

Hidrogeologija Gradišnice in Gašpinove jame v kraškem vodonosniku med Planinskim poljem in izviri Ljubljane

Hydrogeology of Gradišnica and Gašpinova jama caves in karst aquifer between Planinsko polje and Ljubljana Springs (Central Slovenia)

Janez TURK

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, SI-6230 Postojna

Ključne besede: kraški vodonosnik, Gradišnica, Gašpinova jama, Planinsko polje, Ljubljana, Slovenija
Key words: karst aquifer, Gradišnica Cave, Gašpinova jama Cave, Planinsko polje, Ljubljana, Slovenia

Izvleček

V bližini Logatca je tok podzemne vode dostopen v dveh jamah, in sicer v Gradišnici in Gašpinovi jami. Več kot leto dni smo v obeh jamah zvezno merili nivoje podzemne vode in njeno temperaturo. Ker sta obe jami del istega kraškega vodonosnika je nihanje gladine podzemne vode na obeh lokacijah enako, spremembe so skoraj istočasne. Nihanja gladine podzemne vode so velika, v času naših meritev so znašala do 50 metrov. Nasprotno je temperatura podzemne vode v obeh jamah zelo različna. Razlika v povprečju znaša 1 do 2 °C, največja zabeležena razlika je presegala 5 °C. Večje temperaturne razlike so posledica napajanja vodonosnika z vodami različnega površinskega izvora. Temperatura vode v Gradišnici je ob srednjem vodostaju neposredni odraz temperature površinske Unice. Nasprotno pa Unica vpliva na temperaturo vode v Gašpinovi jami le ob največjih poplavah, ko pretoki površinske Unice pri Haasbergu presegajo 40 m³/s. Le v času takšnih največjih poplav se temperatura vode izravna v večjem delu vodonosnika med obema jamama. Temperaturne značilnosti nam predvsem služijo kot podatek, na podlagi katerega lahko sklepamo na izvor vode, ki priteka v območji obeh jam.

Abstract

Underground karst water is accessible only in two caves near Logatec town (30 km south of Ljubljana, central Slovenia); Gradišnica and Gašpinova jama caves. Water level and water temperature were continuously measured more than one year in both caves. Gradišnica and Gašpinova jama caves belong to the same karst aquifer, therefore fluctuations of water level are almost identical and simultaneous. According to our measurements, fluctuations are significant; they reach at least 50 m. In contrast, water temperature is significantly different at both locations. Mean difference is 1-2 °C, the highest measured was 5 °C. Relatively high temperature differences are due to recharge characteristics of the aquifer. It is fed by waters which have different surface origin. Water temperature in Gradišnica Cave directly reflects temperature of the surface Unica River at medium water condition. On the contrary, the Unica River influences on water temperature in Gašpinova jama Cave at the highest floods only. It happens when discharge of the surface Unica River at Haasberg exceeds 40 m³/s. Water temperature becomes similar in larger part of the aquifer between both discussed caves, at such high water conditions only. Temperature of underground water tells us much about the origin of the water, which feeds discussed caves.

Uvod

Med severnim robom Planinskega polja in Logatcem so bile dolgo časa znane le štiri jame, v katerih je možen dostop do podzemne vode, ki se pretaka proti izvirom Ljubljane. Najdena jama, Logarček in Mačkovica se nahajajo v neposredni bližini severnega oziroma severovzhodnega roba Planinskega polja, Gradišnica pa slaba 2,5 km severneje od Najdene jame v smeri proti Logatcu. Pred nekaj leti je bila pot do podzemne vode odkrita tudi v Gašpinovi jami pri Logatcu in v Vetrovni jami pri Laški kukavi.

Vodni rovi so bili v Gašpinovi jami odkriti leta 2002, v Vetrovni jami pa 2004, ko so člani

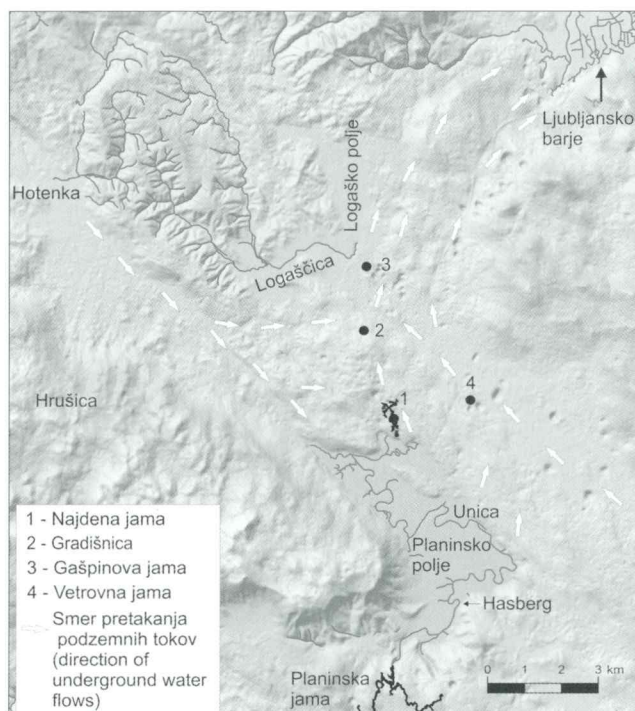
Jamarskega društva Logatec s kopanjem razširili razpoki, ki sta vodili do epifreatičnih in začetka freatičnih rorov.

V novejšem času nam moderna oprema omogoča samodejne meritve parametrov kot so na primer višina vodnega nivoja, temperatura vode in njena električna prevodnost. Z zveznimi meritvami nivoja in temperature podzemne vode v izbranih jamah smo dobili nov vpogled v značilnosti pretakanja podzemne vode, ki napaja izvire Ljubljane.

