

Možnost zajema pitne vode za potrebe mesta Ljubljana z drenažnim rovom na območju Krima

The possibility of drinking water capture for the city of Ljubljana by means of a water tunnel in the area of Krim mountain

Janko URBANC, Joerg PRESTOR & Tomaž BUDKOVIČ
Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana

Ključne besede: Krim, podzemna voda, vodonosnik, dolomit, apnenec, kras, drenažni rov, Slovenija
Key words: Krim, groundwater, aquifer, dolomite, limestone, karst, water tunnel, Slovenia

Izvleček

Članek obravnava možnost zajema podzemne vode na območju Krimskega pogorja s podzemnim drenažnim rovom, ki bi pomenil dopolnilni vodni vir za vodooskrbo mesta Ljubljana. V okviru raziskave je potekalo podrobno geološko kartiranje območja ter hidrogeološke, geofizikalne ter inženirsko geološke raziskave. Izdelana je bila vodna bilanca napajalnega območja, katere rezultati kažejo, da se na obravnavanem območju nahajajo precejšnje količine podzemne vode, ki bi jo bilo možno zajeti s podzemnim drenažnim rovom. Predlagana je bila trasa podzemnega vodnega rova, katerega vhodni del bi bil lociran na južnem obrobju Ljubljanskega barja južno od vasi Strahomer. Rov bi potekal v jugozahodni smeri v zgornje triasnem dolomitu. Zaradi majhnih ekoloških obremenitev na območju napajanja rova ter dobrih čistilnih lastnosti dolomita predvidevamo, da bi bilo možno z drenažnim rovom zajeti zelo kvalitetno pitno vodo.

Abstract

The article deals with the possibility of groundwater capture by means of a groundwater drainage tunnel in the area of Krim mountain range for a supplementary water supply of the city of Ljubljana. Within the scope of the investigation, a detailed geological mapping of the area was carried out, and hydrogeological, geophysical and engineering-geological research was performed. A water balance of the recharge area was calculated, indicating considerable quantities of groundwater which could be captured with an underground drainage tunnel. A course of the tunnel was suggested, with its entrance part located on the southern fringes of Ljubljansko barje south of the village Strahomer. The tunnel would run in the south-west direction in the Upper Triassic dolomite. Because of low environmental burden in the recharge area of the tunnel and due to good cleaning properties of dolomite it is expected that drinking water of very good quality could be captured by means of the drainage tunnel.

