



Hidrogeologija na prehodnem območju med Prekmurskim poljem in Goričkim (SV Slovenija)

Hydrogeology of the transition area between Prekmursko polje and Goričko (NE Slovenia)

Katja KOREN¹, Mihael BRENČIČ^{2,1} & Andrej LAPANJE¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: katja.koren@geo-zs.si, andrej.lapanje@geo-zs.si

²Univerza v Ljubljani, NTF, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: mihael.brencic@ntf.uni-lj.si

Prejeto / Received 6. 11. 2015; Sprejeto / Accepted 15. 12. 2015; Objavljeno na spletu / Published online 30. 12. 2015

Ključne besede: hidrogeološko kartiranje, vodnjak, merjenje gladine podzemne vode, karta gladin podzemne vode, napajanje podzemne vode

Key words: hydrogeological mapping, dug well, groundwater level measurements, groundwater table contour map, groundwater recharge

Izvleček

Na prehodnem območju med gričevnatim Goričkim in uravnanim Prekmurskim poljem je bilo aprila 2014 izvedeno podrobno hidrogeološko kartiranje, v okviru katerega so bili registrirani pojavi podzemne in površinske vode. Opravljene so bile meritve gladine, temperature, elektroprevodnosti in pH vrednosti podzemne vode izbranih vodnjakov. Na podlagi teh podatkov je bila izrisana karta gladin podzemne vode in določene smeri njenega toka. Na območju Goriškega podzemna voda teče od severa proti jugu, na stiku med Goričkim in Prekmurskim poljem se smer toka zaradi spremembe reliefa in hidrogeoloških karakteristik sedimentov, spremeni proti jugovzhodu, kar se odraža v povijanju hidroizohips. Tok podzemne vode v osrednjem delu Prekmurskega polja je vzporeden toku reke Mure, to je v smeri od severozahoda proti jugovzhodu. Meritve terenskih fizikalno-kemijskih parametrov so pokazale, da se pH vrednost in temperatura podzemne vode na Goričkem in Prekmurskem polju ne razlikujeta. Vrednosti elektroprevodnosti so na Prekmurskem polju nekoliko višje kot na Goričkem.

Abstract

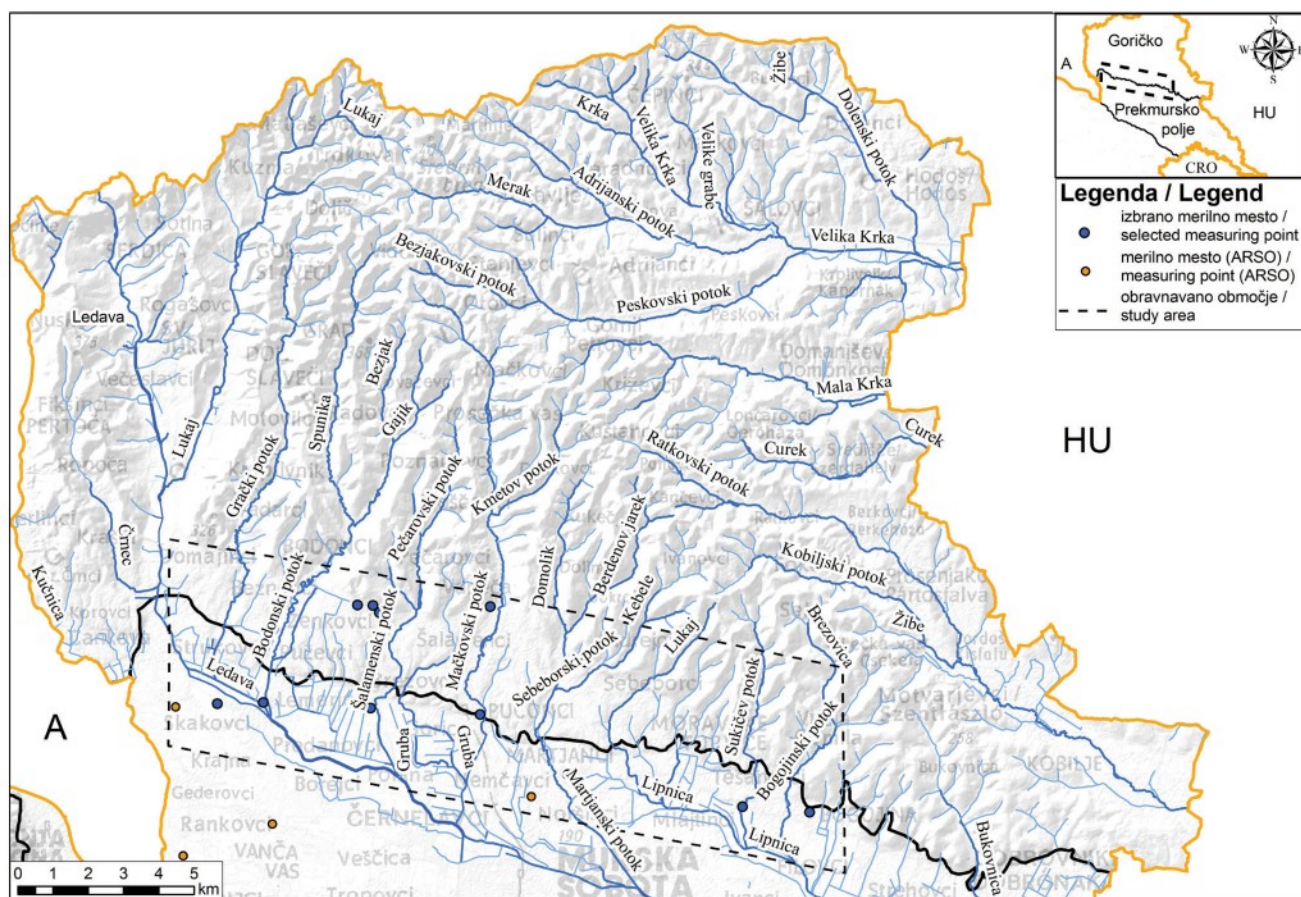
In April 2014 a detailed hydrogeological mapping was performed in the transition area between the hilly Goričko in the north and the flatland of Prekmursko polje in the south (NE Slovenia). The occurrence of groundwater and surface water phenomena were registered and groundwater levels determined in a number of dug wells. Some basic physico-chemical parameters of water, i.e. temperature, electrical conductivity and pH were measured. Groundwater level map of the area was drawn and groundwater flow directions determined. In the Goričko area, groundwater flows from north to south, while in Prekmursko polje groundwater flow is parallel to the flow of the Mura River, i.e. NW-SE. In the transition area between Goričko and Prekmursko polje groundwater contour lines bend substantially indicating a change in the relief as well as change of the hydrogeological characteristic of sediments. The groundwater pH and temperatures in Goričko and Prekmursko polje, are similar. However, the electrical conductivity of groundwater in Prekmursko polje is higher than in Goričko.

