

# S kom si delimo termalno vodo v Pomurju?

Nina Rman

Najpomembnejši regionalni geotermalni vodonosnik v severovzhodni Sloveniji predstavljajo zgornjemiocenski peski, ki so poimenovani Murska formacija. Ti se zvezno razprostirajo na območju, velikem 22.175 kvadratnih kilometrov, ter segajo še na Hrvaško, Madžarsko, Slovaško in v Avstrijo. V njih je v globini 1 do 2 kilometrov uskladiščena ogreta pleistocenska deževnica, ki se je med svojo potjo skozi kamnine preobrazila v srednjemineralizirano termalno vodo tipa Na-HCO<sub>3</sub>. Iz številnih vrtin se pridobiva termalna voda s povprečno temperaturo od 50 do 60 stopinj Celzija, ki je zelo primerna za rabo geotermalne toplote za daljinsko ogrevanje mest, individualnih prostorov in rastlinjakov, še bolj pogosta pa je njena raba za kopanje in zdravljenje. Zaradi velikega števila uporabnikov in le ene reinjekcijske vrtine se količinsko stanje tega geotermalnega vodonosnika spreminja, s čimer postaja vse pomembnejše vprašanje njegovega trajnostnega upravljanja.

Kadar potopimo telo v prijetno ogreto zdravilno vodo ali čofnemo s tobogana v poln bazen termalne vode, se verjetno niti ne vprašamo, od kod izvira. Termalna podzemna voda je dragocen naravni vir, ki na površje izteka iz toplih oziroma termalnih izvirov, vodnjakov ali vrtin. Njena temperatura in sestava sta pogojeni z geološko zgradbo ozemlja, skozi katerega se pretaka. V večjem delu Slovenije je vezana na globoke in prepustne prelome, po katerih kroži in se v globini segreva. Povsem drugače je na območju severovzhodne Slovenije, vzhodno od Zreč in Maribora, kjer je v zgornjemiocenskih peskih razvit regionalni in čezmejni geotermalni vodonosnik v Murski formaciji.

Njegov obseg in lastnosti raziskujemo v okviru mednarodne študije nacionalnih geoloških zavodov Slovenije (GeoZS), Avstrije (GBA), Madžarske (MFGI) in Slovaške (SGUDS).

## Geološka zgradba ozemlja

Na območju današnje severovzhodne Slovenije se razprostira Mursko-Zalski sedimentacijski bazen, ki hkrati predstavlja zahodno obrobje Panonskega bazena. V zgornjem miocenu pred približno 10 milijoni let je območje prekrivalo še vedno pogrezajoče se Panonsko morje, ki je bilo tedaj podobno današnjemu Kaspijskemu jezeru. Vanj so reke z območja dvigajočih se Alp prinašale raznovrstni klastični sediment, na primer prod, pesek, melj in glino. Odlagale so ga v obsežnih rečnih deltah in ga tako postopoma zasipavale. Ko so reke dosegle morje, je njihova hitrost naglo upadla, zato so se v tako imenovanem čelu delt odložila debelejša zrna, predvsem pesek v velikosti do 2 milimetrov, nekoliko dlje v morje pa je odneslo drobnejša zrna melja in gline, ki so se usedala iz suspenzije blatne vode. Zaradi stalnega dotoka sedimenta so čela delt napredovala proti globljim delom morja na jugovzhod, za njimi pa je nastajala obširna deltna ravnica. V novem okolju so prevladovala močvirja, ki so jih pogosto poplavljal reke. Peščene sedimente deltnega čela so tako prekrili meljasti in glinasti poplavni sedimenti deltne ravnice. Vse počasnejše pogrezanje dna bazena in hkratio zasipavanje ravnice, na kateri je uspevalo bujno rastlinje, sta omogočila nastanek premoških plasti. Vse opisane sedimente, odložene v deltnem okolju, uvrščamo v tako imenovano Mursko formacijo. Delno prepustni peščeni sedi-

menti deltnega čela tvorijo pomemben regionalni rezervoar podzemne vode, ki je v večjem delu ločen od niže ležečih in starejših vodonosnikov z zelo slabo prepustno podlago iz glinenih laporjev Lendavske formacije. Navzgor ga zapira manj prepusten pokrov iz poplavnih sedimentov deltne ravnice.