Vodne nivoje in temperaturo smo merili v Najdeni jami, Vetrovni jami, Gradišnici in Gašpinovi jami, vendar se v tem članku osredotočamo le na podatke iz Gradišnice in Gašpinove jame in na

njihovo interpretacijo, ne pa tudi na podatke iz Najdene in Vetrovne jame.

Gradišnica in Gašpinova jama se nahajata na območju Logaškega ravnika, ki se razprostira med Planinskim poljem na jugu in Logaškim poljem na severu (slika 1). Vhod v Gašpinovo jamo je v neposredni bližini Logatca, njeni rovi pa segajo tudi pod sama naselja. Jama je zelo kompleksna s hidrološkega vidika, saj je ob sušnih razmerah (baznem toku) v njej podzemna voda dostopna na vsaj treh lokacijah, pri čemer se zaenkrat zgolj sklepa da ne gre za vodo istega izvora (VOLK &



Slika 1. Zemljevid območja z označenimi površinskimi rekami in obravnavanimi jamami
Figure 1. Geographical map of studied area. Surface streams and discussed caves are marked

NAGODE, 2003). Vhod v Gradišnico je okoli 1600 m južneje, pod vzpetino Gradišče. Gradišnica je že dolgo znana jama, saj je vhodno brezno zelo impresivno in velikih dimenzij 20 x 40 m (MARUSIG & VELKOVHR, 1957).

Vpliv hladnega zraka, ki se useda na dno jame in izpodriva toplejši zrak ima lahko velik vpliv na temperaturo podzemne vode. Nasprotno je Gašpinova jama skoraj popolnoma zaprta, vhod vanjo poteka po ozki in 100 m globoki razpoke, zaradi česar je vpliv površinskih temperatur v jami zanemarljiv.

V Gradišnici opravljamo meritve na dnu Putikove dvorane, kjer voda priteka v jamo, v Gašpinovi jami pa v tako imenovanem južnem »sifonskem jezeru«. Zračna razdalja med obema merilnima mestoma znaša 1500 m, absolutna nadmorska višina podzemne vode v času baznega toka za Gradišnico znaša 379 m (GOSPODARIČ & HABIČ, 1976) oziroma po novejših podatkih 377 m (GAMS, 2004; NAGODE, 1997) in 374 m za Gašpinovo jamo (VOLK, 2007). Bazni tok ustreza

daljšemu obdobju brez padavin, zaradi česar je napajanje površinskih vodotokov, ki nato napajajo vodonosnik, vezano izključno na podzemne dotoke (SCHWARTZ & ZHANG, 2003). Hidravlični padec, ki predstavlja razmerje med višinsko razliko in razdaljo med obema jamama, torej znaša 0,002 (oziroma največ 0,0033).

Za meritve uporabljamo t.i. »Diverje«, ki hkrati beležijo in shranjujejo podatke. Naprava beleži podatke v poljubnem časovnem intervalu, v našem primeru smo se odločili za interval 0,5 ure. Hkrati smo merili tudi pretoke površinske Unice pri Haasbergu. Pretočno krivuljo nam je posredovala Agencija Republike Slovenije za okolje, pri Ministrstvu za okolje in prostor. Ti pretoki Unice niso enaki pretokom podzemne Unice ki neposredno napaja Gradišnico. Površinska Unica izgubi velik del vode že prej v požiralnikih, ki odvajajo vodo vzhodno od Gradišnice. Zvezne meritve smo opravljali od avgusta 2006 do konca novembra 2007. Pri predstavitvi rezultatov se osredotočamo le na del podatkov.

Opis sistema in predhodne raziskave

Logaški ravniki gradijo kamnine kredne starosti. Te kamnine so zakrasedle in tektonsko pretrte, zato predstavljajo dobre prevodnike za podzemno vodo. V njih prevladujeta razpoklinska in kanalska poroznost (GOSPODARIČ & HABIČ, 1976). Gradišnica in Gašpinova jama sta razviti v spodnje krednih apnencih, Gašpinova jama deloma tudi v dolomitih. Vodni prevodniki so vzporedni s plastovitostjo ali pa so nastali ob prelomih s šibkimi porušnimi conami, ter ob razpoklinskih conah (ČAR, 1982).

Vode, ki pritekajo v vodonosnik pod Logaškim ravnikom, se napajajo iz različnih površinskih območij, vsa pa pripadajo porečju Ljubljane. V kraški vodonosnik ponikajo reka Unica s Planinskega polja na jugu, in potoka Hotenka ter Logaščica, ki pritekata z Logaških Rovt na SZ (slika 1). Nezanemarljiv ni niti avtigeni dotok s Hrušice na zahodu, ki verjetno napaja podzemni Unico in predvsem Hotenko, ter avtigeni dotok s celotnega dobro prepustnega površja Ravnika. Medtem ko površinska Unica dobiva vodo s širšega zaledja Planinskega polja, sta napajalni območji površinskih Hotenke in Logaščice omejeni na ozko območje Logaških Rovt, ki jih gradi slabo zakrasedli triasni dolomit (GAMS, 2004). V vodonosnik priteka tudi podzemna voda s Cerkniskega jezera. Jezerska voda ponika v podzemlje skozi več požiralnikov na jezerskem dnu. Menimo da skupaj s podzemno Unico neposredno napaja tudi Vetrovno jamo SV od Planinskega polja, vendar tega zaenkrat še ne moremo z gotovostjo potrditi.

