

Uporabnost učnega modela medzrnskega vodonosnika za izboljšanje poznavanja dinamike podzemne vode

How to use an educational sand-box model to enhance the knowledge groundwater dynamics

Nina RMAN

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana; e-mail: nina.rman@geo-zs.si

Prejeto / Received 19. 11. 2013; Sprejeto / Accepted 4. 12. 2013

Ključne besede: fizični model, model vodonosnika, model toka vode, peščeni vodonosnik, učni pripomoček
Key words: physical model, aquifer model, groundwater flow model, sand-box aquifer, aquifer in a tank

Izvleček

Prostovoljna anketa o razumevanju dinamike podzemne vode med 45 odraslimi ne-geologi v Sloveniji je pokazala, da petina do četrtina anketiranih slabo pozna omenjeno vsebino. Medtem ko so pojavi, pridobivanje in onesnaževanje podzemne vode dokaj dobro poznani, z izjemo globoko ukoreninjenega (razen na kraškem svetu napačnega) mišljenja o obstoju vodnih žil in podzemnih rek in jezer, je področje zaščite vodnih virov bistveno slabše. Izkazalo se je, da prikazano znanje temelji na izkušnjah kot pa na razumevanju regionalne dinamike podzemne vode. Zato je smiselno pristopiti k sistematičnem izobraževanju o podzemni vodi ne le za geološko ampak tudi za laično javnost. Na pobudo VO-KA iz Ljubljane smo razvili učni model vodonosnika Ljubljanskega polja, ki ga bo podjetje uporabljalo za razširjanje znanja o podzemni in pitni vodi. Model prikazuje pretežno dvodimenzionalni tok podzemne vode v nehomogenem in anizotropnem medzrnskem vodonosniku ter vpliv različnih naravnih pojavov in antropogenih posegov na količinsko in kemijsko stanje podzemne vode. Z njim je mogoče razložiti hidrogeološke pojave na različnih nivojih predznanja, od preproste vizualizacije do njihove številčne opredelitve.

Abstract

Forty-five adults, which do professionally not deal with geology or groundwaters, filled a voluntary questionnaire on groundwater dynamics in Slovenia. The survey pointed out that about a fifth to a quarter of them has a weak knowledge on this topic. Groundwater occurrence, production and pollution are quite well known, excluding a widely spread opinion on subsurface water veins and underground rivers and lakes (which are true only for karstic aquifers), but groundwater protection is much less known. It has turned out that the answers often base on the experience of the interviewee rather than on an understanding of a regional groundwater dynamics. Therefore, we believe that it is worth to start a systematic education on groundwaters not only for geologists but also for general public. The VO-KA company from Ljubljana has given an incentive for development of an educational sand-box model of the Ljubljansko polje aquifer, which will be used to spread knowledge on ground- and drinking water. The model of an inhomogeneous and anisotropic intergranular aquifer has predominately a two-dimensional water flow. It enables visualisation of natural features and anthropogenic on the quantity and quality state of the stored groundwater. It can be used to explain hydrogeological phenomena on various levels of knowledge, from simple visualisation to more complicated mathematical descriptions.

Uvod

V svetu obstaja kar nekaj raziskav o dojetanju hidrogeoloških pojavov oziroma dinamike podzemne vode ter o njihovem učenju in razlagi z učnimi modeli. RODHE (2012) je predstavil uporabo preprostih modelov pri študiju hidrogeologije na Švedskem s podrobnim opisom načina izračuna hidravličnega potenciala in različnih hidrogeoloških parametrov. HAKOUN in sodelavci (2013) so izpostavili potek magistrskega študija hidrogeologije v Franciji, ki zajema tri sklope: predavanja, poizkuse na učnih modelih ter terensko delo.

Ugotovili so, da uporaba učnih modelov vodonosnika že v osnovi zahteva večji angažma predavateljev in študentov kot frontalno podajanje znanja. Z učnimi modeli lahko glede na stopnjo zahtevnosti slušateljev ne le prikažemo (vizualiziramo) procese in parametre, ki določajo dinamiko podzemne vode, ampak jih tudi številčno opredelimo, zato je tak način aktivnega študija izboljšal motivacijo in razumevanje dinamike podzemne vode pri omenjenih študentih. Učni modeli vodonosnika se uporabljajo tudi pri osnovnošolskem poučevanju v Ameriki (MECHENICH, 1995; McCANN et al., 2003; INTERNETNI VIRI), pri nas pa so razmeroma neznani.

V slovenskih osnovnih šolah se učenci med obveznimi osnovnošolskimi predmeti že seznanijo z nekaterimi hidrogeološkimi pojmi. Pri Naravoslovju in tehniki v 5. razredu jim razložijo vodni krog in kaj so podzemna voda, pitna voda, onesnaženje vode, vodne zaloge in oskrba z vodo ter fizikalne lastnosti tal (VODOPIVEC et al., 2011). Pri Naravoslovju v 7. razredu spoznavajo vodo kot kemično spojino (SKVARČ et al., 2011). Pri Kemiji v 8. in 9. razredu slišijo o podzemni vodi kot raztopini in povzročiteljici kraških pojavov (BAČNIK et al., 2011). Pri Geografiji v tretji triadi se seznanijo z analizo vode in vodotokov (KOLNIK et al., 2011). Hidrogeološke vsebine dobijo dodatno pozornost tudi pri dveh izbirnih predmetih v tretji triadi osnovne šole: pri Okoljski vzgoji (vodni cikel, površinske in podzemne vode, onesnaženje vode, ranljivost vodnih virov (MARENTIČ-POŽARNIK et al., 2004) ter pri Kemiji v okolju (kakovost tal in podtalnice (KEUC et al., 2005)). Pri nekaterih geoloških vsebinah je v učnem načrtu predviden ogled geološke ali mineraloške zbirke, dodatni učni pripomočki za razumevanje hidrogeologije ali dinamike podzemne vode pa niso predvideni. Na povabilo osnovnih šol Geološki zavod Slovenije že vrsto let izvaja brezplačne geološke delavnice, izvedenih je bilo že več kot 50, na katerih učenci poleg osnovnih tehnik raziskovanj v petrologiji, mineralogiji in paleontologiji spoznajo tudi delno analizo fizikalnih in kemijskih parametrov vode (RMAN, 2010), a posebnega poudarka na dinamiki podzemne vode ni. V gimnaziji je največ hidrogeoloških vsebin vključenih v Geografijo (DRAGOŠ et al., 2008), o vodi kot o raztopini pa se učijo tudi pri Kemiji (BAČNIK et al., 2008). Pri univerzitetnem študiju geologije se v okviru Hidrogeologije v 3. letniku bolonjskega študija izvajajo laboratorijske vaje (NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA, 2006), a pri tem se učni modeli vodonosnikov (še) ne uporabljajo.