V pliocenu, pred približno 5 milijoni let, se je zasipavanje preostalega jezerskega bazena končalo. Morje se je iz vzhodne Slovenije dokončno umaknilo in za seboj pustilo obširne rečne ravnice. Vztrajno dvigajoče se Alpe so zagotavljale dotok novega sedimenta, s katerim so predhodnice današnjih rek Drave, Mure, Zale in Donave zasipale obale in dno izginulega Panonskega morja. Te bolj debelozrnate rečne sedimente peska ter leč proda in gline, ki so nastali v okolju, precej podobnemu današnji Panonski nižini, uvrščamo v Ptujsko – grajsko formacijo.

Prenos geološkega znanja v mednarodnem prostoru je v zadnjih letih bistveno intenzivnejši kot prej. Na podlagi sodelovanja v mednarodnih evropskih in bilateralnih projektih Transthermal, T-JAM in Transenergy smo geologi dognali, da so se zelo podobni geološki procesi odvijali v celotnem zahodnem delu Panonskega sedimentacijskega bazena. Zgornjemiocenske peščenice in vodonosne plasti deltnega čela se v obsegu približno 22.175 kvadratnih kilometrov zvezno razprostirajo v sosednje države, le poimenovane so različno: Murska formacija v Sloveniji, formacija Újfalu na Madžarskem, formaciji Beladice ter Ivánka na Slovaškem oziroma preprosto zgornji miocenski peski v Avstriji (slika 1 in 2).

### **Geotermične razmere pod površjem**

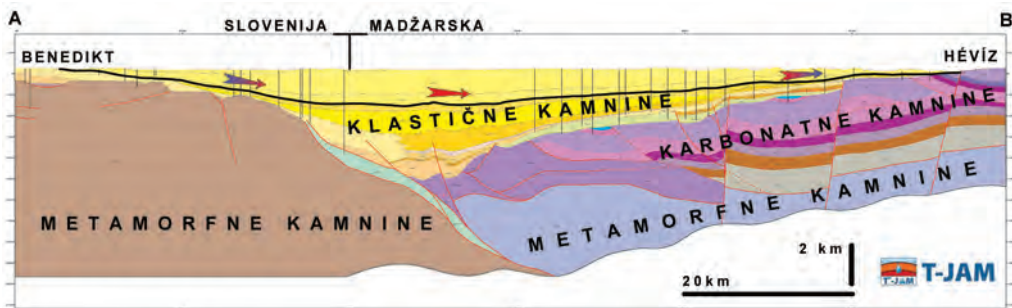
Na območju Panonskega bazena je ugotovljena več tisoč kilometrov velika pozitivna toplotna anomalija, ki je posledica zapletenih geoloških procesov tonjenja in narivanja tektonskih plošč, ki so se začeli v mioценu. V severovzhodni Sloveniji je globina do Mohorovičičeve diskontinuitete manj kot 30 kilometrov, kar izdatno ogreva celotno ob-

močje s stanjšano Zemljino skorjo po principu kondukcije. Temperatura pod površjem je pogojena predvsem z geološko zgradbo ozemlja in virom toplote ter praviloma narašča z globino. V zahodnem delu Panonskega bazena, kamor uvrščamo tudi Slovenijo, sta v globini 1000 metrov opazna še dva pojava, ki vplivata na temperaturno polje. Območja s povišano temperaturo pripisujemo lokalnim konvekcijskim celicam, torej dviganju termalne vode po prostorsko omejenih, a zelo prepustnih prelomih conah oziroma kraških kanalih, kot so ugotovljeni v Benediktu v Sloveniji in Hévízu na Madžarskem (slika 3). Nasprotno so na robnih območjih, kjer se dvigajo Vzhodne Alpe, Transdunubijsko hribovje ter Karpati, zaradi močnejše in globlje infiltracije hladne vode merjene nižje temperature od pričakovanih.