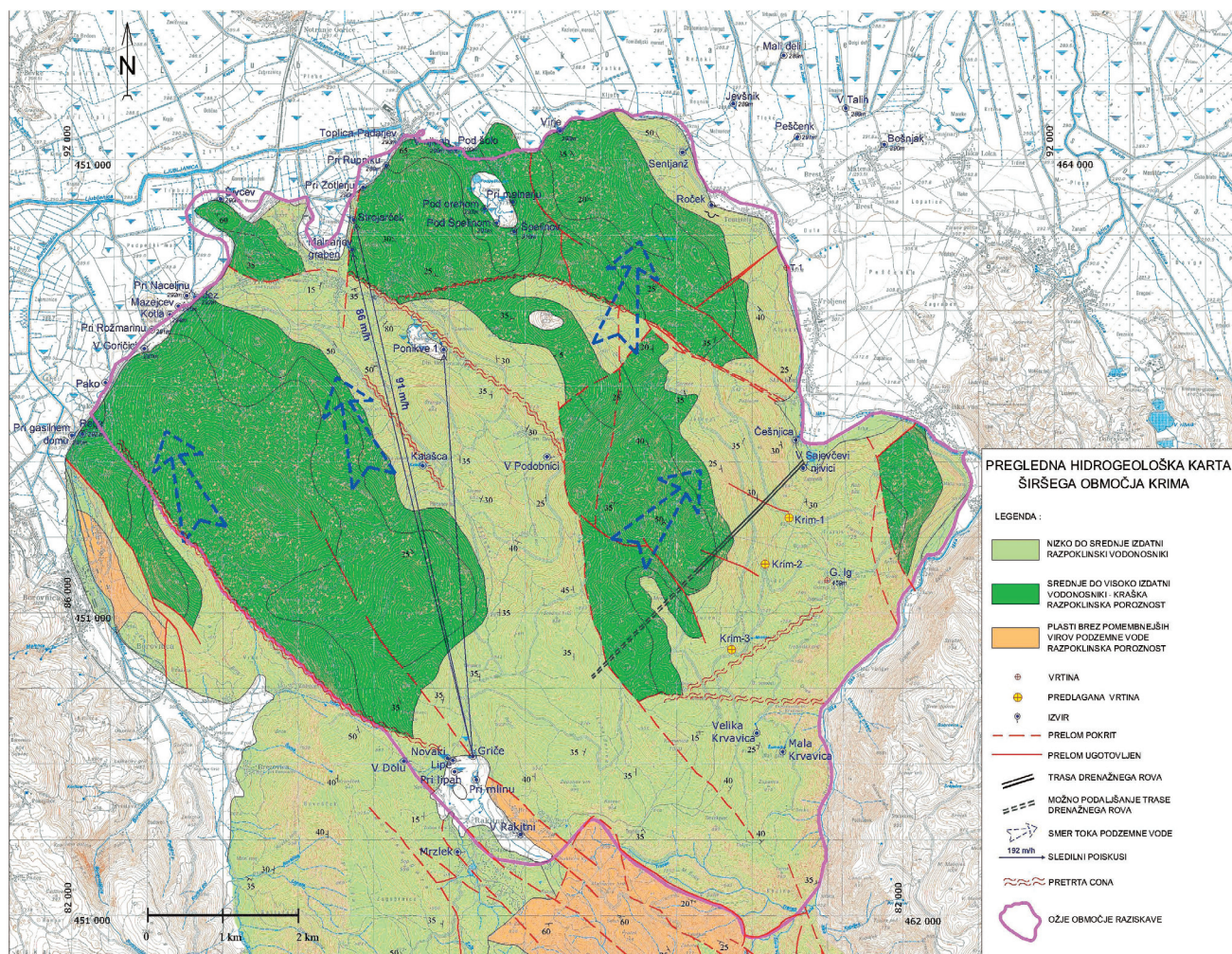
Uvod

Mestna občina Ljubljana se s pitno vodo v pretežni meri oskrbuje iz medzrnskega vodonosnika Ljubljanskega polja in delno iz južnega dela vodonosnika Ljubljanskega barja. Oba vodonosnika sta zaradi intenzivne urbanizacije ter poljedelske rabe prostora izpostavljena zelo močnim ekološkim obremenitvam, ki poslabšujejo kvaliteto podzemne vode. Lahko pričakujemo, da se bodo pritiski na ta prostor v prihodnosti še stopnjevali, saj gre za območje glavnega mesta Slovenije, ki ima zaradi svoje funkcije tudi specifične prostorske potrebe.

Zaradi navedenih dejstev so se v preteklosti pričele pojavljati pobude za razvoj dopolnilnih vodnih virov za Mestno občino Ljubljana, ki bi po eni strani zagotavljali večjo varnost in zanesljivost vodooskrbe tudi v primeru večjih ekoloških

nesreč, dopolnilni vodni viri pa naj bi zagotavljali tudi dovolj kvalitetno pitno vodo, da ne bo potrebe po dragih in nepriljubljenih postopkih za čiščenje in pripravo pitne vode. V ta namen je bila v letu 2006 izdelana študija Potencialni novi viri pitne vode za Mestno občino Ljubljana (HIDROINŽENIRING, 2006). Med obravnavanimi možnostmi za pridobitev novih količin pitne vode sta bili z gledišča izvedljivosti, cenovne učinkovitosti ter kvalitete pitne vode kot posebej ugodni opredeljeni varianti zajema dodatnih količin podzemne vode z drenažnim rovom v Krmskem pogorju ter zajem dodatnih količin podzemne vode v osrednjem delu vodonosnika na desnem bregu reke Save.

V članku so prikazani rezultati obsežnejše študije, ki je poleg hidrogeoloških raziskav obsegala tudi podrobno geološko kartiranje ter geofizikalne in inženirsko-geološke raziskave (URBANC et al., 2008).



Slika 1. Pregledna hidrogeološka karta zaledja predvidenega vodnega rova

Geološka in hidrogeološka zgradba obravnavanega območja

Območje krimskega pogorja je v hidrogeološkem smislu karbonatni vodonosnik s kraško in razpoklinsko poroznostjo. Hidrogeološke značilnosti kamnin na območju raziskave so prikazane na pregledni hidrogeološki karti (slika 1).

Na obravnavanem območju se podzemna voda nahaja večinoma v zgornjetriasnih dolomitih in jurskih apnencih ter dolomitih.

