

Opazovanje transporta vode v nezasičeni coni – primer lizimetra v Selniški dobravi

Water transport monitoring in an unsaturated zone – Case study: lysimeter Selniška dobava (Slovenia)

Nina MALI

Geološki zavod Slovenije
Dimičeva 14, SI-1001 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: hidrogeologija, nezasičena cona, lizimeter, monitoring, Selniška dobava
Key words: hydrogeology, unsaturated zone, lysimeter, monitoring, Selniška dobava, Slovenia

Kratka vsebina

Transport onesnaženja skozi vodonosnik je odvisen od zgradbe vodonosnika, zgornje nezasičene in spodnje zasičene cone. Za dobro poznavanje procesov v nezasičeni coni je potrebno opraviti meritve parametrov za določitev hidrogeoloških lastnosti. Namen terenskega laboratorija v Selniški dobavi je izpopolniti metodologijo terenskih meritev parametrov in procesov v nezasičeni coni. V članku so definirani problemi, ki jih rešujemo z raziskavami v terenskem laboratoriju – lizimetru. Opisane so rešitve v konceptualni zasnovi lizimetra, konstrukciji in opremlitvi lizimetra, izbira metod za oceno prepustnosti nezasičene cone ter sistem meritev in vzorčevanja vode za fizikalno-kemijske in izotopske analize.

Abstract

Pollution transport in an aquifer depends on its structure, upper unsaturated zone and lower saturated zone. In order to understand processes in the unsaturated zone, several hydrogeological field measurements must be done. A field laboratory- lysimeter in Selniška dobava was installed for the improvement of field measurements, and explanation of the parameters and processes in the unsaturated zone. The problems, which can be solved by means of investigations in a lysimeter, are defined in this paper. Described are also: concept of investigation planning, construction and equipment of the lysimeter, measurements of unsaturated zone parameters and processes, water sampling for physical, chemical and isotope analysis.

Uvod

V zadnjih letih potekajo intenzivne raziskave vpliva urbanega okolja na podzemno vodo. Raziskave so usmerjene v detekcijo stanja kvalitete vodonosnika, razumevanje procesov migracije in razgraditve polutantov skozi vodonosnik. Ranljivost vodonosnika glede na onesnaženje je neposredno povezana

s hidravličnimi lastnostmi vodonosnika in značilnostmi samega polutanta. Med infiltracijo skozi zemljinu in med transportom skozi vodonosnik se veliko polutantov naravno razgradi. Stopnja razgradnje je v posameznih primerih odvisna tudi od lastnosti poroznega medija (Sililo et al. 1999). Če poznamo lastnosti poroznega medija in polutanta, lahko ocenimo vpliv onesnaženja.

Transport onesnaženja skozi vodonosnik je odvisen od zgradbe vodonosnika, zgornje nezasičene (vadozne) in spodnje zasičene (freatične) cone. Procesi v zasičeni coni so dokaj dobro poznani, procesi v nezasičeni coni pa so kljub intenzivnim raziskavam precejšnja neznanka. Nezasičena cona je splošno definirana kot geološki medij med površino in regionalnim nivojem podzemne vode (Stephens, 1996).

Hidrogeološke raziskave in monitoring predstavljajo enega od načinov za zbiranje podatkov potrebnih za reševanje problemov v zvezi z antropogenimi vplivi na kvaliteto podzemne vode (Zaporožec, 1999). Osnoven opis sistema tvorijo hidrogeološki podatki (stratigrafija, litologija, izdatnost vodonosnika), značilnosti vodnega toka pa določajo hidrogeološki podatki kot so: globina podzemne vode in njeno gibanje, robni pogoji vodonosnika, hidravlične značilnosti vodonosnika (poroznost, hidravlični gradient, koeficient prepustnosti, koeficient vskladiščenja), smer toka podzemne vode, značilnosti napajanja in praznjenja vodonosnika. Pomemben del sistema določajo lastnosti nezasičene cone.