Ogreta podzemna voda je najpogostejši medij, ki prenaša geotermalno energijo na površje, zato so za njeno izrabo najzanimivejši dovolj obsežni in izdatni geotermalni vodonosniki v ekonomsko dostopnih globinah. Slednje preprosto pomeni, da mora biti prihranek ali dobiček zaradi rabe geotermalne energije večji od stroškov vrtanja globokih vrtin. V Sloveniji iz zgornjemiocenskega peščenega geotermalnega vodonosnika pridobivamo do 66 stopinj Celzija ogreto termalno vodo, kar je podobno kot na Madžarskem. Na Slovaškem izteka termalna voda s temperaturo do 90 stopinj Celzija, v Avstriji pa ima najvišjo temperaturo le nekaj nad 40 stopinj Celzija.

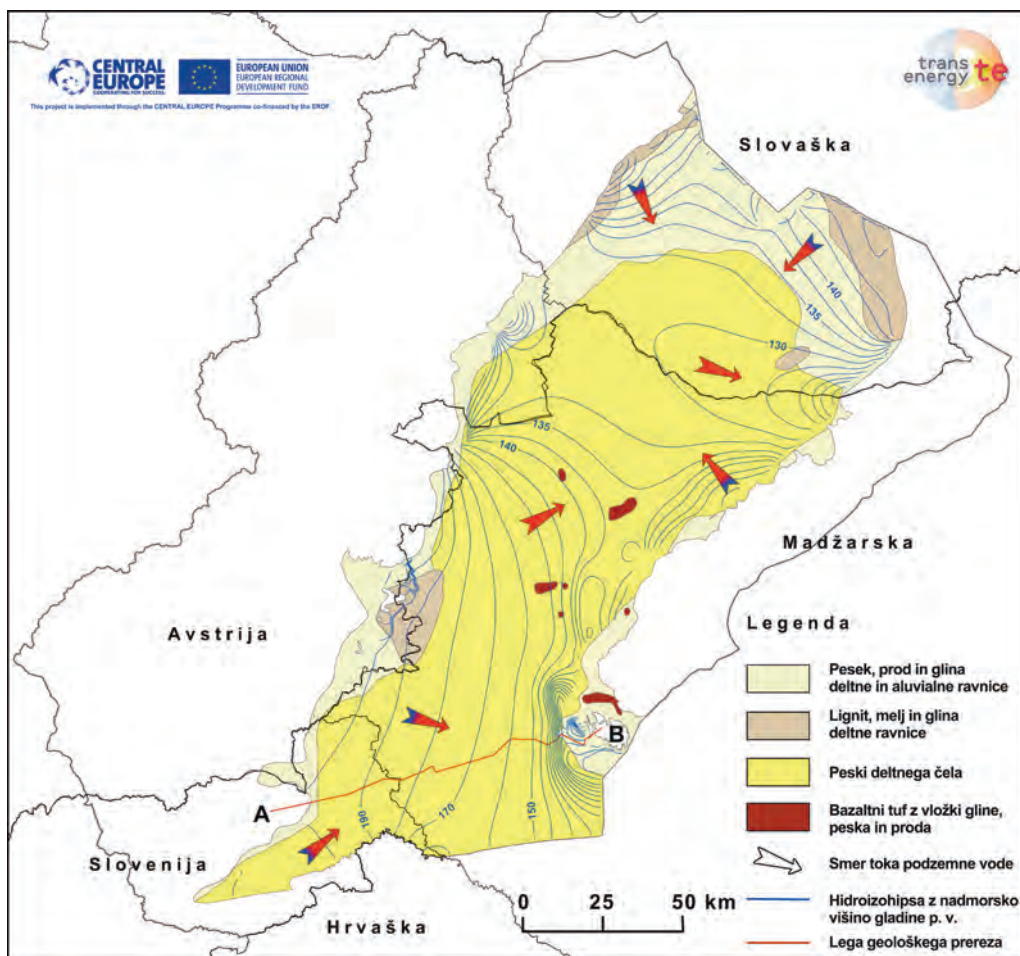
### **Čezmejni regionalni peščeni geotermalni vodonosnik**