Uvod

Goričko je hribovito območje v severovzhodni Sloveniji, s povprečno nadmorsko višino približno 300 m, ki se na severu in zahodu nadaljuje v Avstrijo ter na vzhodu na Madžarsko, na jugu pa postopoma prehaja v ravnino Prekmurskega polja. Geomorfološko stik med njima predstavlja pas, sestavljen iz sistema nizkih pleistocenskih teras, ki jih je ustvarila reka Mura z akumulacijo in erozijo (GAMS, 1959). Na območju teras so odloženi prodi, peščeni prodi, glinasti prodi in prodnati peski (JELEN & RIFELJ, 2011), katerih prepustnost

se v smeri proti Prekmurskemu polju povečuje. Pas se razteza od Cankove na zahodu do Žitkovcev na vzhodu, njegova površina pa je ocenjena na približno 180 km² (sl. 1). Prekmursko polje in Goričko se razlikujeta tako po hidrogeoloških, litoloških kot tudi po tektonskih razmerah.

Iz arhivskih kart gladin podzemne vode KRALJ (1979) izhaja, da je na stiku med Goričkim in Prekmurskim poljem drugačna smer toka kot na osrednjem delu Prekmurskega polja in da se podzemna voda na severnem obrobju Prekmurskega polja napaja z Goričkem.



Sl. 1. Položaj potokov na Goričkem

Fig. 1. Streams in the area of Goričko

Vodotoki na zahodu Goričkega tečejo proti jugu in se na osrednjem delu Prekmurskega polja izlijejo v reko Ledavo. Na severovzhodnem delu Goričkega, tečejo proti jugovzhodu in vzhodu, v isti smeri kot Mala in Velika Krka. Ti reki tečeta proti vzhodu na Madžarsko kjer se združita v Krko (madž. Kerka), ki se na državni meji med Slovenijo in Madžarsko izlije v reko Muro. Na zahodnem Goričkem, ob Ledavi, so potoki daljši kot v vzhodnem delu. V Ledavo so v smeri od zahoda proti vzhodu izlivajo: Bodonski, Pečarovski, Beznovski, Mačkovski, Sebeborski, Martjanski, Krnski, Bogojinski, Sukičev, Andrejski in Dolinski potok, Lipnica, Lukaj, Črnc, Dobel in Bezjak (sl. 1). Stalni pretok je prisoten le v Bodonskem, Mačkovskem in Martjanskem potoku, drugi pa predvsem v poletnih mesecih, presahnejo (CIGLAR, 1975).

Ledava je z 71 km dolžine najdaljša reka na Goričkem. Izvira v bližini Gleichenberga, v Avstriji, nato teče po Goričkem od severa proti jugu. Pri Topolovcih seka pleistocensko teraso ter teče v smeri proti jugovzhodu, po ravnini vse do državne meje z Madžarsko, kjer se izliva v Muro (sl. 1). Je njen glavni pritok v Sloveniji, ki ima zaradi prevlade slabše prepustnih tal, zelo gostoto drenažno mrežo. Tudi drugi potoki na Goričkem imajo razvejane drenažne mreže, na prehodu v ravninski del, kjer so tla bolj prepustna kot na Goričkem, začnejo zaradi majhnega naklona površine vijugato. V povirnem delu so struge ožje in globlje.

Goričko je pomembno tudi z vidika pojavljanja mineralne vode, predvsem na območju Nuskove (ŽLEBNIK, 1974), ki pa se trenutno še ne uporablja v komercialne namene. Prekmursko polje je glede teh virov bogatejše, na območju Petanjcev se nahaja mineralna voda, na območju Renkovcev, Moravskih Toplic in Lendave pa termalna voda. Na območju Prekmurskega polja, zlasti na širšem območju Petišovcev, so v preteklosti potekale intenzivne raziskave nafte in plina, kjer so bila odkrita ekonomsko pomembna naftna polja (PLENIČAR, 1954).

Namen članka je podati hidrogeološke razmere na stičnem območju med hribovitim Goričkim in ravninskim Prekmurskim poljem. Razpoložljivi podatki (NOVAK, 1966; KRALJ, 1979) nakazujejo, da se del podzemne vode na severnem območju Prekmurskega polja napaja z Goričkega, in da stik med tema dvema pokrajinskima enotama predstavlja območje hidrogeološkega prehoda, kjer se v smeri od severa proti jugu spremenijo hidrogeološke razmere in s tem tudi smer toka podzemne vode. S hidrogeološkim kartiranjem smo želeli potrditi domnevi o obstoju prehodnega območja in o smeri napajanja na severni meji Prekmurskega polja.

