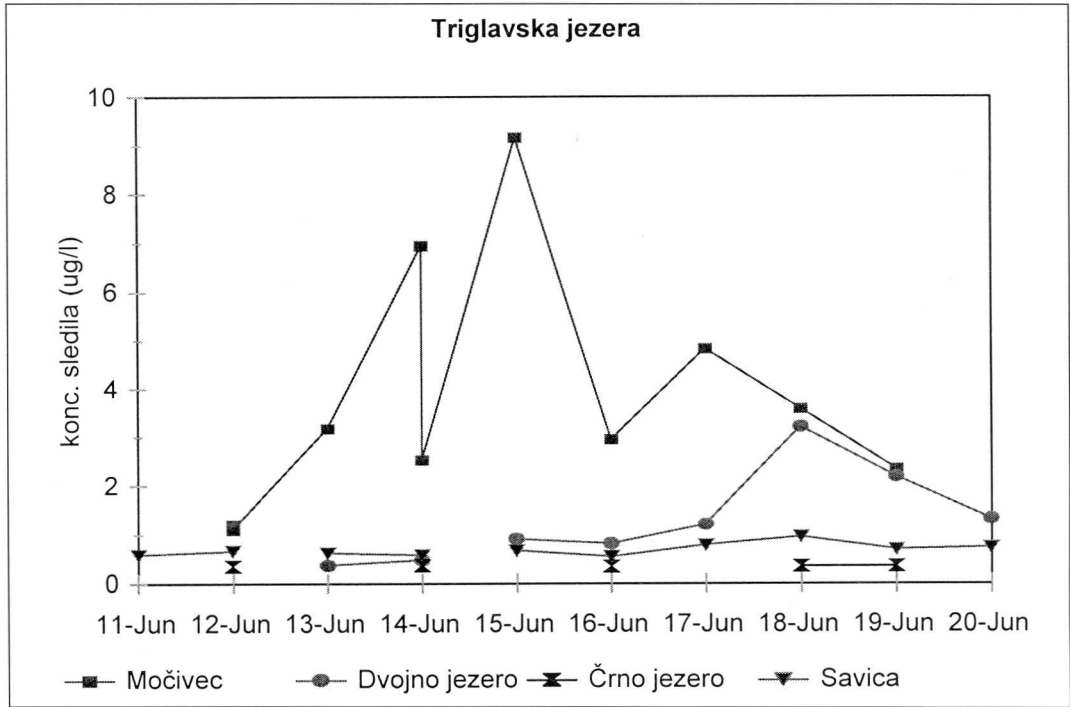
$V_s = V_{sk} - \frac{V_{sk} \cdot C_{sk}}{C_0}$ (2)

V izračunu smo privzeli volumen jezera 135.000 m³ (izračunano na podlagi podatkov G a m s a (1962). Izračun je pokazal, da je med 13. in 14. junijem v jezero priteklo približno 63.000 m³ sveže vode, med 14. in 15. junijem pa 71.000 m³. Dotok nove vode v jezero je v opazovanem obdobju tako znašal od 0,7 m³ s⁻¹ do 0,8 m³ s⁻¹. Rezultati torej kažejo, da se ob močnejših padavinah v jezeru vsakodnevno zamenja praktično polovica stare jezerske vode s svežo vodo.

Pojavljanje sledila v nizvodnih jezerih oziroma izvirih

Poleg vzorčevanja v Jezeru v Ledvici smo pojave sledila spremljali tudi na nizvodnih jezerih oziroma izvirih. Pojavljanje sledila v nižjih jezerih prikazuje slika 7.

Sledilo se je najizraziteje pojavilo v izviru Močivec nad kočo pri Sedmerih jezerih.



Sl. 7. Pojavljanje sledila v opazovanih Triglavskih jezerih ter v slapu Savica.
Fig. 7. Tracer occurrence in the observed Triglav lakes and in the Savica fall.

Koncentracija sledila je precej nihala in je 15. junija dosegla preko $9 \mu\text{g l}^{-1}$.

V Dvojnem jezeru se je sledilo pojavilo 15. junija, višek pa je bil dosežen 18. junija. Zanimivo je, da se je kljub le okoli 100-meterski razdalji med jezeroma, največja koncentracija sledila pojavila tri dni kasneje kot v Močivcu. Iz tega lahko sklepamo, da hidravlična povezava med Ledvico in Dvojnim jezerom ni tako neposredna, kot je povezava med Ledvico in Močivcem.

Podzemeljske povezave med Jezerom v Ledvici ter Močivcem in Dvojnim jezerom, ki smo jih potrdili z barvanjem vode, se ne skladajo povsem z vrstno sestavo zooplanktona v vseh treh jezerih. Jezero v Ledvici ima v poznem poletju zelo močno populacijo vodnih bolh (vrsta *Daphnia longispina*). V primeru neposredne povezave z obema nizvodnima jezeroma bi pričakovali pojavljanje te vrste vsaj občasno tudi v obeh jezerih. Kljub intenzivnemu vzorčevanju skozi več let in ob različnih letnih časih ne v Močivcu ne v Dvojnem jezeru še nismo našli osebkov te vrste (B r a n c e l j in sod., 1997). Prav tako še nismo našli trajnih jajc te vrste, ki so še posebej odporna na temperaturne in tudi fizične vplive iz okolja in bi zato morala prenesti tudi krajši transport v podzemlju. Da lahko odrasli osebki te vrste preživijo transport v podzemlju tudi na večje razdalje, smo lahko opazovali pri enem od drugih gorskih jezer (B r a n c e l j, lastna opazovanja).