Prvi del v članku predstavljenih aktivnosti se nanaša na prostovoljno anketo o razumevanju dinamike podzemne vode, ki je bila izvedena med 45 polnoletnimi ne-geologi v Sloveniji. Čeprav so učni modeli vodonosnika v prvi meri namenjeni izobraževanju učencev, smo zaradi časovnih omejitev v raziskavo zajeli le odrasle. Predvideli smo, da je njihova splošna razgledanost bolj reprezentativna kot od učencev, saj je od njihovega učenja o hidrogeoloških pojavih v sistemu javnega izobraževanja preteklo veliko več časa. Osnovna hipoteza raziskave je, da je razumevanje dinamike podzemne vode med ne-geologi šibko.

Sočasno z izvedbo ankete smo na pobudo JP Vodovod-Kanalizacija (VO-KA) iz Ljubljane, ki posveča veliko pozornosti izobraževanju o rabi in varovanju virov pitne vode na Ljubljanskem polju in barju za vse starostne skupine, pristopili k izdelavi učnega modela medzrnskega vodonosnika Ljubljanskega polja. Po pregledu izkušenj z učnimi modeli vodonosnikov v svetu in hidrogeoloških osnov Ljubljanskega polja smo izdelali model, ki omogoča prikaz:

1. Fizikalnih procesov v vodonosniku,
2. Odnosa med površinskimi in podzemnimi vodami,
3. Odnosa med površinskimi in podpovršinskimi antropogenimi dejavnostmi ter količinskim in kakovostnim stanjem vodnega vira,
4. Pomena poznavanja naravnih danosti za ustrezno izvajanje zaščite podzemnih vodnih virov pred onesnaženjem.

Interpretacija rezultatov ankete in seznam hidrogeoloških pojavov in parametrov, ki jih lahko prikažemo z uporabo modela vodonosnika Ljubljanskega polja, je predstavljena v poglavju Rezultati in diskusija. Tam so podani tudi predlogi, kako z uporabo učnega modela izboljšati razumevanje posameznih vsebin dinamike podzemne vode, ki so se izkazale kot manj jasne.

Hidrogeološke osnove za razvoj učnega modela

Vodonosnik Ljubljanskega polja je eden izmed največjih in najpomembnejših vodonosnikov v Sloveniji. Največji del ga gradijo pleistocenske prodno-peščene naplavine reke Save, ki so lahko debele do 100 m, in so odložene na zelo slabo prepustne glinaste skrilavce in kremenove peščenjake karbonske in permske starosti, na območju med Dravljami in Brdom pa tudi na dolomit in apnenec mezozojske starosti. Naplavine so deloma sprijete v konglomerat. Trije konglomeratni zasipi in zgornji prodni zasip oblikujejo visoke rečne terase. Nad vsakim zasipom se na več mestih pojavljajo plasti rjave glin s preperelimi prodniki, ki predstavljajo nekdanja tla. Visoka pleistocenska terasa pokriva večji del Ljubljanskega polja, nizka terasa pa se razprostira vzdolž Save in Ljubljane. Debelina posameznih prodnih plasti je nekaj metrov do 16 m (ŽLEBNIK, 1971; DROBNE et al., 1997; PRESTOR et al., 2002). Vzdolž severnega roba visoke terase od Stanežič preko Vižmarij, Ježice, Stožic, Obrij do Zadobrove prode pridobivajo v velikih gramoznicah. Drugi večji pas proda se razprostira vzdolž roba visoke terase od Hrušice do Dobrunj, kjer so tudi številne opuščene gramoznice (PRESTOR et al., 2002).

Prepustnost proda in konglomerata je zaradi heterogenost sestave, primesi melja za različne sprijetosti sedimentov različna tako v navpični kot v vodoravni smeri. V splošnem je prepustnost vodonosnih plasti boljša v osrednjem delu Polja in slabša na obrobju (PRESTOR et al., 2002; ŠRAM et al., 2012). V hidrodinamsko odprtem vodonosniku Ljubljanskega polja se podzemna voda nahaja na globini do 30 m. Podzemna voda se pretaka od severozahoda proti jugovzhodu, oziroma nekako vzporedno s Savo. Gladina podzemne vode je odvisna od vodostaja Save, padavin, odtoka površinskih tokov z obrobja Polja ter podzemnega dotoka z Barja, in niha nekaj metrov. Reka v zgornjem delu, nad Šentjakobskim mostom, napaja vodonosnik, v spodnjem delu pa podzemna voda odteka v strugo Save. Reka Ljubljana na območju do Fužin zaradi nepropustne struge ne vpliva na hidrokemijske razmere v vodonosniku,

dolvodno pa se del podzemne vode drenira vanjo (URBANC & JAMNIK, 2007). Hitrost toka podzemne vode je nekaj metrov na dan (URBANC & JAMNIK, 1998; PRESTOR et al., 2002). Voda se hitro obnavlja in je ponekod onesnažena zaradi kmetijske dejavnosti, a koncentracija nitratov ne presega mejnih vrednosti (URBANC & JAMNIK, 2007). Zaradi velikega odvzema podzemne vode od konca 80. let prejšnjega stoletja in drugih antropogenih posegov so popolnoma presušile studenčnice na vzhodnem delu Polja pod Fužinami, v Slapah, Vevčah, Kašlju, Zalogu ter Spodnji Zadobrovi, Perlezu in Jarškem Brodu (PRESTOR et al., 2002).