Glavni dotok v vodonosnik vsekakor predstavlja Unica, saj njen povprečni letni pretok znaša kar 26 m³/s (BREZNIK, 1998), kar je morda več kot vsi ostali dotoki skupaj. Upoštevati je treba da Unica ponika v številne požiralnike vzdolž Planinskega polja. Požiralniki na vzhodnem obrobju polja prevajajo vodo v kanale in razpoke,

ki potekajo večinoma vzhodno od Gradišnice in Gašpinove jame. Ta tok podzemne Unice se meša s tokom podzemne vode, ki ima izvor s Cerknškega jezera. Te vode zagotovo vplivajo na nivo podzemne vode v vodonosniku, katerega del sta tudi Gradišnica in Gašpinova jama. Nimajo pa temperaturnega vpliva v obravnavanih jamah. Tok podzemne Unice, mešan z vodo jezerskega izvora, bomo v nadaljevanju omenjali kot vzhodni, »posredni« tok Unice. Kanalske povezave med tem tokom in Gradišnico oziroma Gašpinovo jamo zagotovo obstajajo, vendar fizično ne prihaja do mešanja vod.

Ob visokem in tudi srednjem vodostaju Unica ponika v požiralnike na severnem robu Planinskega polja, ki neposredno napajajo Najdeno jamo in Gradišnico. V nadaljevanju bomo ta tok podzemne Unice omenjali kot neposredni.

Ni znano kje se podzemna Hotenka pridruži toku podzemne Unice, vendar GOSPODARIČ in HABIČ (1976) sklepata da se to zgodi na območju Logaškega ravnika, torej relativno blizu Gradišnice, oziroma Gašpinove jame. GAMS (1974) sklepa da tudi izviri v bližini Grčarevca ob SZ robu Planinskega polja pripadajo podzemni Hotenki. Ob najvišjih pretokih naj bi se del podzemne Hotenke prelival in ubral druge podzemne poti, vzporedno z Idrijskim prelomom (slika 1). Pretoki površinske Hotenke so razmeroma nizki, v letih 1972–1975 so se gibali med 0,02 in 4,1 m³/s. Vendar bi bili pretoki podzemne Hotenke lahko precej višji, saj je potrebno upoštevati dotok avtogene vode, ki pronica skozi SV del Hrušice v kraško podzemlje in domnevno napaja podzemno Hotenko (GOSPODARIČ & HABIČ, 1976).

Logaščica ponika v ponore Jačka sredi Logaškega polja. Pretoki površinske Logaščice so nekoliko večji kot pri Hotenki, v letih 1972–1975 je najvišji pretok znašal 9,2 m³/s (GOSPODARIČ & HABIČ, 1976). SZ rovi Gašpinove jame se približajo površinski Logaščici in ponoru na nekaj 10 metrov. Zatorej sklepamo da severne dele jame, oziroma del vodonosnika z Gašpinovo jamo, v veliki meri napaja Logaščica (VOLK & NAGODE, 2003). Lokalni vpliv Logaščice na temperaturo vode v vodonosniku bi lahko bil velik, vendar ni zaznaven v južno ležečem »sifonskem jezeru«, kjer izvajamo meritve. Vode se namreč kot rečeno generalno pretakajo proti SV.

Prve resne poizkuse razlage hidrodinamike podzemnih tokov na obravnavanem območju sta opravila GOSPODARIČ in HABIČ (1976). Interpretacije so temeljile na osnovi občasnih opazovanj nihanja gladine podzemne vode v Najdeni jami in Gradišnici.

Ugotovila sta da poplavna voda priteka v Gradišnico iz Najdene jame, ki se nahaja v neposredni bližini severnega obrobja Planinskega polja. Najdeno jamo pa neposredno napaja Unica, vendar le ob relativno višjem vodostaju. Najvišje poplavne vode v Gradišnici in Najdeni jami se ustalijo na isti absolutni višini, čeprav je gladina podzemne vode (ob baznem toku) v Najdeni jami 30 metrov višje. Najvišje poplave v Najdeni jami torej povzročijo relativno manjši dvig podzemne

vode, ki je skoraj poravnan z gladino največjih poplav v nizvodno ležeči in globlji Gradišnici. Sklepala sta da je zastajanje vode v Najdeni jami povezano z zastajanjem v Gradišnici. Hidravlični padec med obema jamama je razmeroma velik ob nizkih vodnih razmerah (baznem toku) in v povprečju znaša 1 %, vendar se ob poplavah hitro zmanjšuje.

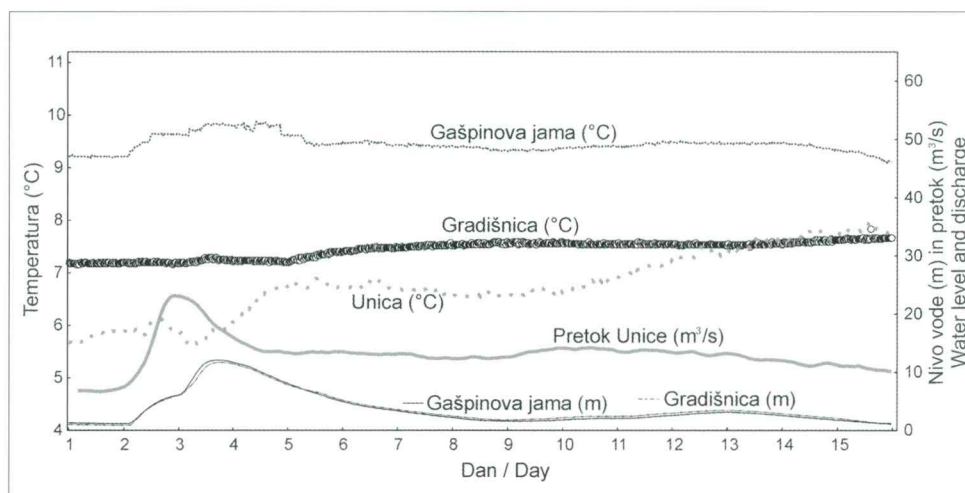
Hidrologijo območja je kasneje raziskoval ŠUŠTERŠIČ (1982). Ugotavljal je hidravlične značilnosti Najdene jame in posredno sklepal na hidrodinamiko širšega območja. Glede na pretok Unice, kot pomemben vir alogenega dotoka v Najdeno jamo, je ločil nizek, srednji in visoki vodostaj. Vsakemu vodostaju na polju ustrezajo tri stanja v jami: stoječa in ujeta voda, manjši pretoki, ter zalitje jame s poplavno vodo. Ugotovil je da med Najdeno jamo in Gradišnico ni večjih hidrogeoloških pregrad, nanje je sklepal severno od Gradišnice.