Zgornjetriasni dolomit (glavni dolomit)

Zgornjetriasni dolomit se nahaja na velikih površinah na južnem obrobju Ljubljanskega Barja ter se nadaljuje preko Rakitniške na Bloško planoto (OGK lista Postojna in Ribnica, OGORELEC & ROTHE, 1992, MILER, 2007). Njegova debelina je ocenjena na 1200 do 1500 metrov. Je plastovit in skladovit. V kamnini se menjavajo nekaj centimetrov široki svetlejši in temnejši pasovi, ki imajo različno zrnavost. Svetlejši so zrnati, temnejši mikrokristalni. Na površini se kamnina kroji paralelepipedno. Kjer dolomit sekajo močnejše prelomne cone, se te manifestirajo kot nekaj sto metrov široke porušene cone, kjer pogosto kopljejo

dolomitni pesek za lokalne potrebe. V skladovnici glavnega dolomita se pojavljajo tudi več deset metrov debeli deli iz apnenca, ki so zakraseli.

V glavnem dolomitu prevladuje razpoklinska poroznost, ki mestoma lahko prehaja tudi v kraško. V primerjavi z jurskimi apnenci je v dolomitu kraških pojavov dokaj malo, zato se voda večinoma prevaja po številnih drobnih razpokah. Na osnovi podatkov meritev v podobnih kamninah ocenjujemo, da se hidravlična prepustnost dolomita na tem delu ozemlja večinoma giblje v območju 10^{-5} – 10^{-6} m/s (PRESTOR et al., 2003; PRESTOR et al., 2005).

Drobne razpoke v dolomitu, skozi katere se pretaka voda, predstavljajo zelo dober filter, tako da je voda v dolomitih v večini primerov zelo dobre kakovosti.

Jurski apnenci in dolomiti

Jurski apnenci so večinoma dobro zakraseli, zato imajo zaradi kraško-kanalne poroznosti veliko hidravlično prepustnost. Enotne ocene hidravlične prepustnosti zaradi velikih razlik med posameznimi območji ne moremo podati, bodisi zaradi razlik v zakraselosti ali stopnji tektonske pretrtosti. Tam, kjer apnenci tektonsko niso prizadeti so praktično neprepustni, ponekod pa je nji-

hova prepustnost za vodo zaradi kraških kanalov skoraj neomejena.

Čistilna sposobnost vodonosnih struktur v jurških apnencih je zaradi hitrega pretakanja vode po kraških kanalih majhna, zato lahko pričakujemo probleme tako glede kaljenja vode ob močnejših padavinah kakor tudi mikrobiološko oporečnost vode ter velik vpliv onesnaženj iz točkovnih ali razpršenih virov.

Sledilni poskusi na obravnavanem območju

Na obravnavanem območju so bili po literaturnih podatkih izvedeni trije sledilni poskusi, od tega o poskusih leta 1941 in v 50. letih prejšnjega stoletja ni nobenih pisnih dokumentov (NOVAK & ROGELJ, 1987). Zanesljiv podatek o smeri odtakanja z Rakitniške planote je dal sledilni poskus, ki ga je izvedel Geološki zavod Ljubljana v letu 1986 (NOVAK & ROGELJ, 1987). Sledilo je bilo injicirano v požiralnike severno od Rakitne.

Prvi pojav sledila je bil zaznan že po enem dnevu v Ponikvah, barvilo se je po treh dneh pojavilo v izviru Strojareček in po petih dnevih v Zotlerjevem studencu. V Podpeškem jezeru in Virju se barvilo ni pojavilo, kar avtorja pripisujeta vplivu slabo prepustne zdobljene cone vzhodno od Ponikev. Opisana zdobljena cona očitno deluje kot zapora in vode z območja Rakitne preusmerja v SZ smeri proti izvirov Strojareček in Malnarjev graben.

Ocena zalag podzemne vode

Razpoložljive količine podzemne vode na obravnavanem območju so ključni parameter za oceno upravičenosti projekta drenažnega rova v Krimskem pogorju. Vodni rov je zahteven objekt, ki ga prav gotovo ni smiselno izdelovati za majhne odvzeme pitne vode. Zaradi tega smo že v prvi fazi projekta skušali čim bolj verodostojno opredeliti potencial vodnega vira oziroma razpoložljive količine podzemne vode, ki so na voljo na tem območju.