Metode dela

Anketa o poznavanju dinamike podzemne vode med splošno javnostjo

Da bi ugotovili, kakšno je splošno poznavanje dinamike podzemne vode in katera vsebinska področja je potrebno nazorno razložiti z uporabo učnega modela vodonosnika, smo opravili prostovoljno anketo med 45 odraslimi anketiranci. Med njimi jih je bilo 82 % starejših od 25 let in 53 % žensk. Anketiranci predstavljajo laično javnost iz Ljubljane in širše okolice in se strokovno ne ukvarjajo s površinskimi ali podzemnimi vodami oziroma geologijo. V anketi so odgovorili na 49 vprašanj pretežno zaprtega tipa. Pri takšnem tipu vprašanj so morali obkrožiti, ali se strinjajo z navedeno trditvijo (da/ne), ali nimajo mnenja o njej (ne vem). Pri odprtem tipu vprašanj so anketiranci prosto odgovorili na vprašanje. Vprašalnik je bil razdeljen na tri vsebinske sklope: pojav podzemne vode (27 vprašanj; 3 odprtega tipa), pridobivanje in izraba podzemne vode (8 vprašanj; 0 odprtega tipa) ter onesnaževanje in zaščita vodnih virov (13 vprašanj; 1 odprtega tipa).

Učni model vodonosnika Ljubljanskega polja

Učni model je izdelan iz lepljenih plošč Pleksi stekla (PMMA - polimetilmetakrilat) dolžine 70 cm, širine 30 cm in višine 50 cm. Območje vodonosnika v modelu je široko 7 cm in je omejeno z zamenljivima stranskima filtroma, ki omogočata enakomeren dotok/odtok vode po celotni višini modela. S tem smo zagotovili pretežno dvodimenzionalen tok vode skozenj ter razmeroma lahko ravnanje pri polnjenju oziroma praznjenju območja vodonosnika z geološkim materialom. Po priporočilih RODHA (2012), je za učne modele vodonosnika najbolj primerno uporabljati dobro sortirane in homogene peske s premerom zrn od pol do dva milimetra. Skladno s tem in z zahtevami po čim bolj realnem prikazu nehomogenosti vodonosnika Ljubljanskega polja, so geološke plasti v modelu vodonosnika Ljubljanskega polja izdelane iz naslednjih snovi (sl. 1):

1. Drobnnozrnatega proda (3,15 – 5,6 mm ter 2,0 – 3,15 mm) v naravni barvi,
2. Debelozrnatega peska (1,0 – 2,0 mm ter 0,5 – 1,5 mm) bele barve,

3. Srednjezrnatega peska (0,3 – 0,8 mm) črne barve in
4. Drobnnozrnatega peska (0,063–1 mm) v naravni barvi.

Nekateri modeli (HAKOUN et al., 2013) so izdelani tako, da uporabljajo le en rezervoar in tako reciklirajo vodo, ki kroži skozi vodonosnik, vendar predavatelji v tem primeru ne uporabljajo barvil za razločevanje omočenega dela vodonosnika. Model vodonosnika Ljubljanskega polja je zasnovan drugače, saj je za boljšo vidljivost gladine in smeri toka vode priporočena uporaba živilskih barvil, ki se idealno mešajo z vodo. Sprednjo stran modela torej sestavlja območje vodonosnika, na zadnji strani pa sta izdelana dva rezervoarja za vodo, eden za čisto (dotok v vodonosnik) in drugi za umazano vodo (odtok iz vodonosnika). Recikliranje obarvane vode bi povzročilo obarvanost celotnega modela, ki bi s tem postal neuporaben, zato je za njegovo pravilno delovanje potrebno vanj dovajati le čisto vodo. Za vzdrževanje pretoka vode skozi vodonosnik (napajanje) se uporablja potopna črpalka, za simulacijo odvzema oziroma črpanja vode iz vrtin pa pretočna črpalka.

Na vrhu vodonosnika sta izoblikovani visoka in nizka rečna terasa, ki sta prekriti z različno imitacijo vegetacije (trava, gozd), tlakovanih površin (mesto) ali območij brez preperinskega pokrova (gramoznica). Za ponazoritev površinskega vodotoka (reke) ali izvira služi najgloblja naluknjana površinska oblika, za prikaz podpovršinskega antropogenega onesnaženja pa je izdelan model pretočne greznice. V modelu sta izvedeni dve opazovalni vrtini, ki sta odprti le na dnu polkrožne cevke, ter šest črpalnih vrtin na treh različnih globinah. Slednje so odprte na dnu ter naluknjane ob strani polkrožnih cevk v dolžini nekaj centimetrov, da bi bile čim bolj podobne pravim vrtinam. Vse vrtine imajo nameščene zamenljive filtrske mrežice, ki preprečujejo iznašanje peska ob črpanju vode. Ob ponovni polnitvi območja vodonosnika se lahko njegova geološka zgradba poljubno spremeni, da zadosti (novi) zeleni vsebini.

