

Lastnosti epikraške cone kraškega vodonosnika in njen pomen v kraški hidrogeologiji

Epikarst zone of a karst aquifer – its characteristics and importance in karst hydrogeology

Branka TRČEK

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

Ključne besede: kraški vodonosnik, nezasičena cona, epikraška cona, hidrogeološke in hidravlične lastnosti

Key words: karst aquifer, unsaturated zone, epikarst zone, hydrogeologic and hydraulic properties

Kratka vsebina

Predmet raziskave je epikraška cona, ki je pomemben del kraškega vodonosnika, še posebej s stališča hidrodinamike. Študijsko izhodišče je hipoteza, ki predpostavlja, da pomemben del napajanja kraškega vodonosnika izvira hitro in v koncentrirani obliki iz epikraške cone. Hipoteza je argumentirana na podlagi rezultatov študije, ki se nanaša na kraški vodonosnik v zaledju izvira Hubelj, in rezultatov številnih predhodnih raziskav širom po svetu. Sinteza vseh podatkov je omogočila opis najpomembnejših lastnosti epikraške cone, njene vloge pri hidravličnem obnašanju kraškega vodonosnika ter posledic, ki iz tega izhajajo.

Abstract

The karst aquifer's epikarst zone is a subject of the research. It is an important part of the aquifer, particularly from a hydrodynamic point of view. The study background is a hypothesis supposing that an important part of a karst aquifer's recharge arrives, rapidly and in concentrated form, from the epikarst zone. The hypothesis is argued on basis of results of the study referring to the karst aquifer in the catchment area of Hubelj spring and results of many previous researches from all over the world. The synthesis of all data produces information on main characteristics of the epikarst zone, its role in aquifer's hydraulic behaviour and the resulting consequences.

UVOD

V Sloveniji in drugje po svetu postaja podzemna voda kraških vodonosnikov vse pogostejši vir za vodooskrbo prebivalcev. S tem postaja vse pomembnejši tudi študij mehanizmov toka in prenosa snovi v kraškem vodonosniku. Le-ta je bil tudi predmet mojega raziskovalnega dela, ki sem ga opravila v

okviru programa mladih raziskovalcev. Pro-
učevala sem obnašanje kraškega vodonos-
nika v zaledju izvira Hubelj (Trček, 2001).
Rezultati študije so signifikantni in v skladu
z aktualnimi svetovnimi raziskovalnimi tren-
di. Potrjujejo hipotezo, ki predpostavlja, da
pomemben del napajanja kraškega vodonos-
nika izhaja hitro in v koncentrirani obliki iz
epikraške cone. Prav ta hipoteza je glavna

tema članka. Poudarjena je vloga epikraške zone pri hidravličnem obnašanju vodonosnika.

LASTNOSTI EPIKRAŠKE CONE

Študijska problematika temelji na modelu kraškega vodonosnika, ki je razdeljen na tri dele: 1) zgornjo nezasičeno cono, ki vključuje vodo uskladiščeno v a) tleh in v b) epikraški coni, 2) spodnjo nezasičeno cono, ki vključuje cono uskladiščenja a) v kraških kanalih in večjih razpokah ter b) v okoliških blokih kamnin ter 3) zasičeno cono, ki prav tako vključuje cono uskladiščenja a) v kraških kanalih in večjih razpokah ter b) v okoliških blokih kamnin (Trček, 2001; Trček in Krothe, 2002).