Metodologija

Glede na relativno višino podzemne vode smo poplavne vode razvrstili v tri velikostne rede.

Najnižja gladina podzemne vode, ki ustreza baznemu toku skozi kraški vodonosnik, je na relativni višini 0 m, na absolutni pa 374 m (Gašpinova jama) oziroma 377 m (Gradišnica). Bazni tok seveda ustreza **nizkemu vodostaju**, h kateremu pa smo prišteli še tiste poplavne vode, ki niso povzročile dviga podzemne vode za več kot 15 m. Nihanja vodne gladine za približno 15 m so sicer velika, vendar je potrebno upoštevati da vodna gladina naraste za okoli 10 metrov že ob razmeroma manj intenzivnih, lokalnih padavinah, ki se ne odrazijo v izrazitem povečanju pretoka površinske Unice. Dvig gladine podzemne vode je v takšnem primeru običajno posledica avtogenega napajanja s širšega območja Ravnika in dela Hrušice in povečanega pretoka podzemnih potokov (Hotenke in Logaščice), ne pa tudi posledica alogenega dotoka podzemne Unice prek požiralnikov na severnem obrobju Planinskega polja in Najdene jame. Pretok Unice je ob takšnih hidroloških razmerah premajhen, da bi reka dosegla severne požiralnike. Zagotovo je napajanje Gradišnice in Gašpinove jame povezano tudi z »vzhodnim« dotokom podzemne Unice pomešane s podzemno vodo s Cerknškega jezera. Ta dotok je kvantitativno težko oceniti, predvsem ob izredno nizkem vodostaju Unice naj bi bil zanemarljiv. Na to sklepamo na podlagi korelacij pretočne krivulje Unice s krivuljo vodnih nivojev v Gradišnici oziroma Gašpinovi jami.

Poplavne vode, ki so povzročile dvig podzemne vode za okoli 20 m, smo uvrstili v **srednji vodostaj**. Tedaj je v Gradišnici že zaznati izrazit neposredni tok podzemne Unice, ki priteče iz podzemnih sistemov Najdene jame in drugih jam ob severnem robu Planinskega polja. Voda v Gradišnici ima tedaj enak temperaturni trend kot Unica, ali pa se celo pojavljajo dnevna temperaturna nihanja značilna za površinsko Unico. To pa ne velja za temperaturo vode v Gašpinovi



Slika 3. Poplavni sunek med 1. in 9. (oziroma 15.) januarjem 2007

Figure 3. Flood pulse between January 1st - 9th (15th respectively), 2007

jami. Pretoki površinske Unice pri Haasbergu ob takšnih pogojih znašajo med 30 do 40 m³/s.

Poplavne vode, ki so v obeh obravnavanih jamah presegle relativno gladino 30 m smo uvrstili v **visoki vodostaj**. Neposredni tok podzemne Unice skozi jame severnega obrobja Planinskega polja (Najdeno jamo) v Gradišnico je tedaj prevladujoč, kar sklepamo predvsem na podlagi temperaturnih značilnosti podzemne vode. Vsi ostali pritoki kot morebitna podzemna Hotenka so drugotnega pomena. Podzemni tok Unice je hiter in zlahka ohranja temperaturne značilnosti površinske Unice. Njen temperaturni vpliv se odraža ne samo v Gradišnici, pač pa tudi v Gašpinovi jami. Pojavljajo se dnevna temperaturna nihanja.

Rezultati

1. Nizek vodostaj

Navedena sta dva primera manjših poplavnih sunkov iz novembra 2006 in iz prve polovice januarja 2007.

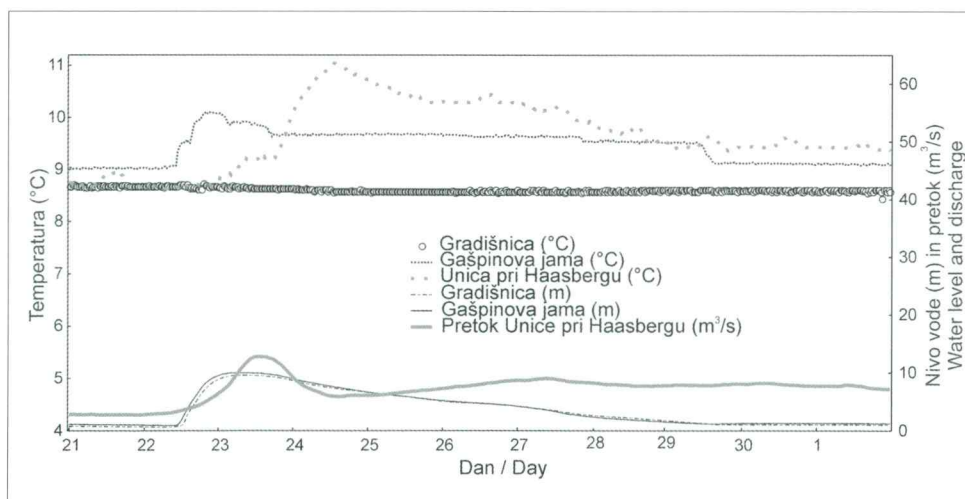
Novembra 2006 je gladina podzemne vode v vodonosniku narasla za 10 m (slika 2). Glavni vnos vode v sistem so prinesli podzemni potoki neodvisni od podzemne Unice. Korelacija

pretočne krivulje površinske Unice s krivuljo vodnih nivojev v obeh jamah je slaba ($r = 0,43$).