Predhodne raziskave na obravnavanem območju

V preteklosti so se geološke raziskave izvajale lokalno, predvsem z namenom opredelitve geomehanskih pogojev za gradnjo manjših objektov

(NOVAK, 1966; CIGLAR & FILIPIČ, 1987). To je razlog za šibko poznavanje geologije Goričkega v celoti, v primerjavi z južno ležečim Prekmurskim poljem. Rezultati večine opravljenih raziskav na območju Goričkega niso bili objavljeni in so na razpolago le v obliki delovnih poročil, predvsem v arhivu Geološkega zavoda Slovenije.

Območje severnega dela Prekmurskega polja je hidrogeološko raziskal KRALJ (1979) in rezultate strnil v diplomskem delu. NOVAK (1966) je raziskoval lokalne hidrogeološke razmere na območju Puconcev in izdelal hidrogeološko karto, ki prikazuje gladino podzemne vode na Prekmurskem polju in na stiku z Goričkim na sami lokaciji. V zadnjem obdobju večina raziskav zajema hidrogeološko interpretacijo monitoringa gladin podzemne vode na odlagališču Puconci. Hidrogeološko opredelitev območja odlagališča je podal DROBNE (1989), podrobnejšo karakterizacijo pa BRENCIČ (2003). Raziskave morebitnih nahajališč kremenovega proda in peska (CIGLAR & FILIPIČ, 1987) so potekale predvsem na območju vasi Bodonci, Kuštanovci, Korovci in Puconci. Za ekonomsko primerno nahajališče se je izkazalo le nahajališče v Puconcih. V občini Puconci, pa so bile na območju Doline opravljene tudi inženirsko geološke raziskave (ČARMAN, 2014). Na območju Nuskove je bilo izvrtanih nekaj vrtin za določitev količin mineralne vode ter opredelitev vodonosnih plasti (ŽLEBNIK, 1974), na območju celotnega Pomurja pa je bilo v zadnjih letih izvedenih tudi veliko raziskav geotermalnih virov (RMAN et al., 2012). Izvedene so bile tudi petrografske raziskave (KRALJ, 1999) v okolici Grada na Goričkem, v katerih je bil podrobneje raziskan apofilit iz zgornjegliocenskih vulkanoklastov. Geokemične raziskave zgornjegliocenskih meljastih in peščenih sedimentov iz vrtine Mt-7 (KRALJ, 2003) so potekale na območju Moravskih toplic. Rezultate geofizikalnih raziskav izvedenih za potrebe skladiščenja plina v strukturah Pečarovci in Dankovci je opisal GOSAR (1996).

Hidrogeološki opis območja

Goričko gradijo slabše prepustni, heterogeni sedimenti, predvsem gline in melji, ki se izmenjujejo z dobro prepustnimi peski in prodi (CIGLAR, 1975). Glede na to sklepamo, da je infiltracija padavin na Goričkem zaradi slabše prepustnih krovnih plasti, nižja kot na Prekmurskem polju. Slednje je zgrajeno pretežno iz dobro prepustnih prodov in peskov, slabše prepustne plasti sedimentov pa se v glavnem pojavljajo v lečah oziroma v podlagi kvartarnega vodonosnika.

Površje Goričkega prekrivajo predvsem sedimenti Špiljske, Murske in Ptujsko-grajske formacije (JELEN & RIFELJ, 2011) neogenske starosti. Med Kučnico in Ledavo prevladujejo sedimenti Špiljske formacije, ki so se odlagali v plitvomorskem okolju, območje ob Ledavi (na

Goričkem) prekrivajo sedimenti Murske formacije, odloženi na deltni ravnici in deltnem čelu, na njih pa so v osrednjem in vzhodnem delu Goričkega odloženi sedimenti aluvialne ravnice Ptujsko-Grajske formacije. Vrhove grebenov na vzhodnem Goričkem prekrivajo slabo sortirani rečni prodi, z lečami glin in peskov (CIGLAR & FILIPIČ, 1987; BEGUŠ et al., 2002) domnevno pliocenske ali pleistocenske starosti (JELEN & RIFELJ, 2011).

V holocenu so manjši potoki in hudourniki z območja Goričkega nanašali sedimente v smeri proti jugu (PLENIČAR, 1970). Tako so v strugah potokov na Goričkem in na severnem robu Prekmurskega polja odloženi prodi, peski, melji in peščene gline (JELEN & RIFELJ, 2011). Površje na območju Goričkega se znižuje v smeri od severa proti jugu (sl. 1).

Podzemna voda na Goričkem se nahaja v srednje izdatnih kvartarnih in pliocenskih medzrnskih vodonosnikih, ki jih gradijo prodne, peščene in meljne plasti ter vmesne, tanjše slabo do zelo slabo prepustne plasti. Zaradi tega so pogosti lokalni polzaprti vodonosniki, nekatere med njimi lahko opredelimo tudi kot viseče vodonosnike (PRESTOR et al., 2006).

Predkvartarna podlaga na obravnavanem delu Prekmurskega polja tone v smeri od severozahoda proti jugovzhodu. Predstavljajo jo predvsem zelo slabo prepustni pliocenski sedimenti (glina, melj in lapor), med njimi pa prevladuje glinena komponenta (meljna glina, peščena glina, laporasta glina).