V Črnem jezeru sledila nismo zaznali. Jezero očitno leži povsem izven glavnega toka podzemne vode, ki doteka z osrednjega ter zgornjega dela Doline triglavskih jezer.

Rahel pojav sledila smo zaznali tudi v slapu Savica. Največja koncentracija uranina se je pojavila 18. junija, vendar ni presegla $1 \mu\text{g l}^{-1}$. Znižanje koncentracij sledila je seveda posledica razredčenja zaradi velikih količin podzemne vode, ki se z različnih predelov stekajo na to območje. V vodi Savice smo zabeležili višje ozadje koncentracije sledila kot pri ostalih opazovanih vodah. Povišano ozadje si razlagamo s predhodnimi sledilnimi poizkusi, ki so bili izvedeni v različnih delih Triglavskega pogorja (T r i š i č in sod. 1997).

Tracing experiment in the Ledvica Lake in the Triglav Lakes Valley

Summary

The Triglav lakes area is built mainly of Triassic and Jurassic carbonate rocks (R a m o v š, 1974, B u s e r, 1986, J u r k o v š e k, 1986). Due to their marl component, the Jurassic rocks are rather impermeable and played a great role in the formation of the Triglav lakes. Some Pleistocene sediments and Holocene gravel can also be found in this area.

The research was aimed at defining water dynamics in the Ledvica lake (also named the fourth Triglav lake) and finding hydraulic connections between individual lakes and the Savica fall. Therefore the tracing experiment was conducted in the area of the Ledvica Lake, the biggest of the Triglav lakes.

The tracer was injected on 9.6.1999. 6 kg of uranine was injected in the north-eastern part of the lake in a straight line over the entire width of the lake (Fig.1). Currents caused the tracer to spread at the fastest rate in the central part of the lake in the form of strongly coloured strips. The dye took two days to move along the lake, so that the water was relatively evenly coloured on June 11. Then the colour disappeared in a relatively short time: already on 14th June the colour was no longer observed with the naked eye.

To observe the changes in tracer concentration, a profile with four measuring points was selected on the lake. Samples were taken on these points along the entire depth of the water column (Figure 2). Samples of lake water were taken at depth intervals of 3 m. In this way, a large part of the lake's volume was sampled. The changes in dye concentration at different sampling points are shown in Figures 3-6.

Knowing the lake's volume and the rate of tracer concentration decrease enables the assessment of water flow through the lake (equation 2). The calculation is based on the average tracer concentration obtained from data at all sampling points.

The calculation is based on the adopted lake volume of $135,000 \text{ m}^3$, calculated from data by G a m s (1962). It was found that

approximately 63,000 m³ of new water flowed into the lake from 13th to 14th June, and 71,000 m³ from 14th to 15th June. Thus the flow of new water into the lake was between 0,7 and 0.8 m³s⁻¹ during the observation period. It can be concluded that during intense precipitation, half of the lake water is substituted by new water every day.

Beside taking samples from the Ledvica lake, the occurrence of tracer was monitored also in lower-located lakes and springs. These results are given in Figure 7.

The most intense appearance of the tracer was observed in the Močivec spring above the mountain hut at the Sedmera jezera. Tracer concentration fluctuated considerably and reached over 9 µg l⁻¹ on 15th June.

The tracer occurred in Dvojno jezero on June 15, and the peak was reached on 18th June. It is interesting that in spite of only about 100-meter distance, the highest concentration of the tracer was found three days later than in the Močivec. This fact leads to the conclusion that the connection between Ledvica and Dvojno jezero is not as direct as between Ledvica and the Močivec.

No tracer was observed in Črno jezero. The lake is apparently located completely outside the main path of groundwater flow from the central and upper part of the Triglav lakes' valley.

A scarce occurrence of the tracer was observed also in the Savica fall. The concen-

tration reached its peak on 18th June, but did not exceed 1 µg l⁻¹. The lowering of tracer concentrations is a consequence of dilution due to the large quantities of groundwater flowing into this area. A higher background of tracer concentration was found in the Savica water than in other waters. This can be explained by previous tracing experiments which were carried out in different parts of the Triglav mountains (Trišič et al., 1997).

Literatura

- Brancelj, A., Šiško, M. & Kosi, G. 1997: Distribution of algae and crustacea (Copepoda & Cladocera) in mountain lakes in Slovenia with different trophic levels. - *Periodicum Biologorum*, 99(1), 87-96.
- Busek, S. 1986: Osnovna geološka karta SFRJ - list Tolmin in Videm 1: 100.000. - Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Gams, I. 1962: Visokogorska jezera v Sloveniji. - *Geografski zbornik* 17, 197-261, Ljubljana.
- Grimšičar, A. 1961: O geoloških razmerah med Bohinjem in Triglavskimi jezeri. - *Geologija* 7, 283-285, Ljubljana.
- Jurkovišek, B. 1986: Osnovna geološka karta SFRJ - list Beljak in Ponteba 1:100.000. - Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Ramovš, A. 1974: Geološki in paleontološki pregled Doline Triglavskih jezer. - *Proteus* 36, 394-397, Ljubljana.
- Trišič, N., Bat, M., Polajnar, J. & Prištov, J. 1997: Water balance investigations in the Bohinj region. - V: Kranjc (ur.), *Tracer Hydrology* 97, 295-298, Balkema, Rotterdam.