Avtigeni dotok in predvsem dotok podzemnih potokov v vodonosnik naj bi bil majhen, glede na velikostni red površinskih potokov, ki neposredno napajajo vodonosnik. Kljub vsemu mora biti skupni vnos vseh dotokov znaten, saj je vodni nivo v novembru narasel kar za 10 m.

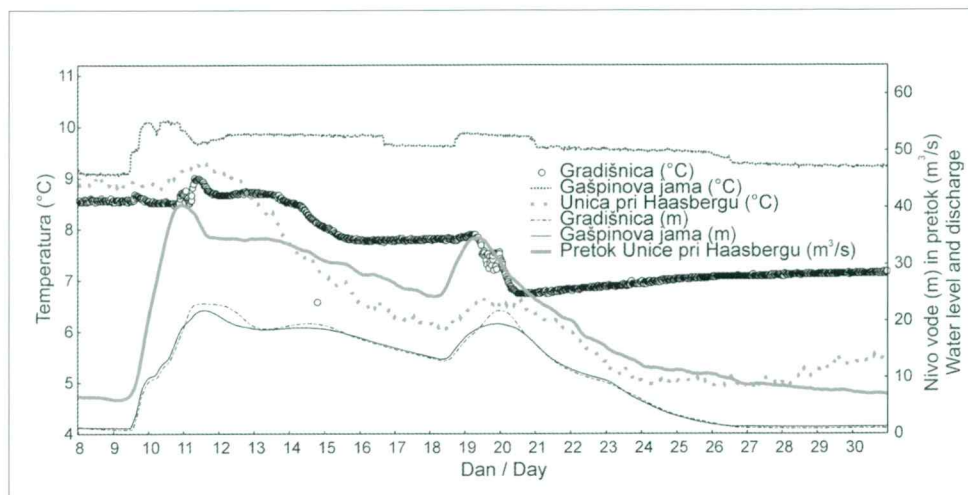
Temperaturne značilnosti vode v Gradišnici in Gašpinovi jami nakazujejo površinski izvor vode daleč od obeh jam. Vadozna cona nad vodonosnikom je debela več kot 100 m. Sklepamo da se avtigeni dotok temperaturno prilagodi kraškemu podzemlju, še preden doseže (epi)freatično cono. Temperatura vode v Gradišnici se ob poplavi ni spremenila, kar izključuje dotok podzemne Unice. Tudi temperaturne spremembe v Gašpinovi jami so bile minimalne.

Naslednji primer je iz prve polovice januarja 2007, tedaj je naraščanje podzemne vode potekalo v dveh fazah (slika 3). V prvi fazi je v podzemni sistem pritekala in naraščala voda enakega izvora kot v novembru. V drugi fazi je na vodno gladino vplivala podzemna Unica, ki ne glede na vodne razmere napaja vodonosnik vzhodno ob obeh jam. Maksimalen pretok Unice je bil znatno večji (23 m³/s) kot ob novembrskem poplavnem sunku (13 m³/s).



Slika 2. »Mali« poplavni sunek med 22. in 30. novembrom 2006

Figure 2. »Small« flood pulse from November 22nd - 30th, 2006



Slika 4. Poplavni sunek med 9. in 27. decembrom 2006

Figure 4. Flood pulse between December 9th - 27th, 2006

Temperaturne razlike med vodo v obeh jamah so bile velike (skoraj 2 °C). Del vode se po veliki verjetnosti pretaka prek Gradišnice v Gašpinovo jamo že ob nizkem vodostaju. Hkrati priteka v t.i. »južni sifon« Gašpinove jame neznani podzemni dotok (sklepamo na zahodno izvirno območje: Hrušica ali Logaške Rovte). Dva dotoka se očitno med seboj slabo mešata, zaradi česar v Gašpinovi jami lokalno prevladuje tok podzemne vode neznanega izvora z drugačnimi temperaturnimi značilnostmi kot tok ki priteka iz smeri Gradišnice. Na temperaturo vode v Gradišnici vpliva tudi hladni zrak, ki se s površja spušča navzdol skozi vhodno brezno in ohlaja podzemno vodo.

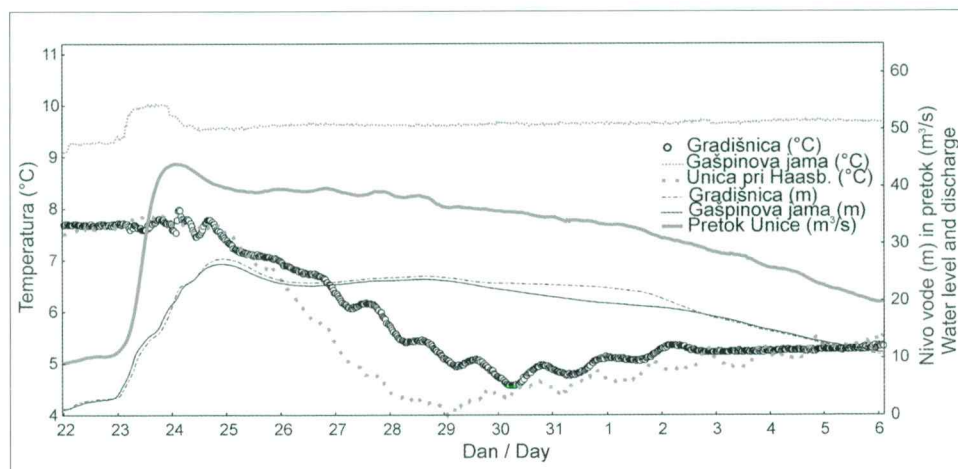
2. Srednji vodostaj

Prvi primer se nanaša na december 2006 (slika 4). Gladina podzemne vode v Gradišnici je pričela naraščati še preden je poplavni sunek podzemne Unice dosegel jamo. Stranski sekundarni dotoki so prvi povečali vnos vode v obravnavani del vodonosnika. Naraščanje podzemne vode v prvi fazi ni povzročilo spremembe v vodni temperaturi. Šele neposredni dotok podzemne Unice je močnejše vplival na spremembo vodne temperature, vendar se dnevna temperaturna nihanja tudi zaradi mešanja s poplavno vodo drugega

izvora (Hotenko ali tokovi avtigenega izvora z območja Hrušice?) v Gradišnici niso ohranila. Temperatura podzemne vode v Gradišnici je imela negativen trend, ki je bil v tem času značilen tudi za površinsko Unico. Podzemna Unica je pričela izgubljeni svoj vpliv na temperaturo vode v Gradišnici, ko je pretok Unice pri Haasbergu padel pod 30 m³/s (20. decembra, slika 4).