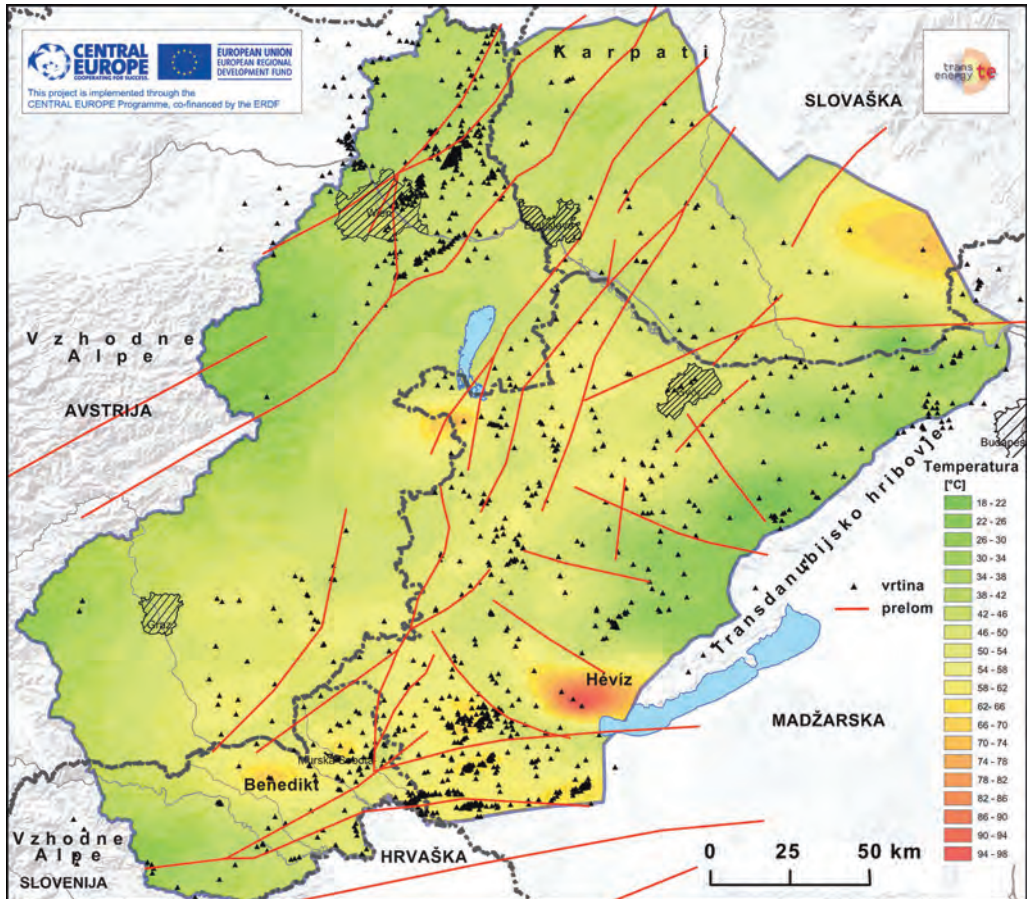
Večinoma slabo sprijeti zgornjemiocenski peski Murske formacije z medzrnsko poroznostjo in dobro vodoprepustnostjo se zvezno nadaljujejo v sosednje države (slike 1, 2 in 4) in predstavljajo enega najpomembnejših čezmejnih in regionalnih geotermalnih vodonosnikov v tem delu Srednje Evrope. Tudi plitvejši vodonosniki v Ptujskograjski formaciji se nadaljujejo preko državnih meja



Slika 1: Shematski geološki prerez Mursko-Zalskega bazena v smeri ZJZ-VSV med Benediktom v Sloveniji in Hévízom na Madžarskem. Odebeljena črna črta predstavlja spodnjo mejo Murske formacije, za katero je značilen regionalni podzemni tok termalne vode (smer je prikazana s puščicami). Avtorji: Fodor, L., in sod., © GeoZS, MFGI. Lega preseka je označena na sliki 2.