O količini vode v razpoklinsko-kraškem vodonosniku lahko sklepamo bodisi iz ocene količine infiltriranih padavin v zaledju vodonosnika, iz ocene specifičnega odtoka z območja napajanja vodonosnika ali iz meritev pretokov izvirov, preko katerih se podzemni vodonosnik prazni.

V prvi fazi ocenjevanja zalag podzemne vode je bilo določeno potencialno vplivno območje vodnega rova, torej območje s katerega bi lahko teoretično še pritekala voda v podzemni rov. Velikost vplivnega območja je odvisna tudi od načina izvedbe drenažnega rova, zato smo izdelali dve oceni oziroma varianti (slika 1). Prva varianta (ožje območje) obsega območje od doline Iške na vzhodni strani do prelomne cone, ki se vleče proti NW od Rakitne do izvira Pako v dolini Borovniščiце na zahodni strani. Na severni strani je območje omejeno z Ljubljanskim barjem. Površina območja po prvi varianti znaša 74,9 km².

Druga varianta (širše območje) predvideva, da bi rov s svojim prečnim krakom posegel tudi proti vzhodu v zaledje Iščice. V tem primeru k prej navedeni površini lahko prištejemo še 74,8 km, tako da znaša skupna površina 149,7 km².

Ocena dinamičnih zalag podzemne vode na osnovi ocene specifičnega odtoka in ocene infiltracije padavin

Ob privzetem specifičnem odtoku pri nizkih vodah 5 l/s km² (ARSO, 1998) bi ob nizkovodnih hidroloških pogojih z ožjega območja otekalo 375 l/s podzemne vode, v kolikor pa bi z rovom posegli tudi na območje Iščice na vzhodni strani pa znaša ocenjena skupna količina 750 l/s. Ob srednjih vodah so ocenjeni iztoki iz sistema mnogo večji, in sicer 2,2 m³/s za ožje območje oziroma 4,5 m³ iz širšega območja. Seveda ne moremo pričakovati, da se bodo vse navedene količine tudi dejansko pojavile v drenažnem rovu, kljub temu pa je iz prikazanih izračunov možno oceniti, da na tem območju razpolagamo z velikim količinskim potencialom podzemne vode.

Za oceno koeficienta infiltracije smo uporabili Kennesyveo metodologijo (PRESTOR et al., 2005), obdelavo smo izvedli v GIS okolju s programskim paketom ArcView. Na osnovi dobljenega koeficienta infiltracije 0,53 smo izračunali, da se letno na kvadratnem kilometru območja v povprečju infiltrira 805.000 m³ padavinske vode, kar nam da povprečni iztok za ožje območje 1914 l/s in za širše območje 3800 l/s.

Ocena dinamičnih zalag podzemne vode na osnovi podatkov o pretokih izvirov

Voda iz kraško-razpoklinskega vodonosnika Krimskega pogorja večinoma prihaja na površje na kontaktu vodonosnika z Ljubljanskim barjem, del podzemne vode pa neposredno napaja medzrnski vodonosnik Ljubljanskega barja (MENCEJ, 1989). Ocenjujemo, da so količine podzemne vode, ki se pojavlja v izvirov na obrobju Ljubljanskega barja, dober pokazatelj razpoložljivih količin, ki bi jih bilo možno zajeti z drenažnim rovom. Večino podatkov o pretokih izvirov smo povzeli po Bazi izvirov GeoZS ter raziskovalni nalogi "Monitoring izvirov za spremljavo količinskega in kakovostnega stanja izvirov na območju Iškega vršaja in na izstopnem delu Ljubljanskega polja", ki jo za JP Vodovod-Kanalizacija d.o.o. izvaja Geološki zavod Slovenije (PRESTOR et al., 2005-2007).

Ocena pretokov izvirov je bila izdelana za ožje območje zaledja vodonosnika med Iško in linijo Rakitna - Pako, ter tudi za vzhodno območje, ki bi ga bilo možno izkoristiti s prečnikom drenažnega rova v smeri proti jugovzhodu v kraško zaledje Iščice.

Podatki o pretokih izvirov na obravnavanem območju kažejo, da ob srednjih hidroloških stanjih iz ožjega območja sistema preko izvirov iz-

teka okoli 2580 l/s, ob nizkih hidroloških stanjih pa lahko računamo na okoli 770 l/s. V kolikor bi v bodočnosti drenažni rov s prečnikom podaljševali tudi proti JV, bi ob srednjih vodah pridobili dodatnih 760 l/s, kar skupno zneso 3340 l/s. Ob nizkih vodnih stanjih iz ožjega in širšega območja skupno izteka preko izvirov okoli 1000 l/s.