Po 22. decembru, ko je neposredni tok podzemne Unice skozi jame v bližini severnega obrobja Planinskega polja že presahnil, se je temperatura vode v Gradišnici počasi ustalila pri 7 °C. Bila je kar okoli 2 °C hladnejša kot v Gašpinovi jami. To dejstvo razlagamo z vplivom hladnega zraka, ki se je usedal na dno Gradišnice.

Podzemna Unica ni imela nikakršnega vpliva na lokalno temperaturo vode v Gašpinovi jami za časa decembrskih poplav, podobno kot ob nizkem vodostaju v vodonosniku. Temperaturne spremembe vode v Gašpinovi jami so bile kratkotrajne in malenkostne v času poplavnega sunka. Temperatura vode v Gašpinovi jami je bila kot običajno ustaljena na 9,8 oziroma 9,6 °C. Natančne temperature baznega toka ne poznamo, saj vodna gladina ob suši upade tik pod merilno napravo, ki tedaj meri temperaturo zraka. Vendar sklepamo da tudi temperatura baznega toka znaša 9,6 °C, oziroma da je temperatura vode rahlo višja od temperature zraka.



Slika 5. Poplavni sunek med 22. januarjem 2007 in 6. februarjem 2007

Figure 5. Flood pulse between January 22nd 2007 and February 6th, 2007

V drugi polovici januarja 2007 (slika 5) je vodna gladina v obeh jamah narasla za 25 m. Unica je imela ob poplavnem sunku izrazito negativen temperaturni trend, hkrati so se pojavljala dnevna temperaturna nihanja. Podoben temperaturni trend z nihanji smo lahko opazovali tudi v Gradišnici, kar je nesporen dokaz o prevladujočem (neposrednem) toku podzemne Unice skozi jamo. Podzemna voda se je v šestih dneh ohladila kar za 3 °C, podobno kot površinska Unica. Nasprotno so bile temperaturne spremembe v Gašpinovi jami majhne. Tudi v času upadanja vodne gladine se temperatura vode v Gašpinovi jami ni spreminjala. Največja temperaturna razlika je znašala kar 4 do 5 °C! Čeprav sklepamo da je podzemna voda v Gašpinovo jamo pritekala tudi iz Gradišnice, se vode dveh različnih izvorov med seboj niso mešale.

3. Visoki vodostaj

Dnevna temperaturna nihanja vode so bila februarja 2007 lepo ohranjena v Gradišnici, kar se zgodilo pri pretoku površinske Unice (pri Haasbergu) okoli 25 m³/s ali več (7. februar, slika 6). Sklepamo da Unica pri najvišjih pretokih prevlada po večjem delu vodonosnika med obravnavanimi jamama, saj se njene temperaturne značilnosti pojavijo tudi v Gašpinovi jami. Podzemna Unica v Gašpinovi jami tedaj temperaturno prevlada nad (manjšim) dotokom drugega izvora ali pa ga izpodriva.

Tok podzemne Unice skozi Gašpinovo jamo je pričel izgubljati svoj prevladujoč temperaturni vpliv, ko je pretok površinske Unice pri Haasber-

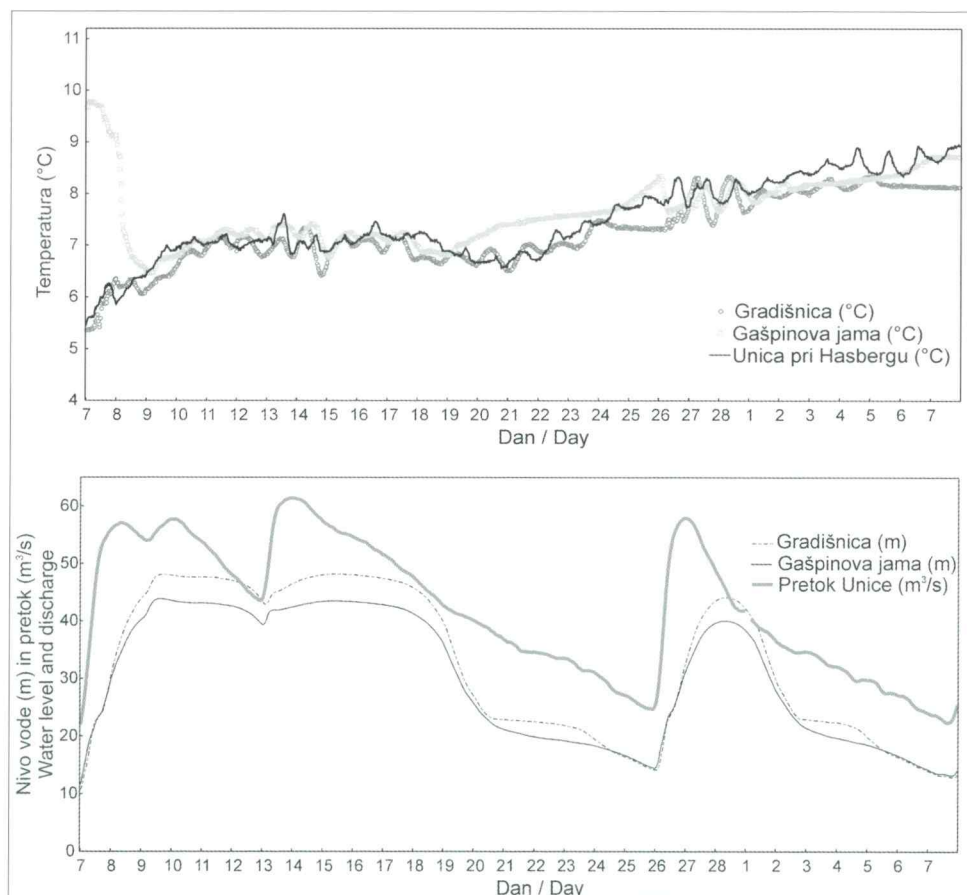
gu padel pod 40 m³/s (po 19. februarju). Temperatura vode v Gašpinovi jami se je ponovno pričela počasi približevati običajnim, oziroma ustaljenim vrednostim.