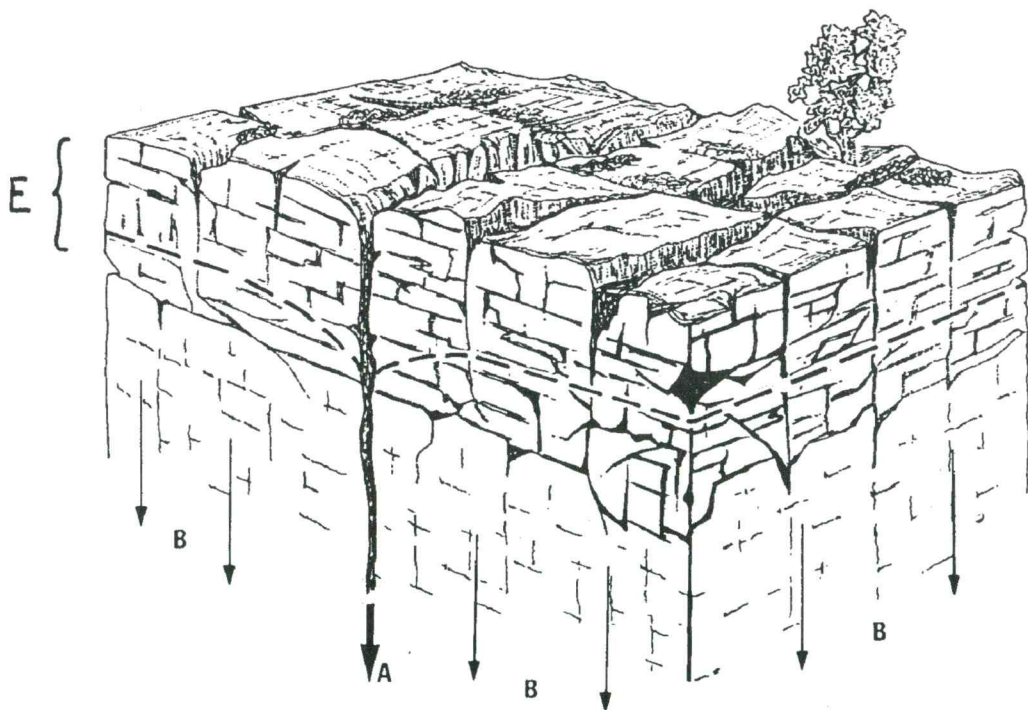
Rezultati predhodnih študij

Epikraško cono so opisali predvsem Mangin (1975), Gunn (1981, 1983), Williams (1983), Dodge (1983), Smart in Fried-

rich (1986), Bonacci (1987), Drogue (1992), Klimchouk (1995, 1996, 2000) ter Kiraly in sodelavci (2000). V podopglavje povzemam rezultate njihovih študij.

Epikraško cono gradi zgornja plast izpostavljenih kamnin kraškega vodonosnika, v katerih je prepustnost zaradi razpokanosti veliko večja in bolj enotno razporejena kot v spodnji nezasičeni coni. Coni se torej strukturno razlikujeta – razlike v razpokanosti so praviloma vidne do globine 15 do 30 m (Klimchouk, 2000). Posledica so razlike v hidravlični prevodnosti med epikraško in spodnjo nezasičeno cono, kar omogočajo nastanek visečega epikraškega vodonosnika (sl.1).

Zaradi zmanjševanja števila in širine razpok je razpršeno vertikalno napajanje v epikraški coni z globino vse težje, zato tok znatno pridobiva lateralno komponento, ki konvergira proti najbolj prevodnim vertikalnim tektonskim razpokam. V bazi epikraške cone se voda uskladišči in skoncentrira v smeri proti glavnim oziroma najbolj prevodnim razpokam, ki so ponavadi dovolj široke, da zagotavljajo vertikalno napajanje spodnje nezasičene cone (sl. 1).



Sl. 1. Shema epikraške cone (E) (po Manginu, 1975); (A) koncentrirano, (B) razpršeno napajanje

Baza epikraške cone deluje glede na spodnjo nezasičeno cono kot Faradayeva kletka (Kilary in sod., 1995), kar omogoča uskladiščenje vode v njej. Različne študije so pokazale, da se voda tam zadrži od nekaj dni do več mesecev (Gunn, 1983; Williams, 1983; Klimchouk, 1995). Volumen uskladiščenja je odvisna od starosti epikraške cone, razlik v hidravlični prevodnosti med epikraško in spodnjo nezasičeno cono ter količine vode, ki se je uskladiščila v prejšnjih obdobjih.