Eden od glavnih ciljev raziskav nezasičene cone v terenskem laboratoriju – lizimetru v Selniški dobri je določitev hidrogeoloških lastnosti nezasičene cone, ki vplivajo na napajanje vodonosnika in njegovo onesnaženje. Terenski laboratorij je postavljen na območju dobro raziskanega peščno prodnega vodonosnika Selniške dobave, v katerem se predvideva zajem večjih količin vode za potrebe Mariborskega vodovoda. Z meritvami parametrov nezasičene cone v terenskem laboratoriju bo dopolnjen matematični model toka podzemne vode. Na osnovi rezultatov bo opredeljeno optimalno izkoriščanje vodnega vira in njegova zaščita.

Načrtovanje raziskav in monitoringa v nezasičeni coni

Načrtovanje raziskav nezasičene cone lahko opišemo v petih stopnjah (Stephens, 1996):

1. **Opredelitev problemov**, na katere želim odgovore

– kakšno je naravno napajanje vodonosnega sistema

– kakšno je pretakanje iz kmetijskih površin ali pašnikov

– ali se bodo kemikalije iz zemljine izlužile v podzemno vodo

– ali lahko kontaminanti v zemljini migreirajo lateralno (obstransko)

– kakšna je najprimernejša metoda in kolikšni so stroški za monitoring nezasičene cone

2. **Razvoj predhodnega konceptualnega načrta sistema**. Pri tem koraku je potrebno obdelati obstoječe podatke. Glavna področja raziskav je potrebno izpostaviti v konceptualnem načrtu.

3. **Določitev pristopa za rešitev problema**. – V tej stopnji se določi metodologijo za dosego ciljev.

4. **Določitev podatkov, ki so potrebni za rešitev problema**. V tej točki je potrebno preveriti, katere podatke je možno zbrati glede na omejitve, ki nam jih postavljajo lastnosti terena, omejitve merilne opreme in finančne možnosti.

5. **Razvoj delovnega načrta**. Načrt sledi ciljem projekta. V načrtu določimo podatke, ki jih je potrebno zbrati in standarde ter procedure za zbiranje podatkov.

Monitoring nezasičene cone je bil hitro sprejet kot ena od možnosti za učinkovitejšo zaščito okolja. Prvenstvena sta dva razloga za vključitev monitoringa nezasičene cone v raziskave; prvi je varstvo okolja in drugi ekonomske koristi. Z monitoringom nezasičene cone dobimo informacije o stanju migracije toka vode skozi nezasičeno cono. Monitoring v vadozni coni mora biti načrtovan tako, da uporabimo najbolj primerno opremo in tehnike glede na značilnosti nezasičene cone v skladu s konceptualnim načrtom. Pri procesu načrtovanja monitoringa je pomembno, da si zastavimo izvedljiv scenarij, da izberemo instrumente glede na pogostost in trajanje meritev ter občutljivost senzorjev in da določimo lokacije za montažo instrumentov, s katerimi bomo zajali kar največ podatkov (Havlena & Stephens, 1992).

Območje raziskav

Dosedanje raziskave medzrnskega vodonosnika Selniške dobave, ki leži 20 km vzhodno od Maribora, so pokazale, da je vodonosnik primeren za morebitno izkoriščanje večjih količin vode za potrebe vodooskrbe sistema Mariborskega vodovoda (Mali,



Sl. 1 Območje raziskav – lokacija lizimetra

Fig. 1. Study area – Location of the lysimeter

1993; Juren et al., 1996). Glavni vodonosnik predstavlja prodni zasip stare struge Drave in obsega 3 km², zaledje vodonosnika pa obsega 7,5 km² (sl. 1). Vodonosnik se napaja iz Drave, z infiltracijo iz padavin in s precejanjem iz vodonosnika zgornje terase, ki se napaja iz zaledja Kozjaka. Vodonosnik je precej dobro raziskan (Mali 1995; Mali & Janža, 2001; Mali et al., 2001). Opravljene so geofizikalne meritve podlage, izdelano je 12 opazovalnih piezometrov in en raziskovalni vodnjak. Ocenjujemo, da je povprečna debelina omočenega sloja 12 m, krovnih plasti je od 20-40 m, povprečen koeficient prepustnosti pa je ocenjen na 5,75 10⁻³ m/s. Trenutno se iz vodnjaka GV-1 črpa 35 l/s.