Če upoštevamo, da se določen del podzemne vode sploh ne pojavi v izviroh, ampak neposredno napaja pleistocenski vodonosnik Ljubljanskega barja, iz podatkov o pretokih izvirov lahko zaključimo, da na obravnavanem območju obstajajo zadostne zaloge podzemne vode, ki bi jo bilo možno izkoristiti z drenažnim rovom.

Primerjava ocen razpoložljivih količin podzemne vode po različnih metodah

V preglednici 1 je prikazana primerjava ocen razpoložljivih količin podzemne vode, ocenjenih na osnovi treh različnih metod. Količine podzemne vode so izražene v litrih/sekundo.

Preglednica 1. Primerjava ocen razpoložljivih količin podzemne vode, izračunanih po treh različnih metodah

METODA	OŽJE OBMOČJE		OŽJE IN ŠIRŠE OBMOČJE	
	srednje vode	nizke vode	srednje vode	nizke vode
specifični odtok	2248	375	4491	748
infiltracija padavin	1914	638	3825	1275
iztok izvirov	2580	772	3341	1000

Iz preglednice je razvidno, da se ocene dinamičnih zalog vodonosnika dokaj dobro skladajo, čeprav so pridobljene s tremi različnimi pristopi. Ocenjujemo, da predstavljajo dovolj dobro osnovo za odločitev glede perspektivnosti nadaljevanja hidrogeoloških raziskav v pogorju Krma.

Ocena dotoka podzemne vode v drenažni rov

Za oceno dotoka v drenažni rov smo uporabili enačbo ustaljenega režima toka po Lembkeju.

$$Q = 2 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{k \cdot W}{2}} \cdot R$$

H = višina vode v vodonosniku (m)

Q = iztekajoča količina (m³/s)

W = napajanje (m/s)

R = vplivni polmer (m)

k = prepustnost (m/s)

Za oceno prepustnosti smo uporabili primer iz masiva Pece in mežiškega Rudnika svinca in cinka, kjer je bilo pri zapolnjevanju jame možno izračunati precej natančen regionalni koeficient prepustnosti ($4,5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} < k < 6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$) v podobnem apnenčastem in dolomitnem vodonosniku kot je Krimski (PRESTOR et al., 2003).

Izračuni dotokov so pokazali, da bi bil pričakovani stalni dotok iz 2000 m dolgega rova 270 l/s, iz 3.000 m dolgega rova 410 l/s, če pa bi rov podaljšali na 4000 m lahko pričakujemo dotoke podzemne vode okoli 550 l/s.



Slika 2. Območje predvidenega portala variante drenažnega rova pri Strahomerju

Hidrogeološka izhodišča za lociranje drenažnega rova

Po podrobni proučitvi hidrogeoloških razmer na območju Krimskega pogorja smo se odločili za varianto trase drenažnega rova pri Strahomerju (slika 1 in 3).

Na osnovi primerjave obeh variant ocenjujemo, da je varianta Strahomer ugodnejša vsaj iz treh razlogov:

- celotna dolžina rova poteka po dolomitu,
- manjši vpliv na obstoječe objekte za oskrbo s pitno vodo,
- rov posega v centralni del Krimsko-Rakitniškega pogorja, kar pomeni obširno zaledje, ki je zelo malo obremenjeno s človekovimi posegi v prostor.

Zaenkrat smo v študiji podrobneje obdelali varianto rova Strahomer v dolžini 2000 m (slika 3). Ocenjujemo, da bi bilo drenažni rov v isti smeri možno podaljšati preko 4000 m, s čimer bi z rovom presekali tudi prelomno cono JV–SZ, ki glede na rezultate sledilnih poizkusov ožje območje deli v dve ločeni hidrogeološki enoti. Na ta način bi bilo možno kljub slabše prepustni pretrti coni izkoristiti tudi podzemno vodo iz zahodnega dela napajalnega območja. Varianta Strahomer omogoča tudi izdelavo odcepa glavnega rova, ki bi se na približno 2000 m od vhoda usmeril proti jugovzhodu; odcep zaenkrat še ni bil podrobneje hidrogeološko obdelan.