Slika 2: Kamninska sestava regionalnega geotermalnega vodonosnika z označeno smerjo naravnega toka podzemne vode (odvzem termalne vode z vrtinami ni upoštevan). Avtorji: Tóth, G., in sod., © GeoZS, MFGI, SGUDS, GBA.





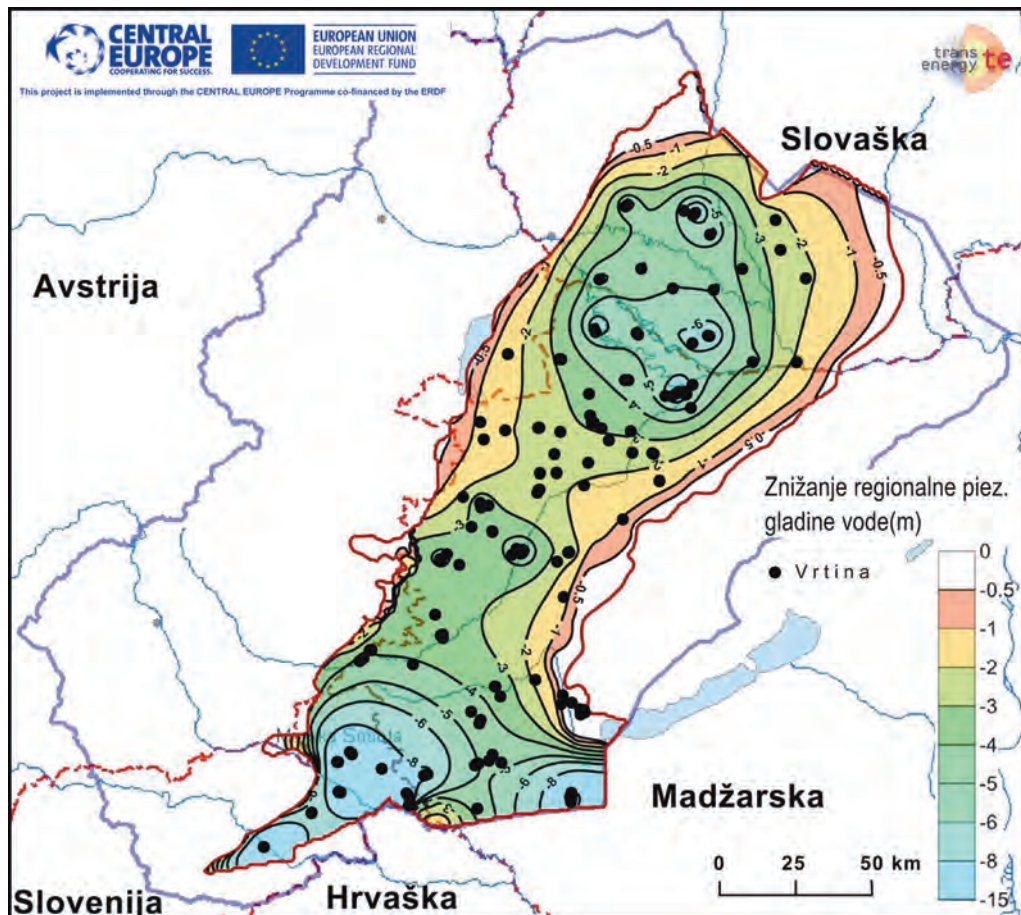
Slika 3: Modelirana temperatura v globini enega kilometra pod površjem, izračunana na podlagi meritev v vrtinah (črni trikotniki).