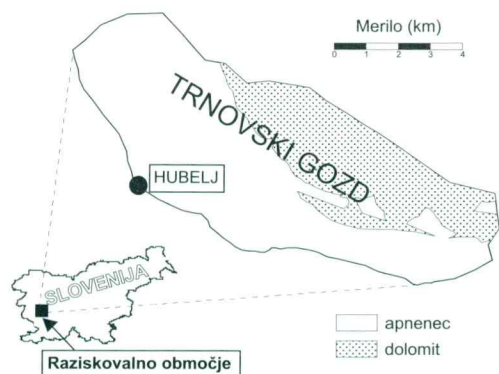
Tako kot so heterogeni kraški vodonosniki, je heterogena tudi epikraška cona. Zveznost epikraškega vodonosnika je odvisna v največji meri od porazdelitve in hidravlične kapacitete vertikalnih poti precejanja, preko katerih se drenira voda v spodnjo nezasičeno cono.

Rezultati raziskav v zaledju izvira Hubelj

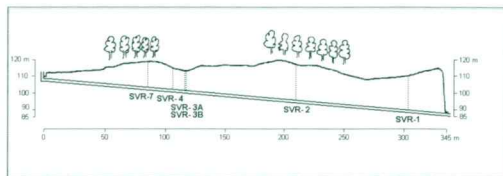
Epikraška cona je bila proučevana na območju kraškega vodonosnika v zaledju izvira Hubelj (sl. 2). Kot osnovna raziskovalna metoda je bila uporabljena tista s področja naravnih sledil.

Raziskave so vključevale vzorčevanje a) zasičene in b) zgornje nezasičene cone vodonosnika. Prvo sem opazovala na izviru Hublja (Janež in sod., 1997), drugo pa 600 m nad izvirom, v bližini Sinjega vrha, v umetnem rovu 10 do 20 m pod površjem (sl. 2 in 3) (Čenčur Curk in Veselič, 1999; Čenčur Curk, 2002; Trček in sod. 2000; Trček, 2001).

Študija je temeljila na 1) multiparametričnem pristopu – vodilna parametra sta



Sl. 2. Raziskovalno območje



Sl. 3. Vzdožni prerez umetnega rova Sini vrh z vzorčevalnimi mesti za izotopske in kemijske analize vode

bila izotopska sestava kisika ($\delta^{18}\text{O}$) in koncentracija raztopljenega organskega ogljika (DOC) v vzorčevanih vodah, ki je bil osnovan na 2) dvostopenjskem vzorčevanju: a) mesečnem vzorčevanju (leta 1999 in 2000) ter b) podrobnem vzorčevanju med nevihtnim obdobjem (julij 2000).

V nadaljevanju so predstavljeni najpomembnejši rezultati posameznih stopenj vzorčevanj, ki dokazujejo obstoj epikraške cone v obravnavanem vodonosniku in opisujejo njeno hidravlično obnašanje.

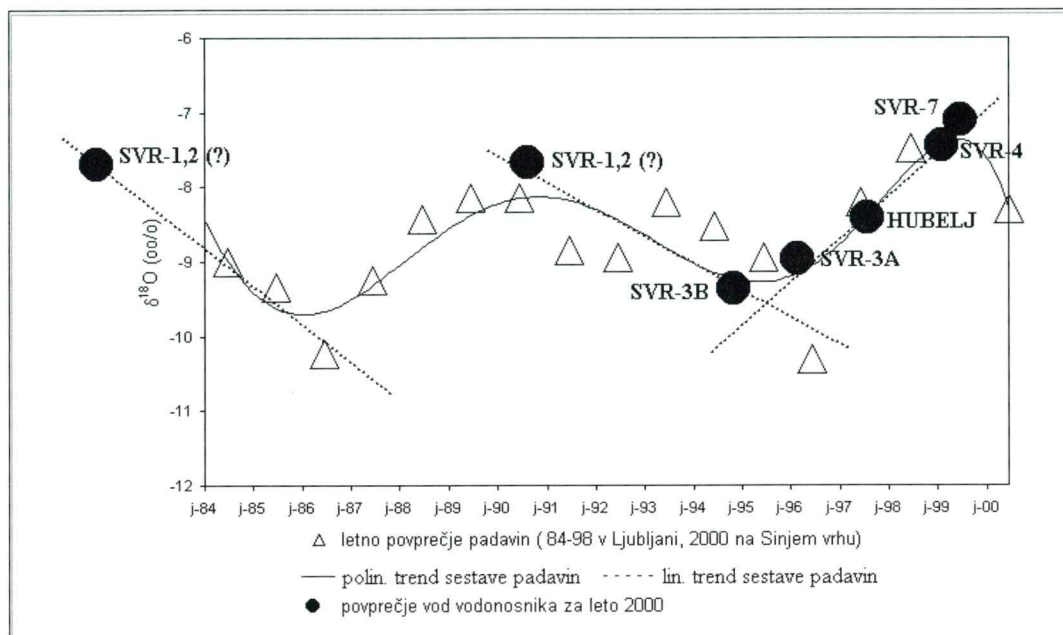
Najpomembnejši rezultat mesečnega vzorčevanja so ocene povprečnih zadrževalnih časov vzorčevanih vod (sl. 4). Meritve izotopske sestave kisika kažejo, da so povprečni zadrževalni časi vzorčevanih vod v rovu od 3 mesece pa do najmanj 10 let (za SVR-7 okoli 3 mesece, SVR-4 okoli 9 mesecev, SVR-3A 4-5 let, SVR-3B 5-6 let, za SVR-2 in SVR-1 pa najmanj 10 let), medtem ko je povprečen zadrževalni čas baznega toka Hublja 2-3 leta.