Nov poplavni sunek je sledil ravno kar opisane- mu z zamikom nekaj dni. Močen tok podzemne Unice je prodril v južni del Gašpinove jame že pri nižjem pretoku površinske Unice (okoli 30 m³/s – 26. februarja) v primerjavi s predhodnim poplavnim sunkom (okoli 40 m³/s – 7. februarja). V Gašpinovi jami so se ponovno pričela pojavljati enaka dnevna temperaturna nihanja kot v Gradišnici.

Diskusija

Temperatura podzemne vode je na obeh obravnavanih lokacijah kraškega vodonosnika večino časa zelo različna. V vodonosnik ponikajo različni površinski tokovi. Lokalne temperaturne značilnosti so odvisne od izvora podzemnega dotoka in dolžine njegove podzemne poti (GABROVŠEK & PERIC, 2006). Vendar je to bolj značilno za relativno višje vodostaje. Tedaj se v vodonosnik stekajo številnejši tokovi različnih izvorov.

Že ob srednjih in predvsem ob visokih vodah je temperatura vode v Gradišnici neposredni odraz temperature površinske Unice, ki ponika v podzemlje na severnem obrobju Planinskega polja. Takrat podzemna Unica popolnoma prevlada nad ostalimi stranskimi dotoki, kakršen je domnevni pritok podzemne Hotenke ali dotok podzemne vode z območja Hrušice.



Slika 6. Dva (oziroma trije) zaporedni poplavni sunki med 7. februarjem in 7. marcem 2007

Figure 6. Two successive flood pulses between February 7th and March 7th, 2007

Temperatura vode v t.i. »južnem sifonu« Gašpinove jame je stabilna in neodvisna od temperature vode v Gradišnici in vpliva podzemne Unice, vendar le ob nizkih in srednjih vodnih razmerah. Temperaturna nihanja so tedaj skoraj zanemarljiva. Neznani lokalni dotok, ki se pretaka skozi omenjeni sifon, ne kaže večjih temperaturnih sprememb. Zatorej sklepamo da gre za vodo, ki ima svoj površinski izvor zelo daleč stran od merilnega mesta v Gašpinovi jami. Takšen podzemni dotok bi bila lahko Hotenka, za katero sicer sklepajo da v vodonosnik priteka v Gradišnici (GAMS, 2004). To bi pomenilo da podzemni tok, ki poleg Unice napaja Gradišnico, dobiva vodo drugje, neodvisno od Hotenke (razen ob visokih vodah, ko del Hotenke ubere podzemne poti vzdolž Idrijskega preloma). Možni dotok bi bil z območja Hrušice. Vsa padavinska voda na Hrušici direktno ponikne v podzemlje kot avtigeno napajanje. Del teh voda se z veliko verjetnostjo koncentrirano pretaka proti območju med Najdeno jamo in Gradišnico. Vendar bi te domneve lahko potrdil le sledilni poizkus.

Podzemna voda ki se pretaka skozi Gradišnico odteka proti SV in se kot kažejo temperaturne meritve slabo meša z vodo v Gašpinovi jami. Količina vode, ki se prek podzemnih delov Gradišnice pretaka proti Gašpinovi jami je neznan. Celotni vodonosnik gradi splet prevodnikov, med katere se tok podzemne vode porazdeli v neenakem razmerju. Le ob najvišjih vodostajih je v Gašpinovi jami zaznati prevladujoč tok podzemne Unice, ki priteče iz Gradišnice. Temperaturne značilnosti vode v Gašpinovi jami se tedaj temeljito spremenijo. Sklepamo da je ob visokem vodostaju pretok podzemne Unice bistveno večji od pretoka podzemne vode drugega izvora, ki tudi napaja t.i. »južni sifon« Gašpinove jame z domnevno zahodne strani. V odvisnosti od razmerja pretokov dveh podzemnih dotokov, z različnimi temperaturnimi značilnostmi, eden izpodriva drugega in temperaturno prevladuje v »južnem sifonu« Gašpinove jame.

Recesijske krivulje vodnih nivojev kažejo, da Unica neposredno vpliva na temperaturo vode v Gradišnici, vse dokler njen površinski pretok presega 30 m³/s (merjeno pri Haasbergu). Podobno velja tudi za Gašpinovo jamo, kjer je minimalen pretok površinske Unice 40 m³/s (19. februarja oziroma 2. marca, slika 6) tisti mejni pretok, ki še omogoča neposredni temperaturni vpliv podzemne Unice v Gašpinovi jami. Kolikšen je dejanski pretok podzemne Unice, ki se takrat pretaka skozi obe jami pa zaenkrat ne moremo oceniti. Upoštevamo lahko le podatek, da maksimalna kapaciteta požiralnikov na severnem obrobju polja presega 40 m³/s (Šušteršič, 1982).