Visoko izdaten kvartarni medzrnski vodonosnik na območju Prekmurskega polja vsebuje pomembne količine podzemne vode za oskrbo prebivalstva s pitno vodo (MALI & HÖTZL, 1990). V nekaterih primerih kemijsko stanje te podzemne vode ni primerno za pitno vodo, predvsem zaradi prisotnosti nitrata in pesticidov (MIHORKO & GACIN, 2014).

Na stiku med Goričkim in Prekmurskim poljem se sedimenti razlikujejo po poroznosti in prepustnosti. Za kvartarni medzrnski vodonosnik sta značilni visoka prepustnost in izdatnost, s koeficientom prepustnosti med $1,0 \cdot 10^{-3}$ in $5,0 \cdot 10^{-3}$ m/s, poroznostjo od 0,15 do 0,35 in gradientom podzemne vode od 0,001 do 0,002 (BRENCIČ, 2009).

Na območju Puconcev, na meji med Goričkim in Prekmurskim poljem, se nahajajo izmenjujoče plasti heterogenih pliocenskih in pleistocenskih sedimentov, ki imajo različno prepustnost ter se lečasto prepletajo. Zato pride do razlike v smeri hidravličnega gradienta (BRENCIČ, 2006). Koeficient prepustnosti je v razponu med $1,4 \cdot 10^{-6}$ in $1,3 \cdot 10^{-4}$ m/s (BRENCIČ 2008; Bokan, ustna informacija).

Metode

Hidrogeološko kartiranje

Hidrogeološke razmere smo opredelili s podrobnim kartiranjem območja južnega roba Goriškega in severnega roba Prekmurskega polja. Kartiranje smo izvedli v aprilu 2014.

Pregledali smo vse dostopne hišne vodnjake na obrobju Goriškega v naseljih Strukovci, Puževci, Brezovci, Puconci, Martjanci, Tešanovci, Bogojina, Sebeborci, Vaneča, Bodonci in Šalamenci (sl. 1). Tovrstne objekte za monitoring uporabljamo večinoma v primerih, ko na razpolago ni primernejših objektov za odvzem vzorcev podzemne vode. Pri takšnih objektih je potrebno računati z možnostjo točkovnega onesnaženja z bližnjih površin, še posebej v vodnjakih na kmečkih dvoriščih (PRESTOR et al., 2006). Pri tem je potrebno poudariti, da v več primerih lastniki niso dovolili dostopa do vodnjakov, zaradi česar je gostota opravljenih meritev na nekaterih območjih majhna. Pri interpretaciji smo upoštevali tudi podatke o meritvah gladin podzemne vode na merilnih mestih s katerimi upravlja Agencija RS za okolje (sl. 2).

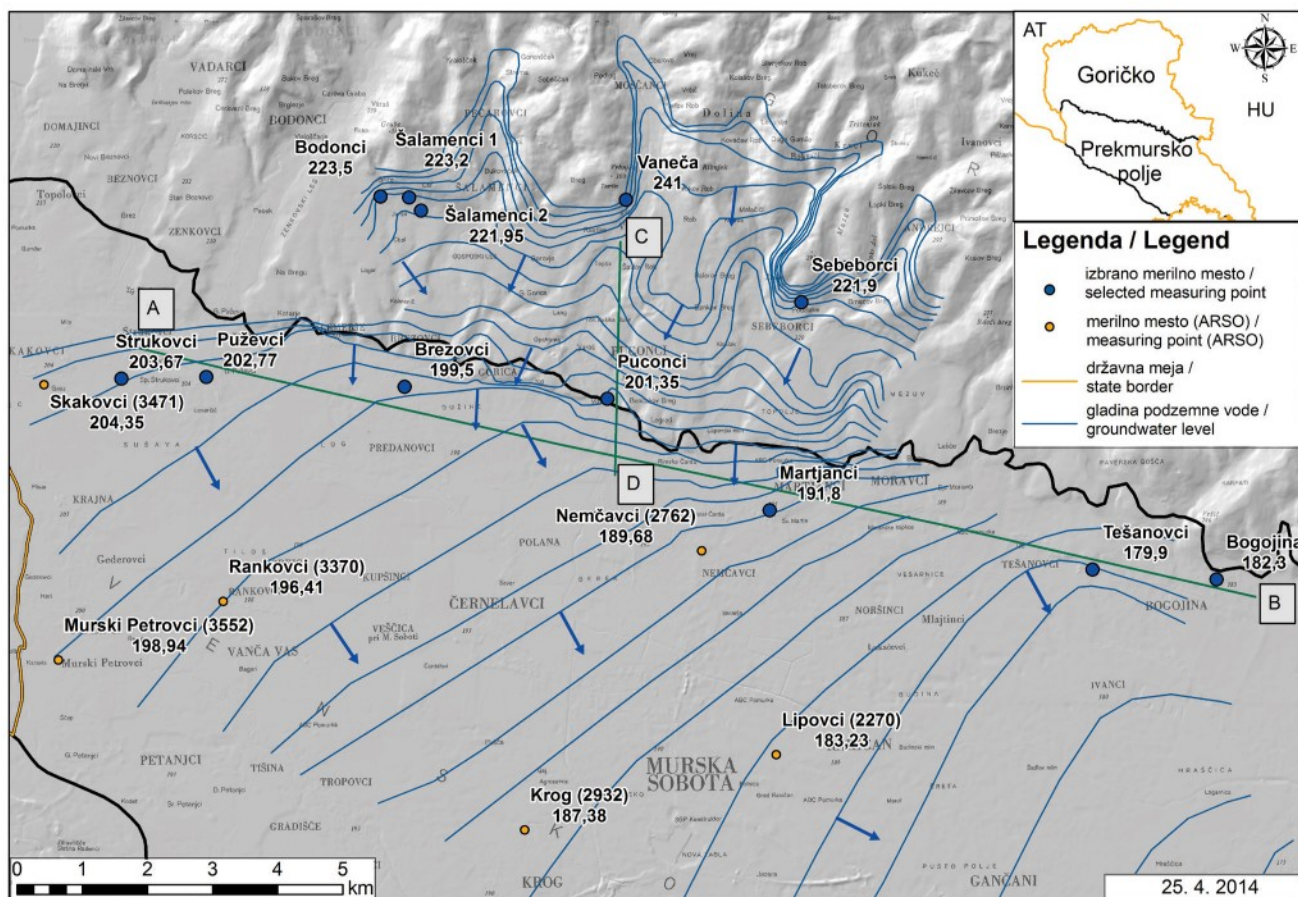
Vsi preiskani vodnjaki so bili izkopani ročno in okrepljeni s cevmi premera 1 m ali več. Prav tako so vsi zaščiteni pred neposrednim vdorom