V dosedanjih raziskavah so bile večkrat opravljene kemijske analize vzorcev podtalnice glavnega vodonosnika Selniške dobrove, ki so pokazale, da je podtalnica primerne kvalitete za vodooskrbo. Večji del glavnega vodonosnika je pogozden, naselja na robu vodonosnika pa niso komunalno urejena. Četrtnina vse površine vodonosnika so kme-

tijske površine. Na celotnem območju ni industrijskih objektov. V splošnem lahko trdimo, da na območju vodonosnika Selniška dobropa še ni bilo posegov v okolje, ki bi bistveno vplivali na kvaliteto vodonosnika in tako lahko govorimo o dobro ohranjenem vodnem viru.

Cilji

Določanje hidravličnih lastnosti materialov v nezasičeni coni na podlagi terenskih meritev je eden od problemov preučevanja nezasičene cone (Havlena & Stephens, 1992). Najpogostejše se terenske meritve v nezasičeni coni izvajajo v lizimetrih. Za študij nezasičene cone smo izdelali lizimeter Jazbina na območju vodonosnika Selniška dobropa. V lizimetru smo postavili sistem monitoringa transporta vode v nezasičeni coni.

Cilji raziskave v lizimetru Selniške dobrove so:

– določitev hidrogeoloških lastnosti nezasičene cone

– določitev vhodnih parametrov za analitične in numerične modele za napoved precejanja, potovalnih časov in transporta podzemne vode;

– določitev kriterijev za načrtovanje monitoringa v nenasičeni coni

Med problemi povezanimi z nezasičeno cono ostajajo odprta vprašanja v zvezi z matematičnim modeliranjem toka podzemne vode in opisom ter meritvami parametrov, ki definirajo te procese (Janža, 2000).

Konstrukcija lizimetra in načrt raziskav

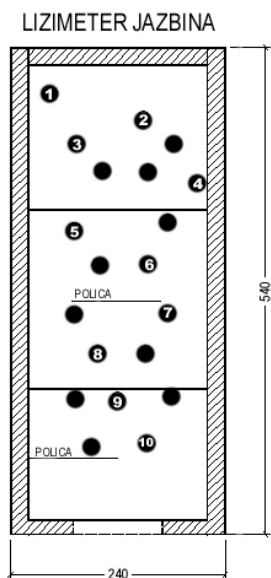
Lizimeter Jazbina je lociran glede na tokovnice podzemne vode dolvodno od vodnjaka GV-1 ob piezometru PS-5. Lokacija ob piezometru nam omogoča hkratno vzorčevanje vode v nezasičeni in zasičeni coni. Koncept je bil izdelan tako, da konstrukcija lizimetra zajema kar se da globok profil in s tem omogoči vzorčevanje v nezasičeni coni. Pri konstrukciji smo upoštevali dosedanje ocene hidravličnih parametrov (visoka prepustnost). Odločili smo se za zajem vode s

horizontalnimi drenažami, kar nam omogoča večjo količino vzorca, predvsem pa cenejšo opremo lizimetra. Vzorec odvzet v lizimetru z drenažo je običajno lahko večji od vzorca odvzetega s poroznimi kapicami. To zmanjša možnost, da zaradi heterogenosti materiala in prisotnosti makropor pride do obtekanja infiltrirane vode.