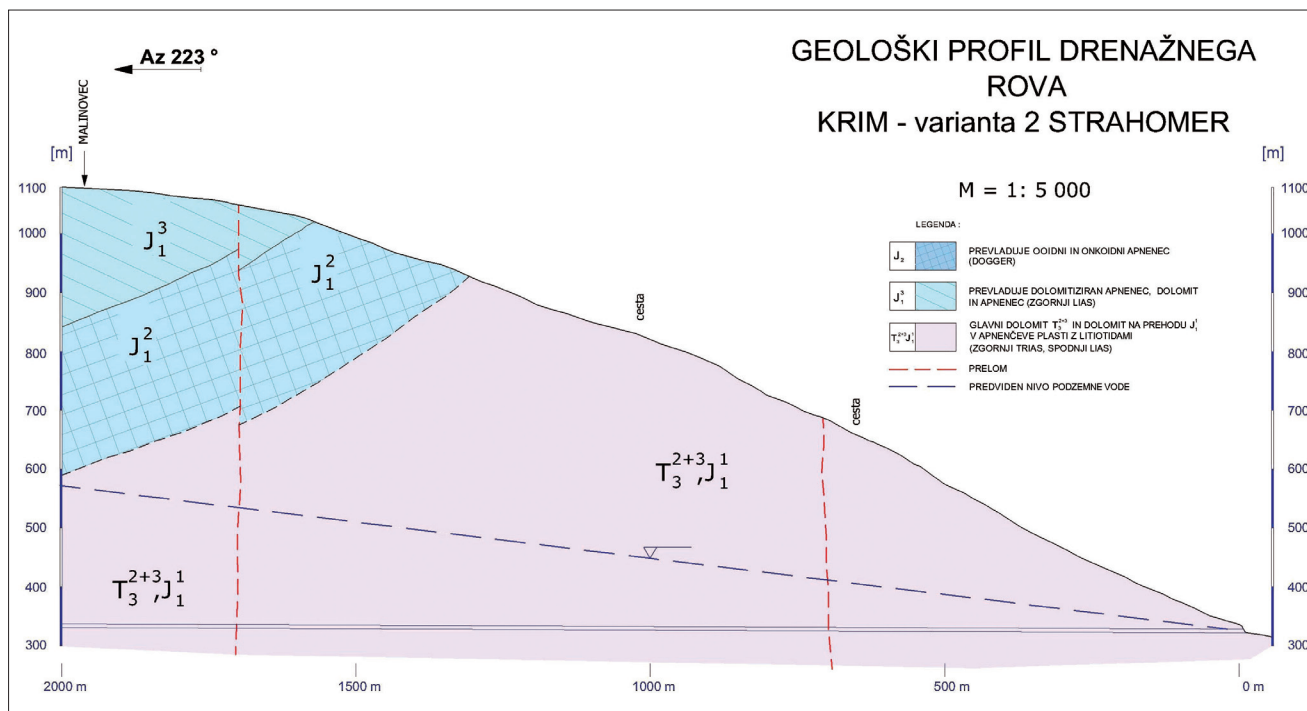
Zaključki

Dinamične zaloge vodonosnika Krimskega pogorja so bile ocenjene po treh različnih metodah: z

oceno učinkovite infiltracije podavin po Kennessyju, iz ocene specifičnega odtoka iz območja ter na osnovi podatkov o praznjenju vodonosnika preko izvirov na obrobju Ljubljanskega barja. Na osnovi izračunov razpoložljivih vodnih količin je bilo ocenjeno, da je vodni potencial napajalnega območja tudi ob nizkih vodah velik; v hidroloških pogojih nizkih vod znaša iztok podzemnih vod iz ožjega napajalnega območja vodnega vira od 370–770 l/s, iz širšega območja pa preko 1000 l/s. Ob srednji hidrološki situaciji so ocene iztočnih količin iz sistema še dosti večje: 1,9 m³/s do 2,5 m³/s za ožje območje in 3,3 m³/s do 4,5 m³/s za širše območje.