padavinske vode s pokrovom ali s streho. Najgloblji vodnjak se nahaja v Šalamencih in je globok 36 m. Večina vodnjakov se za lastno oskrbo s pitno vodo ne uporablja več, ker so hiše priklopljene na javni vodovodni sistem. Večinoma lastniki vodo iz vodnjakov uporabljajo le občasno za zalivanje vrtov.

Enkratne meritve gladin podzemne vode in fizikalno-kemijskih parametrov podzemne vode so potekale 25. aprila 2014. V dneh pred opravljenimi meritvami je rahlo deževalo, prav tako na dan meritev. Poleg gladin podzemne vode so bili v vodnjakih izmerjena še elektroprevodnost, temperatura in pH vrednost (tabela 1). Fizikalno-kemijski parametri so bili merjeni z merilnikom pH/Cond 340i proizvajalca WTW. Natančnost pri meritvah elektroprevodnosti znaša $\pm 0,5\%$, pri pH vrednosti $\pm 0,03$ in pri temperaturi $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Izris hidroizohips

Pri izrisu karte gladin podzemne vode sta bili uporabljeni dve interpolacijski metodi. Hidroizohipse so bile izrisane s triangulacijo z linearno interpolacijo in s pomočjo navadnega krigiranja, ki je bilo uporabljeno kot kontrolna metoda (YANG et al., 2004). Izris je bil na podlagi strokovne ocene tudi ročno korigiran. Podatki gladin podzemne vode so grafično predstavljeni in izdelani s pomočjo programa ArcGIS (ESRI, 2014).



Sl. 2. Karta gladin podzemne vode z dne 25. 4. 2014 z lokacijami kartiranih vodnjakov in vrisanimi hidrogeološkimi profili.

Fig. 2. Groundwater table countour map on the day of 25. 4. 2015 with dug wells and hydrogeological profiles.

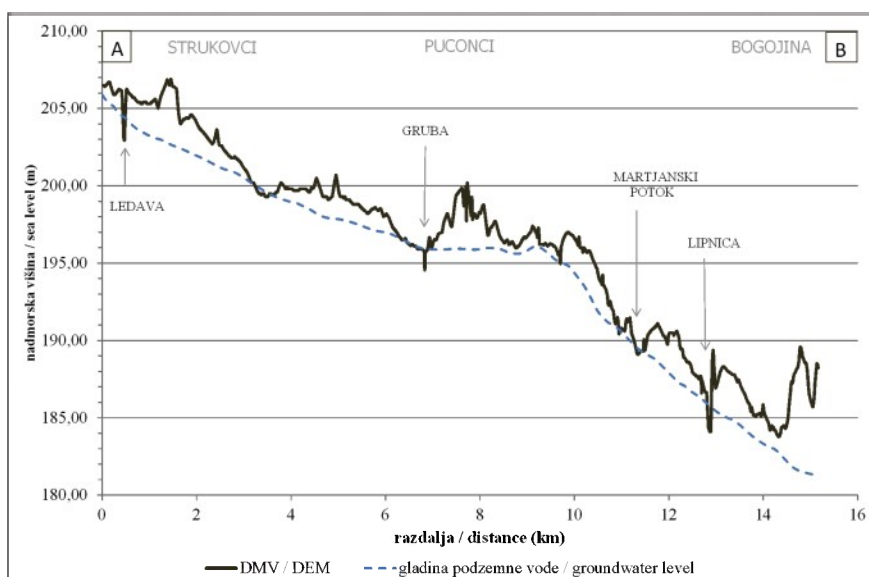
Ker pa podatki izmerjenih gladin niso bili zadostni, saj je mreža merilnih mest bila preredka, smo pri izrisu karte gladin podzemne vode na obravnavanem območju, upoštevali tudi opazovalna mesta Agencije RS za okolje ter morfologijo površja na območjih, kjer tečejo potoki. Zaradi pomanjkanja podatkov o gladinah podzemne vode smo predpostavili, da so potoki v stiku s podzemno vodo, in da njihove pretočne višine predstavljajo gladino podzemne vode na stiku potoka in vodonosnika.

Koordinate lokacij individualnih vodnjakov so določene s pomočjo Atlasa okolja (INTERNET 1), na podlagi najbližjih hišnih števil in lokacij vodnjakov na pripadajočih parcelah. Kote ustij vodnjakov, so določene na podlagi seštevka kote terena, ki izhaja iz digitalnega modela reliefa (DMV 5) podanega v Atlasu okolja (MOP-GURS, 2011) in na terenu izmerjene višine ustij vodnjakov.

