

VODONOSNIK ZAPADNOG DIJELA PRGOVOG POLJA NA OTOKU LASTOVU

AQUIFER OF THE WESTERN PART OF THE PRGOVO POLJE ON THE ISLAND OF LASTOVO

RENATO BULJAN¹⁾, TAMARA MARKOVIĆ¹⁾, MLADEN ZELENKA²⁾

¹⁾ Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000, Zagreb

²⁾ Građevinski fakultet, Sveučilište u Mostaru, Kralja Zvonimira 14, 8800 Mostar.

Ključne riječi: Krški vodonosnik; odredba kvantitativnih i kvalitativnih parametara zdenaca; otok Lastovo.

Key words: Karst aquifer; Quantitative and Qualitative determination of wells parameters; Island Lastovo

Sažetak

Za potrebe vodoopskrbe otoka Lastova u Prgovom polju crpljena su i dodatno testirana dva novoizbušena zdenca. Cilj istraživačkih radova bio je određivanje graničnih kvantitativnih i kvalitativnih parametara za njihovu optimalnu eksploataciju, desalinizaciju i korištenje pridobivene vode u sustavu postojećeg vodovoda. Prikupljeni hidrogeološki i hidrokemijski podaci ukazuju da u vodonosniku zapadnog dijela Prgovog polja postoji stratificirani vodonosnik s dva međusobno slabo povezana vodonosna horizonta. Za preradu vode desalinizacijom prihvatljiva je voda iz plićeg vodonosnog horizonta, nabušenog zdencom MZ-2 u karbonatnim naslagama uz rub polja. Dublji vodonosni horizont nabušen zdencom MZ-1 u karbonatnoj kaverni ispod klastičnih naslaga polja je pod većim utjecajem mora. Njegovim kontinuiranim crpljenjem i kod male količine vode utjecaj mora je sve izraženiji.

Abstract

Two new-drilled wells in the Prgovo Polje are pumped and additionally tested for the water supply of the island Lastovo. The research works were aimed at finding boundary quantitative and qualitative parameters for their optimal exploitation, desalination and use of the pumped water in the existent water supply system. Collected hydrogeological and hydrogeochemical data indicate the presence of stratified aquifer in the western part of Prgovo Polje consisting of two poorly connected horizons. Water from the shallower part of the aquifer, drilled by the well MZ-2 in the carbonate rocks at the edge of polje, is good enough for desalination. The deeper part of aquifer, drilled by the well MZ-1 in the carbonate cavern below the polje's clastic sediments, experiences the greater influence of the sea water. Its continuing pumping combined with low quantity of water is the main reason of the ever increasing influence of the sea water.

UVOD

Lastovo je južnodalmatinski otok, površine 47 km² (približno 10 x 4,5 km), trajektom udaljen 90 km od obale Hrvatske i 125 km od obale Italije (Slika 1). Tijekom godine ima približno 800 stanovnika, a u turističkoj sezoni broj stanovnika poraste na preko 2500 osoba. Najveći komunalni problem Lastova je osigurati dovoljne količine pitke vode tijekom ljetnih mjeseci. Na temelju pozitivnih rezultata hidrogeoloških istraživačkih radova u Prgovom polju (Zelenika, 2001¹⁾, u sklopu kojih su izbušena 2 zdenca s bočatom vodom (Foretić, 2001²⁾, pristupilo se njihovom istovremenom petnaestodnevnom kontinuiranom crpljenju kako bi se polučile spoznaje o njihovoj izdašnosti i kakvoći crpljene vode u hidrološki sušnom razdoblju. Osobita pozornost posvećena je elektrolitičkoj vodljivosti (CND-konduktivitet) i koncentraciji klorida u crpljenoj vodi kako bi se mogla ekonomično u desalinizatoru "pročistiti" do razine vode za piće (ispod 250 mg Cl/l vode).

Klima otoka Lastova je izrazito mediteranska s jesenskim i zimskim kišama i ljetnim sušama. Vrijednosti temperatura rijetko su ispod 10 °C i iznad 30 °C. Srednja godišnja količina oborina za 30-godišnje razdoblje (1961-1990), mjereno u meteorološkoj postaji na brdu Kaštel iznad mjesta Lastovo, iznosi 691 mm, od čega se na hladni dio godine (listopad – ožujak) odnosi 67 % (Milković, 1998). Lastovo je morfološki izrazito razveden i krševit otok s desetak vrhova viših od 200 m, a Sv. Juraj (417 m) i Pleševo brdo (415 m) su najviši. Novi Hum (204 m) i Sv. Vid (186 m) kod samog Prgovog polja su najviši vrhovi na istočnom dijelu otoka.