Rezultati in diskusija

Anketa o poznavanju dinamike podzemne vode med splošno javnostjo

Pojav podzemne vode

Rezultati prvega vsebinskega sklopa o pojavih podzemne vode so pokazali, da se veliko anketiranih (82 %) zaveda, da je večina pitne vode v Sloveniji podzemna voda, ki izvira iz padavin. Jasno jim je, da globina do podzemne vode ni povsod enaka (96 %), medtem ko je pojem gladine podzemne vode slabo poznan. Le 40 % jih je pritrdilo trditvi, da gladina pove, na kateri nadmorski višini se nahaja podzemna voda. Kljub temu se skoraj vsi (93 %) strinjajo, da gladina podzemne vode ni povsod enaka. To nas-

protje je mogoče razložiti tako, da so bodisi med branjem zamenjali pojma globina do in gladina podzemne vode, ali pa sicer dojemajo pojem gladine, ne znajo pa ga ustrezno (terminološko) pojasniti. Zanimivo je, da skoraj 30 % anketiranih meni, da se podzemna voda ne more nahajati pod morsko gladino. Ker niso imeli možnosti za dodatno pojasnilo njihovega razumevanja, na tej stopnji obdelave podatkov ni mogoče sklepati, kaj to pomeni. Morda menijo, da je pod to koto samo morska voda, ali pa da sploh ni podzemne vode. Vsekakor je to tema, primerna za nadaljnje raziskave. Na vprašanje, ali sta mineralna in termalna voda podzemni vodi, jih je kar petina odgovorila napačno, a z lastnim pripisom, da izvirata iz vrelcev, večjih globin ali Zemljine notranjosti. To kaže, da sicer sumijo, da vodi izvirata iz podzemlja, a si ne znajo ustrezno pojasniti kroženja podzemne vode od območja napajanja do iztoka. Pomanjkljivo razumevanje vodnega kroga je verjetno tudi razlog, da 18 % anketirancev napačno misli, da je voda iz izvirov vedno zdravilna. Do podobnih rezultatov, da je miselnost o čisti in neonesnaženi izvirski vodi še vedno pogosta, so prišli tudi REINFRIED in sodelavci (2012), ki so raziskovali dojemanje pojava izvirov pri 13-letnikih v Švici. Zato za izboljšanje znanja o hidrogeologiji priporočajo jasno razlago vodnega kroga in povezave med površinskimi in podzemnimi vodami, tudi z uporabo učnih modelov. Izmed naših anketirancev se jih je le 62 % strinjalo s trditvijo, da lahko podzemna voda odteka v površinske vode ali izvire, medtem ko jih 80 % meni, da površinske vode lahko napajajo podzemno vodo. Na podlagi teh rezultatov predlagamo, da je z uporabo učnega modela smiselno razložiti osnovne hidrogeološke izraze, kot so vodonosnik, gladina, poroznost, prepustnost, napajanje, iztok, itd. ter še posebej soodvisnost med površinskimi in podzemnimi vodami.

Šestina (16 %) anketirancev verjame, da podzemna voda v tleh miruje. Pri vprašanjih o poroznosti, se jih je 76 % strinjalo s trditvijo, da imajo kamnine prazne prostore med zrni oziroma pore, ki so zapolnjene z vodo ali zrakom, kar kaže da je koncept poroznosti razmeroma poznan. Približno polovica (53 %) anketiranih pozna pojem vodonosnika ter intuitivno ali izkustveno sluti, da niso vse kamnine enako prepustne, in zato voda teče hitreje skozi prod in debelozrnat pesek kot skozi glino in melj (91 %). Kljub temu, in čeprav se jih 82 % strinja, da podzemna voda teče po porah in razpokah v kamninah, si jih hkrati kar 69 % predstavlja, da voda teče po podzemnih kanalih (v velikosti od svinčnika do avta), kjer tvori podzemne reke in jezera. O tej globoko zasidrani (že antični) ideji o vodnih žilah v podzemlju poroča tudi REINFRIED s sodelavci (2012). V Sloveniji, kjer je skoraj polovica ozemlja na kraških tleh (GAMS, 2003), očitno prevladuje poznavanje kraškega tipa vodonosnika nad razpoklinskim in medzrnskim. Slednji sicer prevladujejo na Ljubljanskem polju in v večini kotlin, zapolnjenih z aluvialnimi sedimenti, a njihova dinamika podzemne vode je slabše poznana. Zato je z uporabo izdelanega

učnega modela vodonosnika Ljubljanskega polja vsekakor smiselno razložiti razliko med nezakraselimi in zakraselimi kamninami oziroma kraškimi in medzrnskimi vodonosniki.

Pridobivanje in izraba podzemne vode

V sklopu pridobivanja in izrabe podzemne vode smo prišli do ugotovitve, da je to področje nekoliko slabše poznano kot naravni pojavi podzemne vode. Skoraj vsi (96 %) se sicer strinjajo, da podzemno vodo pridobivamo iz vodnjakov in vrtin, a le slaba polovica (47 %) se jih zaveda, da so za to običajno potrebne črpalke. Vodonosnik dojemajo kot zelo globoko in dokaj lokalno geološko strukturo, saj jih kar polovica (49 %) meni, da so črpalne vrtine običajno globlje od 100 m, a to v Sloveniji večinoma ni potrebno. Iz takšnega dojemanja sledi tudi nizek delež (33 %) tistih, ki se strinjajo, da podzemna voda pripotuje do vrtin z razdalje nekaj kilometrov. Kar tri četrtine (76 %) se jih strinja s trditvijo, da je načrpana pitna voda običajno stara nekaj let (in ne sto ali tisoč let, kot je še bilo na izbiro). Pomanjkljivo znanje o regionalnem dojemanju vodonosnikov in soodvisnosti površinskih in podzemnih voda se kaže tudi v tem, da jih 44 % napačno meni, da lahko iz vodonosnika pridobimo več vode, kot znaša njegovo napajanje. Kar 71 % pa se jih zaveda, da lahko zaradi črpanja bližnjih vrtin presuši izvir ali studenec. Podoben delež (73 %) jih ve, da sočasno črpanje iz več vrtin zmanjša razpoložljivo količino iz posamezne vrtine. S pomočjo učnega modela je torej smiselno natančno razložiti kaj so črpalne vrtine in kako se iz njih pridobiva podzemna voda. Še bolj pa je pomembno, da si ciljna publika ogleda simulacijo črpanja v modelu in dojame, kako odvzem vode na posamezni lokaciji vpliva ne le na okolico posamezne vrtine ampak tudi na regionalno količinsko in kakovostno stanje v vodonosniku.