Rezultati in interpretacija

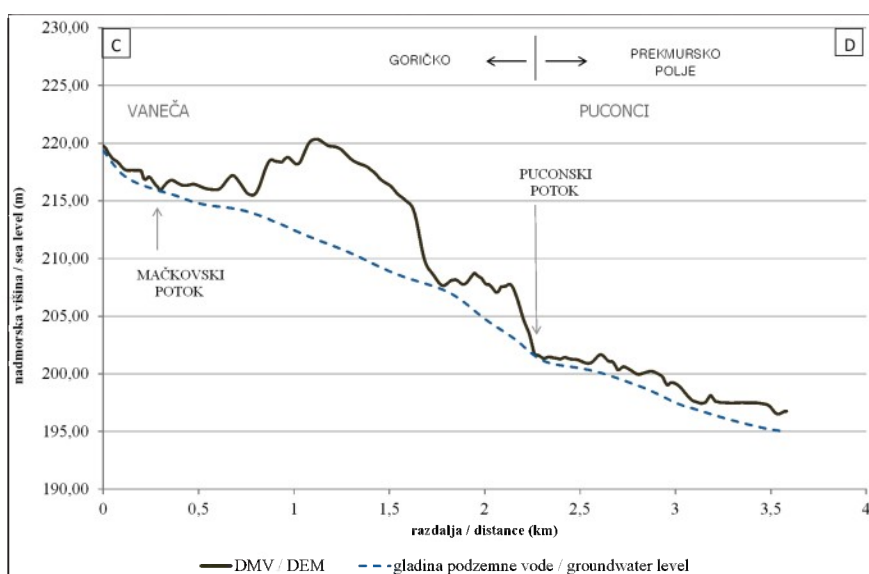
Napodlagi podrobnega hidrogeološkega kartiranja in meritev gladin podzemne vode v vodnjakih smo določili obliko gladine podzemne vode na prehodnem območju med Goričkim in Prekmurskim poljem (sl. 2) ter izrisali dva reprezentativna profila poteka podzemne vode (sl. 3, 4).

V vodnjakih na severnem robu Prekmurskega polja se podzemna voda nahaja plitvo pod površjem, plitveje od 5 m. Najvišja gladina podzemne vode na stičnem območju, ki reliefno pripada Prekmurskemu polju, je bila izmerjena v Puževcih (203,04 m.n.v.) in najnižja v Bogojini (182,70 m.n.v.). Gradienti gladine podzemne vode se gibljejo v razponu od 0,0010 do 0,0015. Podzemna voda ima enotno smer toka, od severozahoda proti jugovzhodu.



Sl. 3. Interpretiran hidrogeološki profil A – B na Prekmurskem polju (glej sl. 2).

Fig. 3. Hydrogeological profile A – B in Prekmursko polje (see Fig. 2).



Sl. 4. Interpretiran hidrogeološki profil C – D na prehodu z Goriškega na Prekmursko polje (glej sl. 2).

Fig. 4. Hydrogeological profile C – D in transition area from Goričko to Prekmursko polje (see Fig. 2).

Podzemna voda na južnem obrobju Goriškega je kot pričakovano, globlja. Izjema je vodnjak v Vaneči, kjer je bila gladina podzemne vode izmerjena na globini 0,5 m (241,90 m.n.v.). V tem primeru gre najverjetneje za viseči vodonosnik, vezan na plast gline, katere pojavljanje je v tem predelu pogosto (CIGLAR, 1975; BRENČIČ, 2006). V ostalih vodnjakih se podzemna voda nahaja na globini med 8 in 24 m.

Prevladujoča smer toka podzemne vode na južnih obronkih Goriškega je vezana na smeri vodotokov, ki tečejo v smeri od SSV proti JJZ, ter na oblikovanost reliefa, ki pada v enaki smeri. Dodaten vpliv na obliko gladine podzemne vode na južnih obronkih Goriškega imajo tudi sedimenti, v katerih se izmenjujejo drobnozrnati (gline in melji) in debelejši (pesek in prod) sedimenti. Zaradi tega smo območje opredelili kot slabše prepustno od Prekmurskega polja. Posledica tega so višji gradienti gladin podzemne vode na južnem robu Goriškega. Vrednosti gradientov se gibljejo na intervalu od 0,011 do 0,013. Vzpetine med površinskimi vodotoki predstavljajo

razvodnice, kjer se podzemna voda razteka na vzhod in zahod, lokalno tok podzemne vode praviloma sledi pobočjem. Izrazita razvodnica je tako prisotna med Bodonskim potokom in Šalamenskim potokom ter med Puconskim potokom in Sebeborskim potokom. V vzhodnem delu obravnavanega območja lahko glede na podatke iz zahodnega dela obravnavanega območja, interpretiramo smer toka podzemne vode v smeri severa proti jugu.

Na prehodu z Goriškega v Prekmursko polje se smer toka podzemne vode spremeni, tok se iz smeri SSE-JJZ obrne v smeri SZ-JV. Tako korenita sprememba smeri in gradientov gladine na stičnem območju, ki se gibljejo okoli 0,01 nakazujejo, da je prepustnost sedimentov relativno nizka. Od tod izhaja, da je bilančno gledano prispevek napajanja podzemne vode iz območja Goriškega na območje Prekmurskega polja relativno majhen.

Na dan meritev fizikalno-kemijskih parametrov podzemne vode, je znašala povprečna temperatura zraka na meteorološki postaji Murska Sobota

Tabela 1. Fizikalno-kemijski parametri podzemne vode in njena gladina izmerjena 25. 4. 2014.

Table 1. Groundwater's physicochemical parameters and groundwater level, measured 25. 4. 2014.