1) ZELENKA, M. (2001): Studija vodoistražnih radova na Prgovu polju na otoku Lastovo. Fond str. dok. Geotehnički fakultet, Varaždin.

2) FORETIĆ, J. (2001): Vodoistražni radovi Lastovo, 2000/2001. Prgovo polje, vodoistražne bušotine MZ-1 i MZ-2. Fond str. dok. Geofizika, Zagreb.



Slika 1. Položajna skica otoka Lastova

Figure 1 The position sketch of the island Lastovo

Lastovo ima izuzetno bogat biljni pokrov (najšumovitiji otok Jadrana) zbog čega su vrijednosti moguće evapotranspiracije vrlo visoke (712,7 mm/god., prema Sekulić, 1998). To je 21,7 mm više od prosječnih oborina (691 mm/god., prema Sekulić, 1998). Ovakav negativan odnos vrijednosti prosječnih godišnjih padalina i vrijednosti evapotranspiracije u pravilu ne omogućuje nikakvu akumulaciju i korištenje podzemne vode. Međutim, na Lastovu se desetljećima eksploatira 3,5 - 5 l/s podzemne vode za opskrbu pučanstva. To je moguće zbog velike i brze infiltracije padalinske vode, akumulacijskih odlika prisutnih karbonatnih jurskih i klastičnih kvartarnih naslaga, ali i zbog toga što su padaline vezane za zimske mjeseci. Manjak padalinske vode potrebne za evapotranspiraciju konstatiran je samo za razdoblje ljetne sezone, od lipnja do kolovoza (Penzer i dr., 1995). Ako je prosječna vrijednost evapotranspiracije 39 % (Sekulić & Vertačnik, 1996) onda je vrijednost infiltracije 61 % vrijednosti prosječnih oborina od 0,691 m. Na temelju tog podatka na otoku Lastovu površine 46,870.000 četvornih metara infiltriralo bi se (kako slijedi: $0,61 \times 0,691 \times 46,870.000$) 19,756.174 prostorna metra vode godišnje, ili 626 l/s. U Prgovo polje, površine slijeva 2 km², infiltriralo bi se 843,020 m³ vode godišnje, ili 26,73 l/s. Iz vodonosnika Prgovog polja danas se kontinuirano crpi 5 l/s pa ostaje značajna zaliha padalinske vode koja istječe na dispergiranim priobalnim izvorima, ali i za dodatno crpljenje sa svrhom vodoopskrbe Lastova.

U ovom radu prikazani su rezultati petnaestodnevnog crpljenja novoizbušenih zdenaca MZ-1 i MZ-2 u zapadnom dijelu Prgovom polju. Na temelju motrenja dinamičkih razina vode i njenih fizikalno kemijskih značajki, uzorkovanja crpljene vode i načinjenih laboratorijskih hidrochemijskih analiza, konstatirano je unutar vodonosnika Prgovog polja egzistiranje stratificiranog vodonosnika s dva međusobno slabo povezana vodonosna horizonta i prikazan je prijedlog režima eksploatacije testiranih vodnih objekata.

GEOLOŠKI I HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

Otok Lastovo u užem smislu predstavlja monoklinalnu strukturu formu s nagibom slojeva u smjeru istoka, sjeveroistoka, pod kutovima nagiba 12-25°, s mjestimičnim odstupanjem od navedenog uslijed tektonske destrukcije strukture. Gledano u širem smislu, blago nagnute malmske naslage Lastova istočni su dio široko položene, rasjedima razlomljene i morem potopljene antiklinalne strukture pružanja generalno SI-JZ, čiji dijelovi grade i okolnih 46 otočića lastovskog arhipelaga.

- 3) IVIČIĆ, D., BULJAN, R., SINGER, D., BIONDIĆ, R., BOŽIČEVIĆ, S. & KAPELJ, S. (1997): Hidrogeološka studija dalmatinskih otoka. Fond str. dok. Instituta za geol. istr., Zagreb.
- 4) FRITZ, F. & MAMUŽIĆ, P. (1963): Detaljna geološka, hidrogeološka i inženjersko-geološka istraživanja otoka Lastova. Fond str. dok. Instituta za geološka istr., Zagreb.