Onesnaževanje in zaščita vodnih virov

Anketirani iz izkušenj vedo (96 %), da podzemne vode niso vse enake kemijske sestave in zato tudi niso enako čiste in neonesnažene (93 %). Že omenjen delež (18 %) tistih, ki menijo, da je voda v izviroh vedno zdravilna, se ponovi tudi pri napačni trditvi, da je voda iz vrtin in vodnjakov vedno čista in neonesnažena. Problematično je, da jih četrtina (27 %) napačno verjame, da lahko onesnaženo podzemno vodo vedno popolnoma očistimo. Večina anketiranih se zaveda, da lahko podzemno vodo onesnažimo, če po travniku polivamo gnojnico (96 %), če za odplake iz gospodinjstva ne uporabljamo čistilne naprave (87 %), če v okolje izpuščamo odpadno vodo iz parkirišč (84 %) ali mečemo smeti v stare vodnjake (82 %). Kar petina (20 %) pa se jih ne zaveda, da lahko tudi onesnažena površinska voda onesnaži vodonosnik. Iz spremenljivega deleža pri posameznih trditvah je razvidno, da so večino znanja o možnosti onesnaženja podzemne

vode anketiranci pridobili izkustveno. Iz enakega vzroka jih verjetno le 13 % ne ve, da se različna onesnaževala (nafta, pesticidi, gnojila,...) v podzemni vodi širijo z različno hitrostjo. Razveseljivo je, da je 74 % anketiranih jasen namen vodovarstvenih območij okoli črpalšč podzemne vode (preventivno preprečevanje onesnaženja), a posamezniki so dopisali tudi nekoliko drugačne namene: za preprečitev udorov tal, za boljše izobraževanje ljudi, za zaščito opreme in za lažjo sanacijo onesnaženja. Kljub dokaj dobri seznanjenosti z namenom vodovarstvenih območij, je zaskrbljujoč rezultat poznavanja kategorij režimov varovanja virov pitne vode. Skoraj četrtina (24 %) jih ne ve odgovora, 36 % jih meni, da imamo pet tipov območij, le 40 % pa jih je odgovorilo pravilno, torej da imamo tri kategorije vodovarstvenih režimov. To kaže, da je dojemanje vodovarstvenih območij zelo šibko in posledično anketirani verjetno tudi niso posebej pozorni na ustrezno preventivno ravnanje v vsakdanjem življenju, ko se zadržujejo na njih. Z uporabo učnega modela lahko jasno ponazorimo način širjenja površinskih onesnaževal v tla in kasneje v vodonosniku ter ob tem razložimo pomen vodovarstvenih območij.

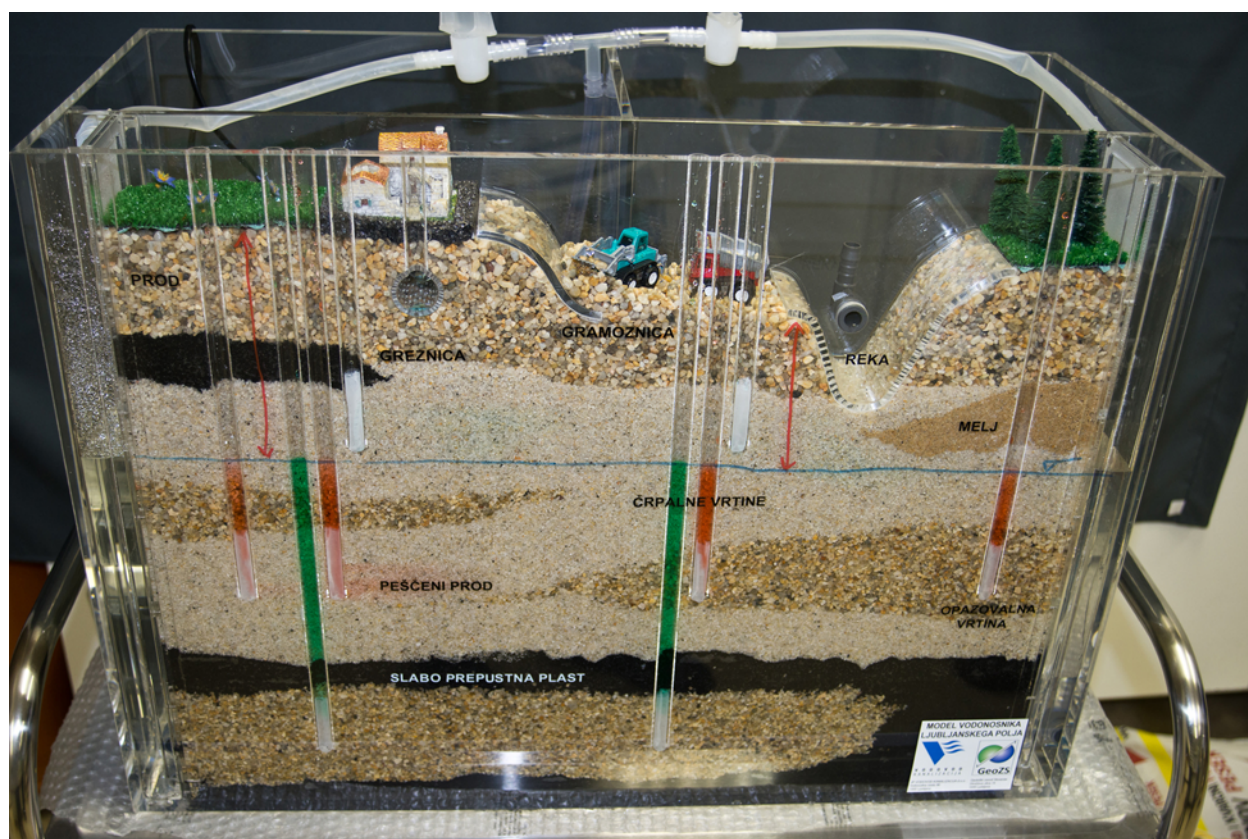
Z interpretacijo rezultatov ankete smo potrdili osnovno hipotezo, da je razumevanje dinamike podzemne vode med ne-geologi razmeroma šibko in vezano predvsem na izkušnje. Izkazalo se je, da je delež nepravilnih odgovorov razmeroma stalen, med 20 in 30 odstotki, a nekatera protislovja v