	Lokacija / Location	GKX	GKY	Kota ustja (m.n.v.) / Well construction elevation (m.a.s.l.)	Globina do podzemne vode / Groundwater depth (m)	Kota gladine podzemne vode (m.n.v.) / Groundwater elevation (m.a.s.l.)	Globina vodnjaka / Well depth (m)	pH	Elektro- vodnost / Electrical conductivity (µS/cm)	Temperatura vode / Water temperature (°C)
Južni rob Goriškega / Southern edge of Goričko	Bodonci	176821	585466	240,25	16,75	223,50	20	6,8	282	13,8
	Šalamenci 1	176809	585906	247,10	23,90	223,20	36	7,1	422	14,0
	Šalamenci 2	176607	586087	235,65	13,70	221,95	17	7,0	1492	13,0
	Vaneča	176773	589237	242,40	1,40	241,00	4	7,0	201	13,7
	Sebeborci	175197	591929	230,20	8,30	221,90	17	7,1	441	13,7
Severni rob Prekmurskega polja / North edge of Prekmursko polje	Strukovci	174023	581487	205,32	1,65	203,67	6	7,3	785	13,3
	Puževci	174050	582791	206,37	3,60	202,77	7	7,4	1516	13,7
	Brezovci	173899	585838	201,70	2,20	199,50	7	7,1	534	13,2
	Puconci	173714	588952	204,00	2,65	201,35	5	7,2	454	13,6
	Martjanci	172001	591441	194,60	2,80	191,80	6	7,3	331	13,1
	Tešanovci	171091	596401	184,50	4,60	179,90	6	7,1	496	12,5
	Bogojina	170940	598307	184,50	2,20	182,30	4	6,7	852	13,2
Merilna mesta ARSO / Sampling location ARSO	Skakovci	173930	580300	206,10	1,75	204,35	/	/	/	/
	Nemčavci	171380	590400	193,43	3,75	189,68	/	/	/	/
	Murski Petrovci	169700	580520	201,79	2,85	198,94	/	/	/	/
	Rankovci	170600	583050	198,29	1,59	196,70	/	/	/	/
	Krog	167090	587680	189,99	2,61	187,38	/	/	/	/
	Lipovci	165060	594540	180,89	2,26	178,63	/	/	/	/

– Rakičan 14,2 °C (INTERNET 3). Terenske meritve fizikalno-kemijskih parametrov so pokazale, da se vode zelo razlikujejo (Tabela 1). Najvišje vrednosti elektroprevodnosti so bile izmerjene v vodnjaku Puževci (1516 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sledi mu vodnjak Šalamenci 2 (1492 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Dokaj visoke vrednosti elektroprevodnosti so prisotne tudi v nekaterih drugih vodnjakih (Bogojina in Strukovci) in kažejo na onesnaženje, katerega izvor sta najverjetneje kmetovanje in pridelava ohišnice. Povprečna temperatura in pH vrednost podzemne vode, znašata 13,4 °C in 7,1.

Sklep

Na podlagi hidrogeološkega kartiranja smo na območju prehoda med Goričkim in Prekmurskim poljem izdelali podrobno karto gladin podzemne vode. S pomočjo te kartesmo potrdili hipotezo, da se podzemna voda severnega dela Prekmurskega polja napaja z Goriškega. Glede na prostorsko porazdelitev gladine podzemne vode ocenjujemo, da je bilančni prispevek tega dotoka relativno majhen. Zaradi vertikalnega in horizontalnega izmenjavanja sedimentov različne zrnivosti in s tem prepustnosti, se pojavljajo različne hidrodinamsko pogojene vodonosne strukture, od odprtih do polzaprtih vodonosnikov. Kakšno je medsebojno hidravlično razmerje podzemne vode v njih še ni znano. V zvezi s hidrogeološkimi razmerami na obravnavanem območju ostaja vrsta vprašanj še odprtih.

Do nadaljnjega ostaja odprto tudi vprašanje, ali površinski vodotoki vodonosnikom predstavljajo hidravlično mejo in v kakšni meri napajajo podzemno vodo. V prispevku smo takšno vlogo vodotokov le predpostavili, ker je bila gostota opravljenih meritev gladin podzemne vode v prostoru premajhna, da bi omogočila zanesljiv izris gladin podzemne vode.

Navkljub analizi vseh razpoložljivih podatkov, brez dopolnilnih raziskav, ki bodo vključevale vrtanje dodatnih opazovalnih vrtin ter geofizikalne raziskave, podrobnejše interpretacije hidrogeoloških razmer na obravnavanem območju, ni mogoče podati. K razjasnitvi vprašanj in izračunu vodne bilance bi veliko prispeval tudi matematični model toka podzemne vode, katerega zanesljivost je pogojena z dobrim 3D geološkim modelom in nizom podatkov za njegovo umerjanje.

Zahvala

Zahvaljujemo se Aleksandru Bokanu iz podjetja Geovrtina, d.o.o. za posredovane podatke in sodelavcu Dejanu Šramu, za pomoč pri obdelavi podatkov v programu ArcGIS. Prispevek je bil deloma pripravljen v okviru aktivnosti programske skupine »Podzemne vode in geokemija« P-0020, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS. Hvala tudi dr. Nini Rman za natančen pregled članka ter konstruktivne predloge za izboljšanje članka.