Lizimeter smo skonstruirali kot betonsko škatlo dimenzij 2mx2mx5,4m s stenami debeline 0,2m (sl. 2). V dve steni so bile že vnesene prerezane cevi, ki so predstavljale vzorčna mesta in v zalitem betonu omogočajo dostop do stene. Dno lizimetra ni popolnoma zaprto, da je možen odtok vode. Drenaže so izdelane iz nerjavečega jekla. Odtok predstavlja cevka premera 1 cm. Vstavili smo 10 drenaž. Na izliv drenaže so montirane teflonske cevke, ki so speljane v steklene transfuzijske steklenice, ki v primeru zadostne količine vode prelivajo v dodatne steklenice (sl. 3). Na površini lizimetra je postavljen zbiralnik padavin, ki ima speljan odtok v notranjost lizimetra.

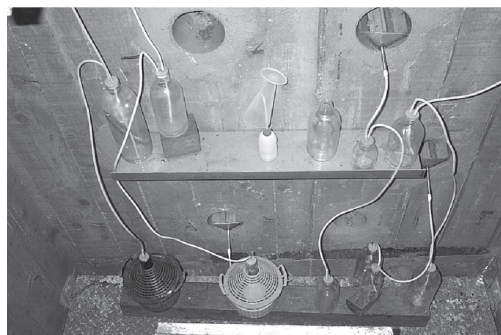
Pri raziskavah nezasičene cone smo sledili koncept, ki je prikazan v shemi v sliki 4.

Ena od tehnik za kvantificiranje stopnje napajanja skozi plast nezasičenega aluvija, ki se omenja v literaturi, je tudi uporaba stabilnih izotopov (K n o w l t o n et al., 1992). Z uporabo stabilnih izotopov $\delta^2\text{H}$ in $\delta^{18}\text{O}$ lahko ocenimo transport vode, posredno pa lahko ocenimo stopnjo napajanja (U r b a n c, 1999). Trenutno je težišče naših raziskav določitev dinamike precejjanja vode skozi nezasičeno cono na podlagi izotopske sestave vode.



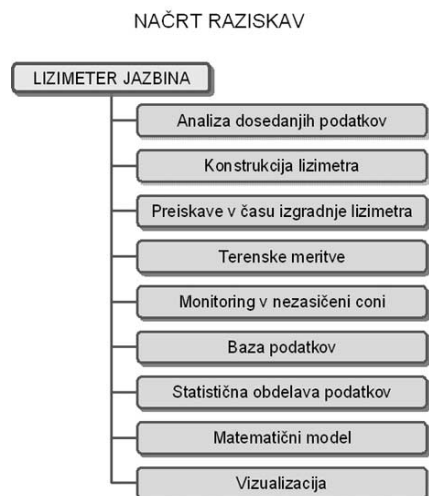
Sl. 2 Skica lizimetra

Fig. 2 Sketch of the lysimeter



Sl. 3 Monitoring nezasičene coni v lizimetru

Fig. 3. Unsaturated zone monitoring in the lysimeter



Sl. 4 Načrt raziskav

Fig. 4. Investigation planning

Meritve

V času izgradnje lizimetra so bile opravljene pedološke in granulometrične preiskave tal in prodnega zasipa. Vzorci proda za granulometrične analize so bili odvzeti na različnih globinah. Za določitev infiltracije in prepustnosti smo opravili teste z infiltrometrom sistema dvojnih obročev na površini lizimetra na različnih lokacijah in na dnu lizimetra. Po začetni konstrukciji lizimetra smo opazovali aktivacijo drenaž. Vsa vzorčna mesta omogočajo odvzem vode v zadostnih količinah, ki jih potrebujemo za kemijske in izotopske analize. Od začetka merimo volumen zajete vode, fizikalno-kemijske parametre vode in enkrat mesečno vzorčimo za kemijske in izotopske analize. Istočasno vzorčimo za izotopske analize vode iz vrtine in padavinske vode.