Avtorji: Goetzl, G. et al. © GeoZS, MFGI, SGUDS, GBA.

in v globljih delih že vsebujejo ogreto vodo, a z vidika pridobivanja geotermalne energije zaradi nižje temperature podzemne vode niso zelo pomembni.

Geotermalni vodonosnik se napaja z infiltracijo padavin v tla na območjih, kjer plasti izdajajo na površje, ali pa z vertikalnim in horizontalnim izcejanjem vode iz okoliških hidravlično povezanih plasti. Hribovja, kot so Pohorje, Goričko in Slovenske gorice v Sloveniji, Transdanubijsko hribovje na Madžarskem, Vzhodne Alpe v Avstriji in Karpati na Slovaškem (slika 3), določajo smer gravitacijskega toka hladne infiltrirane vo-

de z obrobij proti osrednjemu delu bazena. Njihov vpliv na znižanje pričakovane temperature je opazen nekako do globine dveh kilometrov. Med počasnim tokom podzemne vode v večje globine se ta ogreva, tako nastala termalna voda pa se zaradi nižje gostote dviga in pretaka proti drenažnim conam z izviri, ki vsebujejo termalno ali pa zaradi počasnega toka proti površini že ohlajeno vodo. Nam najbližji naravni iztok iz opazovanega sistema predstavlja termalno jezero Hévíz, ki leži zahodno od Blatnega jezera (sliki 1 in 3). Približno pet odstotkov njegovega dotoka prihaja iz opisanega regi-



Slika 4: Izračunano znižanje piezometrične gladine podzemne vode v regionalnem geotermalnem vodonosniku ob doseženem novem ravnotežnem stanju zaradi odvzema termalne vode iz prikazanih geotermalnih vrtin.

Avtorji: Tóth, G. et al. © GeoZS, MFGI, SGUDS, GBA.

onalnega vodonosnika. Preostala termalna voda izteka iz zakraselega območja hribovja Bakony, katerega hidrogeološki sistem imenujemo tudi termalni kras.

Termalna voda iz regionalnega geotermalnega vodonosnika je srednje mineralizirana, saj vsebuje od 300 do 4.000 miligramov v litru raztopljenih snovi. Kemična sestava te padavinske vode se med podzemnim tokom skozi tla in kamnine spreminja oziroma razvija. Infiltrirana voda je običajno hidrogeokemičnega tipa Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, sčasoma pa se zaradi dolgega zadrževalnega časa in različnih geokemičnih reakcij med kamni-

no, vodo in plini v tleh preobrazi v tip Na-HCO<sub>3</sub>. Zaradi zelo počasnega regionalnega toka vode je njena ugotovljena starost več deset tisoč let ter na Madžarskem sega celo v čas riško-würmske medledene dobe v pleistocenu. Voda nima stika z zrakom in je reducirana, zato so v njej pogosto raztopljeni geogeno železo, mangan in drugi kovinski ioni. Termalna voda običajno ne vsebuje prostega ogljikovega dioksida in ni tehnološko zahtevna za uporabo, saj se iz nje praviloma ne obarjajo minerali (tako imenovani vodni kamen) niti ni pretirano korozivna.