odgovorih kažejo, da tudi preostali anketiranci ne poznajo dovolj dinamike podzemne vode. Upamo, da se bo učni model Ljubljanskega polja izkazal kot primerno orodje za (raz)širjanje znanja o dinamiki podzemne vode ne le med učenci, ampak tudi za odrasle.

Primeri uporabe učnega modela vodonosnika

Podrobnejša razlaga procesov, vezanih na podzemno vodo, in ki jih lahko nekoliko prilagojeno prenesemo na uporabo učnega modela Ljubljanskega polja, je opisana npr. v MECHENICH, 1995; McCANN et al., 2003; RODHE, 2012, INTERNETNIH VIRIH itd. Zato v nadaljnjem besedilu le naštevamo glavne vsebine, ki jih lahko prikažemo in razložimo z uporabo modela medzrnskega vodonosnika Ljubljanskega polja (sl. 1). Kadar je skozi model vzpostavljen stacionarni tok vode in gladina pod koto reke, lahko pojasnimo:

- Del vodnega kroga,
- Razliko med površinsko in podzemno vodo,
- Območje napajanja in odtoka podzemne vode,
- Pojem vodonosnika,
- Poroznost in prepustnost kamnin,
- Homogenost in anizotropnost medzrnskega vodonosnika,
- Da v medzrskem vodonosniku ni podzemnih kanalov in jezer,
- Nenasičeno in nasičeno cono vodonosnika,



Sl. 1. Gladina vode v modelu vodonosnika (modra črta) in globina do podzemne vode (rdeča puščica)
Fig. 1. The groundwater level in the aquifer (blue line) and the depth to the groundwater (red arrow)

- Kapilarni dvig,
- Globino do podzemne vode,
- Gladino podzemne vode,
- Gradient toka podzemne vode,
- Smer in hitrost toka vode pod različnimi robnimi pogoji,
- Da podzemna voda ne teče vedno v smeri najnižje topografije,
- Odprti vodonosnik.

Kadar v modelu povišamo gladino podzemne vode, da nastane reka, lahko razložimo (sl. 2):

- Soodvisnost površinskih in podzemnih voda,
- Nastanek izlivnega izvira oziroma reke,
- Nastanek reke kot edinega mesta odtoka podzemne vode iz vodonosnika,
- Da je gradient toka podzemne vode lahko na obeh straneh reke različen, odvisno od količine napajanja,
- Hidravlično povezanost vseh vodonosnih plasti v odprtem vodonosniku (gladina v spodnjem prodnatem vodonosniku je enaka kot v zgornjem peščenem).

V kolikor je gladina podzemne vode v vodonosniku pod gladino vode v reki (sl. 3) in v reko dovajamo vodo, lahko razložimo:

- Napajanje vodonosnika s površinsko vodo,
- Prenos onesnaževal iz površinskega vodotoka v vodonosnik,
- Kolmatacijo struge v reki.

Odvzem podzemne vode prikažemo s črpanjem vode iz vrtin ob stalnem napajanju vodonosnika. Razložimo lahko (sl. 4):

- Razliko med opazovalnimi in črpalnimi vrtinami,
- Zakaj so črpalne vrtine različno globoke,
- Odprti oziroma naluknjan del (filtre) črpalne vrtine,

- Kako in zakaj se v vrtinah uporablja potopna črpalka,
- Vpliv črpanja na smer in jakost toka podzemne vode proti vrtini pri stalni in/ali spremenljivi količini črpanja,
- Kaj je depresijski lijak,
- Vpliv črpanja na lokalno in regionalno gladino v vodonosniku,
- Vpliv črpanja na izdatnost sosednjih vrtin,
- Vpliv črpanja na premeščanje delcev ob odprtem delu (filtrih) vrtine,
- Vpliv različno prepustnih plasti na hitrost širjenja depresijskega lijaka v različnih smereh (upočasnen hidravlični odziv v spodnji prodnati vodonosni plasti),
- Vpliv odvzema podzemne vode na količinsko stanje površinskega vodotoka (reke),
- Kaj je trajnostno izkoriščanje vodonosnika.

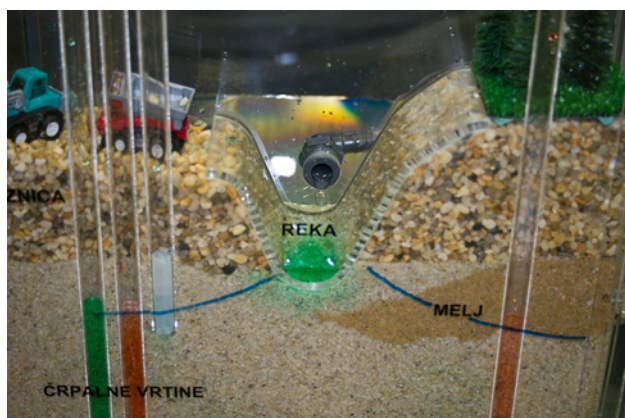
V predstavljenem učnem modelu uporabljamo le barvila, ki se idealno mešajo z vodo. Za lažje razločevanje hidrogeoloških pojavov uporabljamo različne barve za različno globoke vrtine. Z dodajanjem barvil lahko razložimo (sl. 5):

- Enkratno in stalno onesnaženje,
- Točkovno in ploskovno onesnaženje,
- Površinsko in podzemno onesnaženje,
- Širjenje onesnaževala po omočenem in neomočenem delu vodonosnika,
- Ranljivost vodonosnika in pomen vodo-varstvenih območij (širjenje površinskega onesnaževala v tla v odvisnosti od tipa tal),
- Širjenje onesnaževala iz greznice v nenasičeni coni (vertikalno in po stiku različno prepustnih plasti),
- Razredčenje oblaka onesnaževala v vodonosniku,
- Prenos onesnaževala iz/v površinske v/iz podzemno vodo,
- Vpliv črpanja na širjenje onesnaževala po vodonosniku.