Predstavljeni podatki mesečnega vzorčevanja opozarjajo, da poteka rov verjetno tako v epikraški coni, kot v spodnji nezasičeni coni.

Najpomembnejši rezultati druge stopnje vzorčevanja izhajajo iz analiz nevihtnih hidrogramov vzorčevanih vod, ki je temeljila na podatkih o $\delta^{18}\text{O}$ in DOC.

Hidrogrami vzorčevalnih mest v rovu so bili razdeljeni z dvo-komponentno metodo na komponenti stare in nove vode (Trček, 2001). Podatki so opozorili na batni efekt – nova voda je v vzorčevalna mesta v glavnem izpodrinila staro, predhodno uskladiščeno vodo v epikraški coni.

Za razdelitev nevihtnega hidrograma Hublja je bila uporabljena tri-komponentna metoda. Hidrogram je bil razdeljen na naslednje končne člene: a) vodo baznega toka, b) vodo zgornje nezasičene cone in c) novo vod (Trček, 2001). Rezultati so pokazali, da je



Sl. 4 . Povprečna letna izotopska sestava kisika v padavinah in vodah kraškega sistema

treba zadnji dve komponenti združiti v eno komponento, ki predstavlja hiter tok po omrežju kraških kanalov. Ta tok sem poimenovala epitok (Király et al. 1995). Definirala sem ga kot hiter tok a) vode, ki je bila predhodno uskladiščena v epikraški coni in b) nove vode, ki jih epikraška cona najprej skoncentrirala v svoji bazi, potem pa iz nje drenira v omrežje kraških kanalov, kjer se lahko mešajo tudi z vodo ponikalnic.

Slika 5 predstavlja končno razdelitev nevihtnega hidrograma Hublja na komponenti a) epitoka in b) baznega toka. V opazovanem obdobju sta bila njuna povprečna deleža 41 % in 59 %. Epitok je vseboval povprečno 54 % nove vode in 46 % vode, ki je bila predhodno uskladiščena v zgornji nezasičeni coni vodonosnika, večinoma v epikraški coni. Podatki opozarjajo na pomembno vlogo epikraške cone v procesu napajanja vodonosnika.

Povezava in obdelava podatkov obeh stopenj vzorčevanj je omogočila zasnovano konceptualnega modela kraškega vodonosnika zaledja Hublja. K temu so pripomogli še geološki, hidrogeološki, hidrometeorološki, geofizikalni, petrografski in speleološki podatki, kot tudi letna bilanca vzorčevanih vod.