Meritve fizikalno-kemijskih parametrov so pokazale, da se je sistem stabiliziral v petih mesecih. Delno so bile opravljene analize izotopske sestave kisika v vodi. Iz dosedanjih podatkov lahko pričakujemo, da bo pri večjem časovnem nizu izotopskih podatkov možno opredeliti značilnosti transporta in zadrževalne čase vode v nezasičeni coni, kar je razvidno tudi iz diagrama izotopske sestave kisika na dveh vzorčnih mestih v

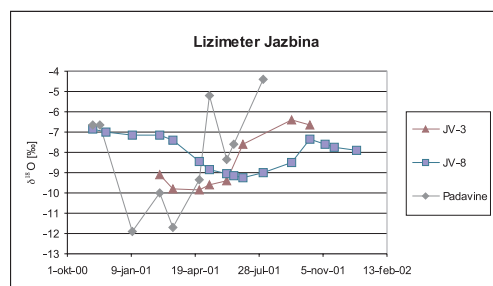
lizimetru in padavin na sliki 5. Analiza zbranih podatkov poteka vzporedno z vzorčevanjem.

Zaključki

Uspešnost terenskih raziskav nezasičene cone je zelo odvisna od dobrega predhodnega načrtovanja. Poseben problem predstavljajo konstrukcija lizimetra za opazovanje nezasičene cone, izbor metod za opazovanje in opremljenost lizimetra. V lizimetru Jazbina v prodnem vodonosniku Selniške dobrove smo postavili lizimeter, ki smo ga opremili s horizontalnimi drenažami, ki omogočajo vzorčevanje nezasičene cone. V daljšem opazovalnem obdobju se je izkazalo, da so horizontalne drenaže primerne za zajem vode za monitoring v nezasičeni coni zelo prepustnega prodnega vodonosnika. Zajem vode z drenažami nam omogoča večjo količino vzorca od vzorca odvzetega z poroznimi kapicami, predvsem pa cenejšo opremo lizimetra.

Dosedanji monitoring izotopske sestave $\delta^2\text{H}$ in $\delta^{18}\text{O}$ v vodi nezasičene cone je pokazal, da bomo lahko na podlagi rezultatov daljšega časovnega niza ocenili transport skozi nezasičeno cono, zadrževalne čase v nezasičeni coni in ocenili napajanje (sl. 5).

Iz granulometričnih analiz prodnega zasipa iz različnih globin smo ocenili koeficient prepustnosti zasičene cone po USBR (Aljto vski, 1973) na od 7.10^{-3} do 6.10^{-2} m/s, kar potrjuje dosedanje rezultate, da gre za visokoprepusten vodonosnik. Testi za določitev infiltracije in prepustnosti z infiltrometrom po sistemu dvojnih obročev na površini lizimetra na različnih lokacijah in na dnu lizimetra so se izkazali kot nezanes-



Sl. 5 Izotopska sestava kisika v vodi

Fig. 5. Oxygen isotope composition in the water

ljivi, zato jih bomo ponovili z drugimi metodami.

V prihodnje bomo razširili izbor meritev različnih parametrov. V monitoring nezasičene cone bomo vključili meritve toka vode skozi nezasičeno cono. Opravili bomo sledilni poskus skozi nezasičeno cono. Infiltracijski poizkus bo izveden s ciljem opazovanja migracije vode in polutantov od površine skozi nezasičeno cono do vodonosnika. V ta namen bosta vzorčevani tako nezasičena kot zasičena cona. Z nadaljnjimi raziskavami se bomo osredotočili tudi na reševanje odprtih vprašanj v zvezi z matematičnim modeliranjem toka podzemne vode in opisom ter meritvami parametrov, ki definirajo te procese.

Zahvala

Raziskave nezasičene cone v terenskem laboratoriju- lizimetru v Selnški dobri sta omogočila Mariborski vodovod in Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport v okviru aplikativnega raziskovalnega projekta Urbana hidrogeologija.