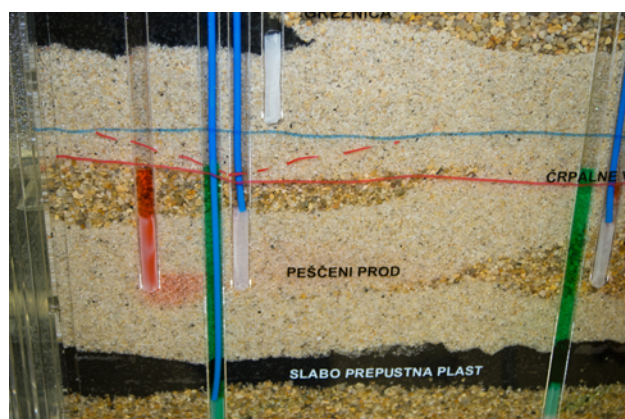
Sl. 2. Vodonosnik se drenira v reko (modro je gladina podzemne vode)

Fig. 2. The aquifer is being drained into/recharges the river (Slo:reka; blue line is groundwater level)



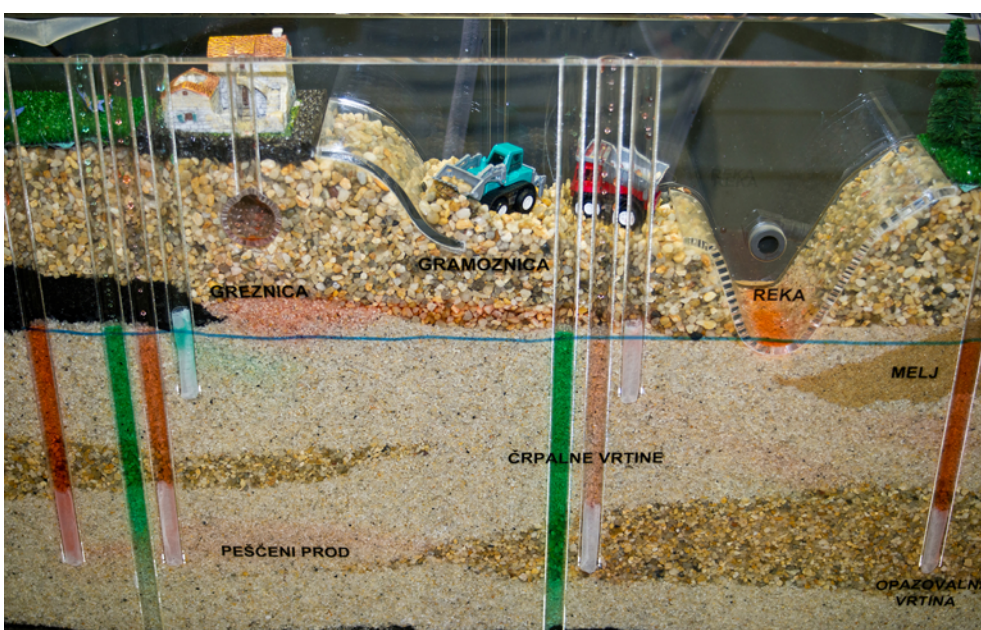
Sl. 3. Reka napaja vodonosnik (modro je gladina podzemne vode)

Fig. 3. The river (Slo: reka) recharges the aquifer (blue line is groundwater level)



Sl. 4. Depresijski lijak ob črpanju vode le iz srednje vrtine (rdeča prekinjena črta) in regionalno znižanje osnovne gladine (modra neprekinjena črta) zaradi črpanja iz vseh treh črpalnih vrtin (rdeča neprekinjena črta). Črpa se skozi modre cevke v vrtini

Fig. 4. The depression cone when pumping solely the middle well (red dotted line) and the regional groundwater draw-down (red line) due to pumping of all three wells (blue line is the pre-pumping groundwater level). The water is abstracted through the blue pipes in the wells



Sl. 5. Potovanje onesnaževala (rdeče barvilo) iz greznice skozi nenasičeno cono proti reki (modra sklenjena črta je gladina podzemne vode)

Fig. 5. Transport of the pollutant (red colour) from the septic tank (Slo: greznica) through the unsaturated zone to the river (the blue line is the groundwater level)

Zaključek

V prvem delu članka je predstavljeno doje-manje dinamike podzemne vode med odraslimi ne-geologi v Sloveniji. Izkazalo se je, da ima petina do četrtna anketiranih zelo šibko znanje o tej vsebini. Znanje je vezano predvsem na izkušnje, kar je potrdilo osnovno hipotezo raziskave.