Konceptualni model vključuje epikraško cono, ki ima podobne lastnosti kot tista na

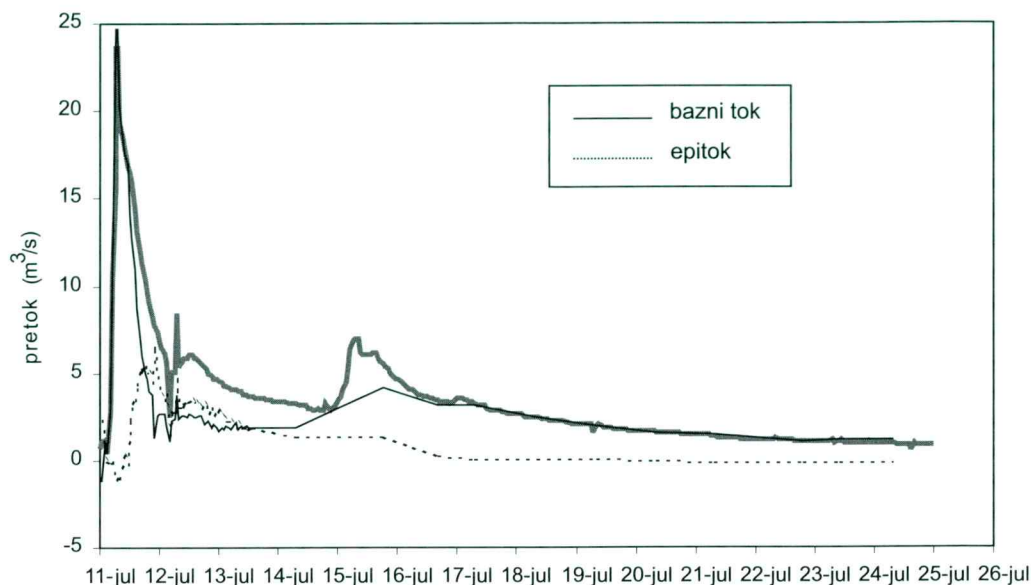
raziskovalnem območju v umetnem rovu Sinji vrh.

Na podlagi številnih argumentov model predpostavlja, da je mehanizem toka in prenosa snovi v kraškem vodonosniku odvisen od obnašanja epikraške cone. Kot posledica batnega efekta, se po padavinah skoncentrirajo v bazi epikraške cone a) predhodno uskladiščene vode v zgornji nezasičeni coni in b) nova voda. Epikraška cona prevaja to vodo v nižja območja vodonosnika v odvisnosti od količine vode v njej:

1) če je količina vode majhna, se večina vode zadrži in uskladišči v bazi epikraške cone; ta voda se počasi izceja skozi serije ozkih razpok in razpršeno napaja slabo prepustne bloke kamni spodnje nezasičene cone, le-ti pa razpršeno napajajo zasičeno cono vodonosnika;

2) če je količina vode velika, a) se en del vode lahko zelo hitro drenira prek povečanih in prevodnejših tektonskih razpok v omrežje kraških kanalov in vzpostavi hiter koncentriran tok – epitok, medtem ko b) se drug del vode uskladišči v bazi epikraške cone.

Epitok napaja nižja območja vodonosnika dokler je hidravlični tlak v omrežju kanalov višji od tistega v okoliških blokkih kamnin; ko pride do preobrata hidravličnega gra-



Sl. 5. Tri-komponentna razdelitev nevihtnega hidrograma Hublja

dienta, se začne voda iz epikraške cone razpršeno izcejati, kot je opisano v točki 1.

Obnašanje epikraške cone je popolnoma odvisno od trenutnih razmer in se s časom bistveno spreminja. Pri tem ima najpomembnejšo vlogo količina uskladiščene vode v epikraški coni. V opazovanem nevihtnem obdobju je naprimer izteklo iz Hublja le 18 % učinkovitih padavin. Iz tega sledi, da se je moralo 82 % učinkovitih padavin uskladiščiti v vodonosniku. Tu pa se zastavlja vprašanje – Kje v vodonosniku? Rezultati kažejo,

➤ da se je morala večina nove vode, vsaj začasno, uskladiščiti v epikraški coni.

RAZPRAVA IN SKLEPI

Sinteza podatkov vseh obravnavanih raziskav opozarja na pomen epikraške cone pri hidravličnem obnašanju kraškega vodonosnika. Številni argumenti potrjujejo, da ima komponenta hitrega toka – epitoka, ki izvira iz epikraške cone, veliko vlogo v procesu napajanja kraškega vodonosnika. Ta fenomen ima lahko pomembne posledice na transport onesnaževalcev in druge gospodarske probleme, česar ne smemo zanemariti pri zaščiti kraških podzemnih vodnih virov pred onesnaževanjem in prekomernim izkoriščanjem.