Literatura

- Aljtopski, M.E. 1973: Hidrogeološki priručnik. – Građevinska knjiga, 616 pp., Beograd.
- Havlena, J.A. & Stephens, D.B. 1992: Vadose zone characterizations using field parameters and instrumentation. In: Nielsen, D.M. & Sara, M.N. (eds), Current practices in ground water and vadose zone investigations. – ASTM, 93-110. Philadelphia.
- Janža, M. 2000: Integration of GIS and hydrological modelling for groundwater protection. In: Proceedings of 2nd International conference on GIS for Earth science applications, 11-14 September, 2000. – 7 pp., Menemen-Izmir, Turkey.
- Juren, A., Mali, N., Jecelj, S. & Cajnkar, A. 1996: Outlines on the drinking water solution in Maribor. In: 1st International Conference The Impact of Industry on Groundwater Resources, 22-24 May 1996, Villa Erba-Cernobbio (Como) : Proceedings – 25-33. Villa Erba-Cernobbio (Como).
- Knowlton, R.G., Jr., Parsons, A.M. & Gaither, K.N. 1992: Techniques for quantifying the recharge rate through unsaturated soils. In: Nielsen, D.M. & Sara, M.N. (eds), Current practices in ground water and vadose zone investigations. – ASTM, 93-110. Philadelphia.
- Mali, N. 1995: Določitev varstvenih območij in vodnih zalog podtalnice kvartarnega zasipa Selnške Dobreve : 2. faza: Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, 1995. 22 str., [13] pril. Ljubljana.
- Mali, N. 1993: Selnška Dobra – alternativni vodni vir za vodooskrbo Maribora in okolice. V: Lah, A., Premzl, V. & Rezman, V. (ur.): Primarno gospodarstvo in okolje : zbornik prispevkov s posveta Sveta za proučevanje in varstvo okolja Slovenske akademije znanosti in umetnosti na Svetovni dan Zemlje, 22. april. – Aram, 26-29. Ruše.
- Mali, N. & Janža, M. 2001: Matematični model vodonosnika kot osnova za upravljanje vodnega vira – (primer Selnška dobra). V: Horvat, A. (ur.). 15. Posvetovanje slovenskih geologov : povzetki referatov (Geološki zbornik, 16). – Univerza v Ljubljani, NTF, Oddelek za geologijo, 59-60. Ljubljana.
- Mali, N., Janža, M. & Herič, J. 2001: Vpliv urbanega okolja na kvaliteto vodnega vira – vodonosnik Selnška dobra : letno poročilo (1999-2000). V: Urbanc, J. (ur.) Urbana hidrogeologija – vpliv infrastrukturnih objektov na podzemno vodo : letno poročilo o rezultatih opravljenega aplikativno raziskovalnega projekta v letu 2001. – Geološki zavod Slovenije, 10 str., 13 pril. Ljubljana.
- Sililo, O.T.N., Conrad, J., Murphy, K.O.H., Tredoux, G., Eigenhuis, B., Ferguson, M.C.D. & Moolman, J.H. 1999: Investigation of the contaminant attenuation characteristics of the soil aquifer system with special emphasis on the vadose zone: Final report to the Water research commission – Cape Water Programme, Division of Water, Environment and Forestry Technology, CSIR & Department of Soil and Agricultural Water Science, University of Stellenbosch, 9 chapters, Stellenbosch.
- Stephens, D.B. 1996: Vadose zone hydrology. – Lewis publishers, 339 pp., Boca Raton.
- Urbanc, J. 1999: Baseflow retention time estimation on the basis of water isotope composition. V: Isotope techniques in water resources development and management : proceedings, (IAEA-CSP-2/C).: IAEA, 42-48. Vienna.
- Zaporozec, A. 1999: Advances in contamination studies and remediation of ground water. In: Proc. Of XXIX IAH Congress: Hydrogeology and land use management, 581-586, Bratislava.