V drugem delu članka je predstavljen učni model vodonosnika Ljubljanskega polja, ki ga bo za promocijo védenja o podzemni in pitni vodi uporabljala VO-KA. Model omogoča prikaz toka podzemne vode v nehomogenem in anizotropnem medzrnskem vodonosniku ter vpliv naravnih pojavov in antropogenih posegov na njegovo količinsko in kakovostno stanje. Z njim je mogoče razložiti hidrogeološke pojave na različnih nivojih predznanja, odvisno od potreb občinstva:

- Splošni javnosti brez posebnega predznanja o podzemni vodi se na preprost in nazoren način prikaže nastanek, rabo in pomen ohranjanja kvalitetnih virov podzemne vode.
- Osnovno hidrogeološko znanje strokovne javnosti in študentov geologije, geografije, gradbeništva, vodarstva, komunalnega inženirstva, itd. se nadgradi ali utrdi s praktičnimi vajami na modelu. Ta omogoča ne le opazovanje ampak tudi številčno opredelitev prikazanih hidrogeoloških pojavov. Za teoretične osnove in izvedbo izračunov različnih hidrogeoloških parametrov na modelu priporočamo branje članka RODHE-ja (2012).

Učni modeli so v prvi meri namenjeni bolj nazorni razlagi pojava podzemne vode, njenega izvora, posledic izkoriščanja in pomena varovanja. Zato upamo, da je to le prvi v vrsti učnih pripomočkov, ki jih bomo razvili za poučevanje osnov hidrogeologije ob primernem zanimanju laične in strokovne javnosti.

Zahvala

Za pomoč pri razvoju in izdelavi modela se zahvaljujem sodelavcema Simonu Mozetiču in Tomislavu Matozu. Za osnovno idejo in financiranje izvedbe učnega modela se iskreno zahvaljujemo dr. Brigiti Jamnik iz Javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija d.o.o. v Ljubljani.

Viri in literatura

- BAČNIK, A. et al. 2008: Učni načrt. Kemija [Elektronski vir] : gimnazija : splošna gimnazija. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- BAČNIK, A. et al. 2011: Učni načrt. Program osnovna šola. Kemija [Elektronski vir]. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- DRAGOŠ, A. et al. 2008: Učni načrt. Geografija [Elektronski vir]: gimnazija: splošna, klasična, ekonomska. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- GAMS, I. 2003: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Založba ZRC, ZRC SAZU, Ljubljana.
- HAKOUN, V., MAZZILLI, N., PISTRE, S. & JOURDE, H. 2013: Teaching groundwater flow processes: connecting lecture to practical and field classes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1975-1984, doi:10.5194/hess-17-1975-2013.
- KEUC, Z. et al. 2005: Učni načrt. Izbirni predmet: program osnovnošolskega izobraževanja. Kemija (Kemija v okolju). Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- KOLNIK, K. et al. 2011: Učni načrt. Program osnovna šola. Geografija [Elektronski vir]. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- MARENTIČ-POŽARNIK, B. et al. 2004: Učni načrt. Izbirni predmet: program osnovnošolskega izobraževanja. Okoljska vzgoja. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- MCCANN, A., NEPTIN, B. & GOLD, A. 2003: Groundwater model handbook; Understanding groundwater and using the groundwater model. URI Dept. of Natural Resources Science. (dostopno 15.11.2013 na : <http://www.uri.edu/ce/healthylandscapes/livestock/pdf/GWModelHandbook.pdf>)
- MECHENICH, C. 1995: Manual for use of the sand-tank groundwater flow model, 3rd edition. Central Wisconsin Groundwater Center, University of Wisconsin. (dostopno 15.11.2013 na: http://www.engr.scu.edu/čemaureur/classes/ceng139_groundwater/handouts/UW_SP_groundwater_flow_model_manual.pdf)
- NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA 2006: Predmetnik bolonjskega programa Oddelka za geologijo. Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana. (dostopno 15.11.2013 na: <http://www.ntf.uni-lj.si/og/index.php?page=static&item=855>)
- PRESTOR, J., URBANC, J., JANŽA, M., RIKANOVIC, R., BIZJAK, M., MEDIC, M. & STROJAN, M. 2002. Preverba in dopolnitev strokovnih podlag za določitev varstvenih pasov vodnih virov centralnega sistema oskrbe s pitno vodo v MOL - Ljubljansko polje (neobjavljeno poročilo). Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- REINFRIED, S., TEMPELMANN, S. & AESCHBACHER, U. 2012: Addressing secondary school students' everyday ideas about freshwater springs in order to develop an instructional tool to promote conceptual reconstruction. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 1365-1377, doi:10.5194/hess-16-1365-2012.
- RODHE, A. 2012: Physical models for classroom teaching in hydrology. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 3075-3082, doi:10.5194/hess-16-3075-2012.
- SKVARČ, M. et al. 2011: Učni načrt. Program osnovna šola. Naravoslovje [Elektronski vir]. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- ŠRAM, D., BRENČIČ, M., LAPANJE, A. & JANŽA, M. 2012: Prostorski model visečih vodonosnikov na Ljubljanskem polju. *Geologija*, 55/1: 107-116, doi:10.5474/geologija.2012.008.
- URBANC, J. & JAMNIK, B. 1998: Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja. *Geologija*, 41, 355-364, doi:10.5474/geologija.1998.018.
- URBANC, J. & JAMNIK, B. 2007: Porazdelitev in izvor nitratov v podzemni vodi Ljubljanskega polja. *Geologija*, 50/2, 467-475, doi:10.5474/geologija.2007.032.
- VODOPIVEC, I. et al. 2011: Učni načrt. Program osnovna šola. Naravoslovje in tehnika [Elektronski vir]. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- ŽLEBNIK, L. 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. *Geologija*, 14, 5-51.
- Internetni viri (dostopni 15.11.2013 na):
<http://www.beg.utexas.edu/education/aquitank/tank01.htm>
<http://iah.org/regionalgwflow/education.html>
<http://www.onegeology.org/extra/kids/slovenian/home.html>
<http://www.deq.louisiana.gov/portal/PROGRAMS/DrinkingWaterProtectionProgram/DrinkingWaterForKids.aspx>
<http://www.livinghistoryfarm.org/farminginthef40s/lrscience05.html>
<http://www.envisionenviroed.net>