LITERATURA

Bonacchi, O. 1987: Karst hydrology, with special references to the Dinaric Karst. – Springer-Verlag, 184 pp., Berlin-Heidelberg.

Čenčur Čurk, B. & Veselič, M. 1999: Laboratory and Experimental Study of Contaminant Transport in Fractured and Karstified Rock. – Rudarsko-metalurški zbornik, 46/3, 425-442, Ljubljana.

Čenčur Čurk, B. 2002: Tok in prenos snovi v kamnini s kraško in razpoklinsko poroznostjo. Doktorska disertacija. – Univerza v Ljubljani, 253 str., Ljubljana.

Dodge, M. 1983: Structure, fonctionnement hydrodynamique et vulnérabilité des aquifères karstiques. In: Journées d'étude sur la protection des eaux karstiques, novembre 1982. – Soc. Nationales de distribution d'eau et commission de la protection des sites speleologiques, 42-46, Bruxelles.

Drogue, C. 1992: Hydrodynamics of karstic aquifers: Experimental sites in the Mediterranean karst, southern France. In: Hydrogeology of Selected Karst Regions. – Heisel, 133-149, Hannover.

Gunn, J. 1981: Hydrological processes in karst depressions. – Zeitschrift für Geomorphologie, 25, 313-331.

Gunn, J. 1983: Point recharge of limestone aquifers – A model from New Zealand karst. – Journal of Hydrology, 61, 19-29.

Janež, J., Čar, J., Habič, P. & Podobnik, R. 1997: Vodno bogastvo Visokega krasa. Ranljivost kraške podzemne vode Banjšic, Trnovskega gozda, Nanosa in Hrušice. – Geologija d.o.o, 167 str., Idrija.

Kiraly, L., Perrochet, P. & Rossier, Y. 1995: Effect of the epikarst on the hydrograph of karst springs: A numerical approach. – Bulletin d'Hydrogéologie, 14, 199-220.

Klimchouk, A.B. 1995: The nature and principal characteristics of epikarst. In: *Proceedings of 12th International Congress of Speleology*, 306 str., La Chaux-de-Fonds.

Klimchouk, A.B., Sauro, U. & Lazzarotto, M. 1996: "Hidden" shafts at the base of the epikarstic zone: A case study from the Sette Comuni Plateau, Venetian Pre-Alps, Italy. – *Cave and Karst Science*, 23/3, 101-107.

Klimchouk, A.B. 2000: The Formation of Epikarst and its Role in Vadose Speleogenesis. In: *Speleogenesis, Evolution of Karst Aquifers*, January 2000 Edition. – National Speleological Society Inc., 91-99.

Mangin, A. 1975: Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. DES thesis. – *Ann. Speleol.*, 29/3, 282-332, Paris.

Smart, P.L. & Friedrich, H. 1986: Water movement and storage in the unsaturated zone of a maturely karstified carbonate aquifer, Mendip Hills, England. In: *Proceedings of the Conference on Environmental Problems of karst terranes and*

their solutions. – National Water Well Association, 59-87, Dublin

Trček, B., Car, M. & Veselič, M. 2000: The use of isotopic, hydrogeochemical and ground-penetrating radar investigations in the study of the unsaturated zone of the karst aquifer. – *Rudarsko-metalurški zbornik*, 47/3-4, 335-344, Ljubljana.

Trček, B. 2001: Spremljanje prenosa snovi v nezasičeni coni kraškega vodonosnika z naravnimi sledili. Doktorska disertacija. – Univerza v Ljubljani, 125 str., Ljubljana.

Trček, B. & Krothe, N.C., 2002: The importance of three and four components storm hydrograph separation techniques for karst aquifers. In: *Proceedings of the Symposium "Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation"* (Postojna, 2002). – Založba ZRC, 395-401, Ljubljana.

Williams, P.W. 1983: The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. – *Journal of Hydrology*, 61, 45-67.