Podobnih sklepov ne moremo podati za čas naraščanja vodne gladine ob poplavnih sunkih. Primer sta velika februarjska poplavna sunka, ki sta si sledila z relativno majhnim časovnim zamikom (slika 6). Unica se še ni popolnoma umaknila s severnega dela polja, zato je drugi februarjski poplavni sunek hitreje povzročil razlivanje Unice in dvig vodostaja na polju. Vnos Unice

skozi podzemne prevodnike ob severnem robu polja je bil pri tem poplavnem sunku zadosten, da je podzemna Unica vplivala na temperaturo vode v Gašpinovi jami že ob relativno nižjem pretoku površinske Unice pri Haasbergu, v primerjavi s predhodnim poplavnim sunkom.

V primeru da so v obeh jamah ohranjena dnevna temperaturna nihanja, lahko iz časovnega zamika dveh identičnih maksimumov ali minimumov sklepamo na čas potovanja vode med dvema lokacijama. Med 12. in 14. februarjem je voda med jamama v povprečju potovala 4,5 ure (slika 6). Povprečna hitrost pretakanja je bila okoli 350 m/h.

Sklep

Meritve so pokazale da je nihanje gladine podzemne vode v Gradišnici in Gašpinovi jami praktično enako in istočasno, kar je popolnoma pričakovano. Jami se namreč nahajata v istem vodonosniku, med seboj sta oddaljeni le 1500 m, hidravlični padec med njima je razmeroma nizek.

Avtigeni dotok predstavlja po naših predvidevanjih pomemben vnos vode v vodonosnik, ki povzroči dvig gladine podzemne vode za več metrov. V skladu s predhodnimi dognanji smo ugotovili močan tok Unice iz smeri Najdene jame in požiralnikov na severnem obrobju Planinskega polja. Hkrati smo zaznali dotok podzemne Unice tudi iz prevodnikov, ki napajajo vodonosnik prek požiralnikov na vzhodnem obrobju in prevajajo vodo proti izvirom večinoma vzhodno od Gradišnice in Gašpinove jame.

Temperaturne značilnosti podzemne vode v obeh jamah so si popolnoma različne. Temperatura baznega toka v Gradišnici je nižja, kot pa znaša povprečna letna temperatura bližnjega Logatca (9–10 °C). Prav toliko znaša temperatura vode v Gašpinovi jami. Ker je Gradišnica v nasprotju z Gašpinovo jamo povezana s površjem z vhodnim breznom dimenzij 20 x 40 m, je kroženje zraka tu izredno močno. Hladen zrak se useda na dnu jame, kjer se segreje (oziroma odvzame toploto podzemni vodi in kamnini) in se nato dviga nazaj na površje. Vendar je ta proces izrazit le v hladni polovici leta, ne pa tudi poleti, ko nizke temperature podzemne vode v Gradišnici ne moremo razlagati s tem pojavom.

Ob višjih vodostajih Gradišnico neposredno napaja relativno močen tok podzemne Unice iz požiralnikov na severnem obrobju polja, ki popolnoma spremeni temperaturne značilnosti podzemne vode. Pojavljajo se dnevna temperaturna nihanja značilna za površinsko Unico. Le ob najvišjih pretokih podzemne Unice le ta neposredno prodre v Gašpinovo jamo, kjer še bolj temeljito spremeni temperaturne značilnosti podzemne vode. V kolikor se dnevna temperaturna nihanja pojavljajo le v Gradišnici, v Gašpinovi jami pa ne, je razlika v temperaturi vode na dveh lokacijah znotraj vodonosnika tudi 5 °C in več. Torej se vode različnih izvorov v vodonosniku razmeroma slabo mešajo med seboj.

Zahvala

Za pomoč in spremstvo pri obiskovanju Gradišnice in Gašpinove jame se avtor lepo zahvaljuje Franciju Gabrovšku in Bojanu Volku. Franciju Gabrovšku se hkrati zahvaljuje tudi za koristne nasvete.

Literatura

ČAR, J. 1982: Geološka zgradba požiralnega obrobja Planinskega polja. *Acta carsologica* (Ljubljana) 10: 75-104, 1981.

BREZNIK, M. 1998: Storage Reservoirs and Deep Wells in Karst Regions. A.A. Balkema Publishers (Rotterdam): 1-251.

GABROVŠEK, F. & PERIC, B. 2006: Monitoring of the flood pulses in the epiphreatic zone of karst aquifers, The case of Reka river system (Karst plateau, SW Slovenia). *Acta carsologica* (Ljubljana) 35/1: 35-45.

GAMS, I. 2004: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Založba ZRC (Ljubljana): 1-515.

GAMS, I. 1974: Kras – Zgodovinski, naravoslov-

ni in geografski oris. Slovenska matica (Ljubljana): 1-358.

GOSPODARIČ, R. & HABIČ, P. (eds.) 1976: Underground water tracing – Investigations in Slovenia 1972-1975. Institute by Karst Research SAZU (Ljubljana): 1-309.

MARUSSIG, M. & VELKOVHR, F. 1957: Gradišnica, kat. štev. 86 (Poročilo Društva za raziskovanje jam Slovenije). *Naše jame* (Ljubljana) 1/1: 24-28.

NAGODE, M. 1997: Novejše raziskave v Gradišnici. *Naše jame* (Ljubljana) 39: 21-36.

SCHWARTZ, F.W. & ZHANG, H. 2003: Fundamentals of ground water. John Willey & Sons, Inc. (New York): 1-583.

ŠUŠTERŠIČ, F. 1982: Morfologija in hidrologija Najdene jame (Morphologic and geologic situation of caves at the Planina polje ponor boundary). *Acta carsologica* (Ljubljana) 10: 127-155.

VOLK, B. 2007: ustni vir

VOLK, B. & NAGODE, M. 2003: Arhiv Inštituta za raziskovanje krasa, kataster jam.