### Raba in posledice rabe termalne vode

Zaradi razmeroma visokih temperatur in širokih možnosti uporabe se termalna voda pridobiva iz kar 170 geotermalnih vrtin, od tega jih je 78 odstotkov na Madžarskem, 13 odstotkov na Slovaškem, 9 odstotkov v Sloveniji in le ena v Avstriji (slika 4). V Sloveniji in na Slovaškem se uporablja predvsem za pridobivanje geotermalne energije, torej odvzem toplote za različne načine ogrevanja prostorov, in ko je že nekoliko ohlajena, za polnjenje plavalnih bazenov in zdravilne terapije. V severovzhodni Sloveniji se s to termalno vodo ogreva devet kopališč in zdravilišč ter njihovi plavalni in zdravilni bazeni. Poleg tega v hladnem delu leta obratuje daljinsko ogrevanje dveh mest, Lendave in Murske Sobote, ter rastlinjaka orhidej v Dobrovniku in paradižnika v Tešanovcih in Renkovcih. Edinole v Lendavi je vzpostavljen geotermalni par vrtin s proizvodno in vtiskovalno/reinjekcijsko vrtino, skozi katero se nazaj v vodonosnik vtiskuje toplotno izrabljena (torej ohlajena) termalna voda, ki se uporablja za daljinsko ogrevanje. Kot zanimivost in primera dobre prakse lahko omenim še sistem taljenja snega na javnih površinah v Lendavi in ogrevanje nogometnega igrišča v Moravskih Toplicah. Na Madžarskem nasprotno prevladuje raba za kopanje in v zdraviliške namene, zelo pogosto pa vodo s temperaturo od 20 do 30 stopinj Celzija uporabljajo tudi kot vir pitne oziroma tehnološke vode. Letni odvzem termalne vode iz celotnega vodonosnika na raziskanem območju je dosegel približno 12 milijonov kubičnih metrov v letu 2009, od tega približno 20 odstotkov v Sloveniji, in se polagoma povečuje.

Zgodovinski odvzem termalne vode iz vodonosnika povzroča spremembe smeri in velikosti toka podzemne vode v bližini pridobivalnih vrtin. Lokalno znižanje piezometrične gladine podzemne vode se zaradi dolgotrajnega odvzema velikih količin in na območjih z veliko gostoto delujočih vrtin širi po vodonosniku in povzroča njeno re-

gionalno znižanje. Takšen trend je opazen tudi v severovzhodni Sloveniji, kjer odvzem ponekod že presega naravno napajanje vodonosnika. To se kaže s stalnim počasnim upadom merjene gladine podzemne vode, znižano izdatnostjo vrtin ter spremenjeno kemično in izotopsko sestavo termalne vode. Slabšanje količinskega stanja vodonosnika ni zaskrbljujoče samo z ekološkega vidika ohranjanja naravnega stanja v njem, ampak bo sčasoma povzročilo tudi gospodarsko škodo uporabnikom. Pridobivanje vode bo vse težje in manj gospodarno, ker bo potrebna namestitvev vse močnejših in globljih potopnih črpalk v vrtine. Ker je glavno napajalno območje tega regionalnega vodonosnika v Sloveniji, se moramo zavedati, da s prevelikim odvzemom pri nas spreminjamo hidrodinamične razmere tudi v sosednjih državah, še posebej v jugozahodni Madžarski. Podoben položaj je zaradi naravnih danosti nastal tudi ob madžarsko-slovaški državni meji.

### Namesto zaključka

Okoljevarstveni in gospodarski vidik trajnostne rabe naravnih virov postajata vse pomembnejša tudi pri upravljanju s podzemnimi vodnimi viri. Čezmejni regionalni zgornjemiocenski peščeni geotermalni vodonosnik, ki se razprostira iz severovzhodne Slovenije na severovzhodno Hrvaško, zahodno Madžarsko, vzhodno Avstrijo in jugozahodno Slovaško, ni pomemben le za enajst slovenskih uporabnikov, ampak ima njihovo gospodarjenje zaradi geoloških danosti vpliv tudi na druge v sosednjih državah. Naj torej opozarjanje na racionalno rabo termalne vode ne izzveni v prazno, saj si bomo le s tem zagotovili dolgoročno oskrbo s tako pomembnim virom geotermalne energije in zdravilne termalne vode ter preprečili nepotrebne obmejne spore.