Literatura

- BEGUŠ, T., SOTLAR, K., HOBLAJ, R. & BRENČIČ, M.: Geološka spremljava izgradnje predora Stanjevci. *Geologija*, 45/2: 305–310, doi:10.5474/geologija.2002.024.
- BRENČIČ, M. 2003: Hidrogeološko poročilo za potrebe izdelave obratovalnega monitoringa na odlagališču Puconci (neobjavljeno poročilo). Ljubljana, Arhiv GeoZS: 5 str.
- BRENČIČ, M. 2006: Hidrogeološka interpretacija monitoringa gladin podzemne vode na odlagališču Puconci za leto 2005 (neobjavljeno poročilo). Ljubljana, GeoZS: 14 str.
- BRENČIČ, M. 2008: Hidrogeološko poročilo za potrebe izvajanja monitoringa podzemne vode na območju sortirnice odpadkov CERO Puconci (neobjavljeno poročilo). Ljubljana, Arhiv GeoZS: 27 str.
- BRENČIČ, M. 2009: Podzemna voda. V: PLENIČAR, M., OGORELEC, B. & NOVAK, M. (ured.): *Geologija Slovenije*, 543–552.
- CIGLAR, K. 1975: Poročilo o geoloških raziskavah kremenovega proda in peska Puconci 1974 (neobjavljeno poročilo). Ljubljana, Arhiv GeoZS: 272 str.
- CIGLAR, K. & FILIPIČ, Š. 1987: Kremenov pesek in prod Puconci. *Geologija*, 30: 333–342.
- ČARMAN, M. 2014: Bočno razširjanje kot posebna oblika gibanja tal na območju Doline v občini Puconci. *Geologija*, 57/1, 63–70, doi:10.5474/geologija.2014.007.
- DROBNE, F. 1989: Tehnološko-ekološki projekt za ureditev sanitarnega deponiranja komunalnih odpadov pri Puconcih (neobjavljeno poročilo). Geološka in hidrogeološka presoja. Ljubljana, Arhiv GeoZS: 2 str.
- ESRI 2014: ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- GAMS, I. 1959: Geomorfologija in izraba tal v Pomurju. *Geološki zbornik*, 5: 205–251.
- GOSAR, A. 1996: Modeliranje refleksijskih seizmičnih podatkov za podzemno skladiščenje plina v strukturah Pečarovci in Dankovci – Murska depresija. *Geologija*, 37/38 (1994/95): 483–549, doi:10.5474/geologija.1995.019.
- JELEN, B. & RIFELJ, H. 2011: Površinska litostratigrafska in tektonska strukturna karta območja T-JAM projekta, Severovzhodna Slovenija., *GeoZS*, http://www.geo-zs.si/UserFiles/677/Image/Karte_nasl/15062012_dmv.pdf
- KRALJ, P. 1979: Hidrogeologija severnega dela Murskega polja. Diplomsko naloga, Univerza v Ljubljani, VTO Montanistika, Odsek za geologijo, Ljubljana: 61 str.
- KRALJ, P. 1999: Apofilit iz zgornjepliocenskih vulkanoklastitov Grada v severovzhodni Sloveniji. *Geologija*, 42: 151–158, doi:10.5474/geologija.1999.009.
- KRALJ, P. 2003: Geochemistry of Upper Pliocene silty and sandy sediments from the well Mt-7, Moravci Spa, North-Eastern. *Geologija*, 46/1: 117–122, doi:10.5474/geologija.2003.011.

- MALI, N. & HÖTZL, M. 1990: Hidrogeološke in hidrogeokemične raziskave podtalnice na območju SOB Lendava med reko Muro in Ledavo (neobjavljeno poročilo). Ljubljana, Arhiv GeoZS, 10 str.
- MIHORKO, P. & GACIN, M. 2014: Ocena kemijskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2013. Ljubljana, ARSO.
- MOP – GURS, 2011: Digitalni model višine 5 × 5 m. Ljubljana.
- NOVAK, D. 1966: Hidrogeološke razmere v območju nahajališča kremenovega peska v Puconcih (neobjavljeno poročilo). Ljubljana, Arhiv GeoZS, 9 str.
- PLENIČAR, M. 1954: Obmurska naftna nahajališča. *Geologija*, 2: 36–93.
- PLENIČAR, M. 1970: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač za list Goričko in Leibnitz (L 33-45) Beograd: Zvezni geološki zavod, Beograd: 52 str.
- PRESTOR, J., URBANC, J., JANŽA, M., MEGLIČ, P., ŠINIGOJ, J., HRIBERNIK, K., KOMAC, M., STROJAN, M., BIZJAK, M., FEGUŠ, B., BRENČIČ, M., KRIVIC, M., KUMELJ, Š., POŽAR, M., HÖTZL, M., SUŠNIK, A., BENČINA, D., KRANJC, M. & GACIN, M. 2006: Nacionalna baza hidrogeoloških podatkov za opredelitev teles podzemne vode Republike Slovenije (neobjavljeno poročilo). Geološki zavod Slovenije, 27 zvezkov. <http://prenit.geo-zs.si/IstraHidro/images/Povezave/3-Metodologija.pdf>
- RMAN, N., LAPANJE, A. & RAJVER, D. 2012: Analiza uporabe termalne vode v severovzhodni Sloveniji. *Geologija*, 55/2: 225–242, doi: doi:10.5474/geologija.2012.014
- YANG, C., KAO, S., LEE, F. & HUNG, P. 2004: Twelve Different Interpolation Methods: A Case Study of Surfer 8.0. *International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*, 35/2: 778–785.
- ŽLEBNIK, L. 1974: Hidrogeološke razmere v Nuskovi na Goričkem. *Geologija*, 17: 477–491.
- Internetni viri:
 INTERNET 1: Atlas okolja. <http://gis.arso.gov.si/> (4. 11. 2015)
 INTERNET 2: http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pod_arhiv_tab.php (26. 4. 2014)
 INTERNET 3: <http://meteo.arso.gov.si/> (26. 4. 2014)