Izmed več možnih variant trase drenažnega rova je bila izbrana varianta Strahomer, ki ima več izrazitih prednosti:

- celotna dolžina rova poteka po dolomitu, ki je v primerjavi z apnencem ugodnejši zaradi enakomernejšega iztekanja podzemne vode ter boljših čistilnih sposobnosti, tako glede motnosti kot bakterioloških značilnosti,
- pri tej varianti se pričakuje manjši vpliv na obstoječe objekte za oskrbo s pitno vodo,
- pri varianti Strahomer podzemni rov sega bolj v notranjost masiva, zato lahko računamo z obširnejšim zaledjem in večjimi dotoki podzemne vode. V študiji smo zaenkrat podrobneje obdelali drenažni rov dolžine 2000 m, čeprav geološki in hidrogeološki pogoji na lokaciji omogočajo podaljšanje rova na preko 5900 m.
- v primeru izrazitega povečanja večjih potreb po pitni vodi za oskrbo Ljubljane in okolice varianta Strahomer omogoča tudi izdelavo prečnika v jugovzhodni smeri, ki bi omogočal zajem podzemne vode s širšega napajalnega zaledja vodonosnika.



Slika 3. Geološki profil preko drenažnega rova variante Strahomer

Preglednica 2. Izračunani dotoki v drenažni rov v odvisnosti od njegove dolžine

Dolžina drenažnega rova (m)	Dotok v rov (l/s)
2.000 m	274
3.000 m	411
4.000 m	548

Izdelan je bil tudi izračun dotokov v drenažni rov, ki je ob predpostavljeni prepustnosti kamnin v notranjosti Krimskega pogorja odvisen predvsem od dolžine rova.

Ob rekapitulaciji opravljenih raziskav in analiz ugotavljamo, da so možnosti za izvedbo podzemne drenaže pod Krimom ugodne in da je raziskave smiselno nadaljevati. Na osnovi izvedenih raziskav ocenjujemo, da se na obravnavanem območju nahajajo zadostne količine podzemne vode, ki bi prišle v poštev za izkoriščanje s podzemnim drenažnim rovom.

Literatura

- AGENCIJA RS ZA OKOLJE 1998: Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije, Ljubljana.
- BUSER, S., GRAD, K. & PLENIČAR, M. 1967: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Postojna. Zvezni geološki zavod Beograd.
- BUSER, S. 1968: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Ribnica. Zvezni geološki zavod Beograd.
- HIDROINŽENIRING 2006: Potencialni novi viri pitne vode za Mestno občino Ljubljana. Naročnik študije Mestna občina Ljubljana.
- MENCEJ, Z. 1989: Prodni zasipi pod jezerskimi sedimenti Ljubljanskega barja. *Geologija* (Ljubljana) 31: 517–553.
- MILER, M. 2007: *Geologija Krma in okolice*. Diplomsko delo, Knjižnica NTF – Odseka za geologijo, 64 str., Ljubljana.
- NOVAK, D. & ROGELJ, J. 1987: Odtekanje vode z območja Rakitne. *Naše jame* (Ljubljana) 29: 17–21.
- OGORELEC, B. & ROTHE, P. 1992: Mikrofacies, diageneza in geokemija dachsteinskega apnenca ter glavnega dolomita v jugozahodni Sloveniji. *Geologija* (Ljubljana) 35: 81–181.
- PRESTOR, J., FAJMUT ŠTRUCL, S. & PUNGARTNIK, M. 2003: Mežica lead and zinc mine closure impact on hydrogeological conditions in upper Mežica valley. *RMZ-Materials and Geoenvironment* (Ljubljana) 50: 313–316.
- PRESTOR, J. et al. 2005: Nacionalna baza hidrogeoloških podatkov za opredelitev vodnih teles podzemne vode. Geološki zavod Slovenije, arh.št. K-II-30d/c-11/1113-j, Ljubljana.
- PRESTOR, J., STROJAN, M. & FEGUŠ, B. 2005–2007: Monitoring izvirov za spremljavo količinskega in kakovostnega stanja izvirov na območju Iškega vršaja in na izstopnem delu Ljubljanskega polja. Poročilo Geološkega zavoda Slovenije, arh.št.; K-II-30d/c-13/200, Ljubljana.
- URBANC, J., PRESTOR, J., CAR, M., STOPAR, R., KOČEVAR, M., BIZJAK, M., BENČINA, D., ŠTIGLIC, R. & MAJHEN, I. 2008: Izdelava projektne dokumentacije za vrtanje sondažnega in glavnega drenažnega rova kot vira čiste pitne vode ob vznožju Krimskega pogorja nad Tomišljem. Poročilo Geološki zavod Slovenije, arh.št. K-II-30d/c-1/1466, Ljubljana.