**Nina Rman** se je rodila leta 1982. Leta 2006 je diplomirala iz geologije na Naravoslovnotehnični fakulteti v Ljubljani in se zaposlila kot mlada raziskovalka na Geološkem zavodu Slovenije. Leta 2007 je pridobila podiplomski certifikat o tehnologiji geotermalne energije na Geotermalnem inštitutu Univerze v Aucklandu na Novi Zelandiji. Od takrat v okviru doktorske naloge analizira vpliv pridobivanja termalne vode na fizikalno in kemično stanje nizkotemperaturnih geotermalnih sistemov v sedimentacijskih bazenih, še posebej vodonosnikov v severovzhodni Sloveniji. V sklopu mednarodnih projektnih skupin T-JAM in Transenergy raziskuje tudi lastnosti regionalnih in čezmejnih geotermalnih vodonosnikov.

#### Slovarček:

*Mohorovičičeva diskontinuiteta. Meja med trdno Zemljino skorjo in njenim plastičnim plaščem.*

*Piezometrična gladina podzemne vode. Navidezna ploskev, do katere se dvigne gladina podzemne vode v vrtnah in vodnjakih.*

*Pleistocen. Časovno obdobje kvartarja od približno 1,8 milijona do 10.500 let pred današnjim časom, za katerega je značilno menjavanje ledenih in medledenih dob.*  
*Reinjekcija. Tehnični postopek vtiskovanja ali vračanja vode v vodonosnik.*

*Sedimentacijski bazen. Pogreznjeno območje, v katerem se na kopnem ali v vodi odlagajo drobci anorganskih in organskih delcev oziroma sediment.*

*Termalna voda. Podzemna voda, ki ima na izviru ali iztoku iz vrtnice vsaj 20 stopinj Celzija.*

*Vodonosnik ali rezervoar. Porozna in prepustna kamnina, zapolnjena z vodo, iz katere je možno gospodarno pridobivati vodo.*

*Zgornji miocen. Časovno obdobje kenozoika od približno 11 do 5 milijonov let pred današnjim časom.*

#### Dodatno branje:

*Fodor, L., in sod., 2011: Geološki konceptualni model v okviru projekta T-JAM (<http://www.t-jam.eu/rezultati-projekta/>). GeoZS, MFGI: 1-54.*

*Goetzl, G., in sod., 2012: Summary report: Geothermal Models at Supra-Regional Scale. MFGI, GBA, GeoSZ, SGUDS: 1-91.*

*Gyula, M., in sod., 2012: Summary report of Geological models (<http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>). MFGI, GeoZS, GBA, SGUDŠ, 1-189.*

*Lapanje, A., Rman, N., 2009: Termalna in termomineralna voda = Thermal and thermomineral water. V: Pleničar, M., in sod.: Geologija Slovenije = The geology of Slovenia, Ljubljana: GeoZS, 553-560.*

*Nádor, A., in sod., 2012: Transboundary geothermal resources of the Mura-Zala basin: joint thermal aquifer management of Slovenia and Hungary. Geologija, 55/2: 209-224.*

*Prestor, J., in sod., 2011: Prekomejno upravljanje - priporočila (<http://www.t-jam.eu/rezultati-projekta/>). Ljubljana, Budimpešta: MAFI, GeoZS, 1-50.*

*Rman, N., in sod., 2011: Water Concession Principles for Geothermal Aquifers in the Mura-Zala Basin, NE Slovenia, Water Resources Management, 25: 3277-3299.*

*Rman, N., in sod., 2012: Analiza uporabe termalne vode v severovzhodni Sloveniji. Geologija, 55/2: 225-242.*

*Szőcs, T., in sod., 2012: The application of isotope and chemical analyses in managing transboundary groundwater resources. Applied Geochemistry - Special Issue (v tisku).*

*Tóth, G., in sod., 2012: Supra-regional hydrogeological report (<http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>). MFGI, GeoZS, GBA, SGUDŠ, 1-67.*

*Tóth, G., in sod., 2011: Matematični model toka podzemne vode (<http://www.t-jam.eu/rezultati-projekta/>). Ljubljana, Budimpešta: MFGI, GeoZS, 1-34.*