Lastovo je izgrađeno od karbonatnih naslaga pretežito gornjojurske starosti, a sjeverni rubni dio otoka grade tektonski odijeljene karbonatne naslage gornje krede (Korolija & Borović, 1977). Zapadni dio otoka izgrađen je pretežito od dolomita, a istočni od vapnenaca s kasnodijagenetskim dolomitnim uklopcima. Veća polja, pa tako i Prgovo polje, izgrađena su od pješćanih kvartarnih naslaga koje nisu autohtone, nastale raspadanjem obližnjih stijena, već su eolskog podrijetla, nanosene vjetrom. Pijesci mjestimice sadrže proslojke gline. Njihova debljina u Prgovom polju iznosi preko 55 m (Foretić, 2001). Podlogu kvartarnih pijesaka i njima lateralne naslage izvan Prgovog polja predstavljaju jako okršene, uglavnom vapnenačke naslage malmske starosti. Okršenost im doseže znatno dublje od razine mora. U vrijeme glacijala Würma (kvartarne starosti, prije približno 25,000 godina) razina mora je bila za stotinjak metara niža nego što je danas (Šegota, 1968). To je pogodovalo da erozijski i korozijski procesi do znatne dubine "prodru" u karbonatne naslage. Taj okršeni i raspucani kolektorski prostor, uz pjeskovite naslage polja, predstavlja vodonosnik u kojem se nalazi leća slatke vode u dinamičkoj ravnoteži sa slanom vodom u podini.

Znatna debljina eolskih pijesaka i dobra poroznost i vodopropusnost vapnenačkih naslaga ključni su za infiltraciju i akumulaciju slatke vode koja padne u kišnom razdoblju godine. Najveći dio padalinske vode brzo se infiltrira i teče podzemnim tokovima generalno od zapada u smjeru istoka (zbog monoklinalne strukture i slabije vodopropusnih dolomitnih naslaga na zapadnoj strani otoka). Ta voda je važna za napajanje i konstantan kapacitet zdenaca izvedenih u vapnenačkim naslagama u istočnom dijelu otoka. Najveći dio infiltrirane vode istječe na brojnim malim dispergiranim priobalnim izvorima. Voda najčešće istječe iz otvorenih karbonatnih pukotina uz obalu mora što ukazuje na postojanje neiskorištene podzemne vode i na njezin tok unutar vodonosnika otoka koji se napaja iz oborinske vode i djelomično iz mora. Ona na priobalnim izvorima ima povišenu koncentraciju klorida i ne može se koristiti za piće ili navodnjavanje. Ribari svjedoče o aktivnosti tih zaslanjenih izvora tijekom cijele godine.

HIDROGEOLOŠKI ISTRAŽIVAČKI RADOVI

Glavnina potreba pitke vode na Lastovu, uz korištenje tristotinjak tradicionalnih gustirni s kišnicom, osigurava se crpljenjem podzemne vode i desaliniziranjem na Prgovom polju. Od 17 starih zdenaca danas se koriste samo 3. Problem tih zdenaca je što su plitki, dosežu svega nekoliko metara ispod razine mora. Projektirani su i izvedeni s ciljem pridobivanja slatke vode prije ideje o nabavci desalinizatora i preradi bočate vode. Prosječna izdašnost tih zdenaca, od kojih su prva dva izbušili Talijani tridesetih godina prošlog stoljeća, iznosi 0.5 l/s vode. Sadržaj klorida se i u njima u sušnim ljetnim mjesecima

povećava. Vodoopskrbni sustav Lastova, ukupne duljine međumjesnog i mjesnog cjevovoda 23 km, izgrađen je i pušten u uporabu 1971. godine. Središnja crpna postaja neprekidno u sustav upumpava oko 3 l/s desalinizirane vode.

Područje Prgovog polja (slika 2) je ocijenjeno perspektivnim za zahvat vode u podzemlju zbog tektonske razlomljenosti karbonatnih naslaga u njegovim rubnim dijelovima, znatne debljine pješćanih naslaga, krajnjeg istočnog položaja na otoku, ali ipak udaljenog od obale mora 1-2 km i niže nadmorske visine od okolnih polja pa je izvedba istraživačkih geotehničkih radova plića i jeftinija. U njemu se nalaze postojeći infrastrukturni objekti (cjevovodi, desalinizator, crpna postaja) vodovoda Lastova. Osim navedenog, ono je dovoljno udaljeno od naselja Lastovo, (oko 3,5 km) koje nema kanalizacijski sustav, pa se fekalne vode iz crnih jama infiltriraju u podzemlje i ugrožavaju kakvoću vode u poljima bližim naselju. Lokacije dva nova zdenca određene su na temelju provedenih hidrogeoloških istraživanja (Zelenika, 2001), ranijih geofizičkih istraživanja metodama geoelektričnog sondiranja i profiliranja (Kovačević, 1964⁵), izvedbe istražno eksploatacijskih zdenaca (Franić i dr., 1968⁶), te na temelju novoizvedenih geofizičkih istraživanja metodama 2D-električne tomografije, seizmičke refrakcije i refleksije (Šumanovac, 2000⁷).

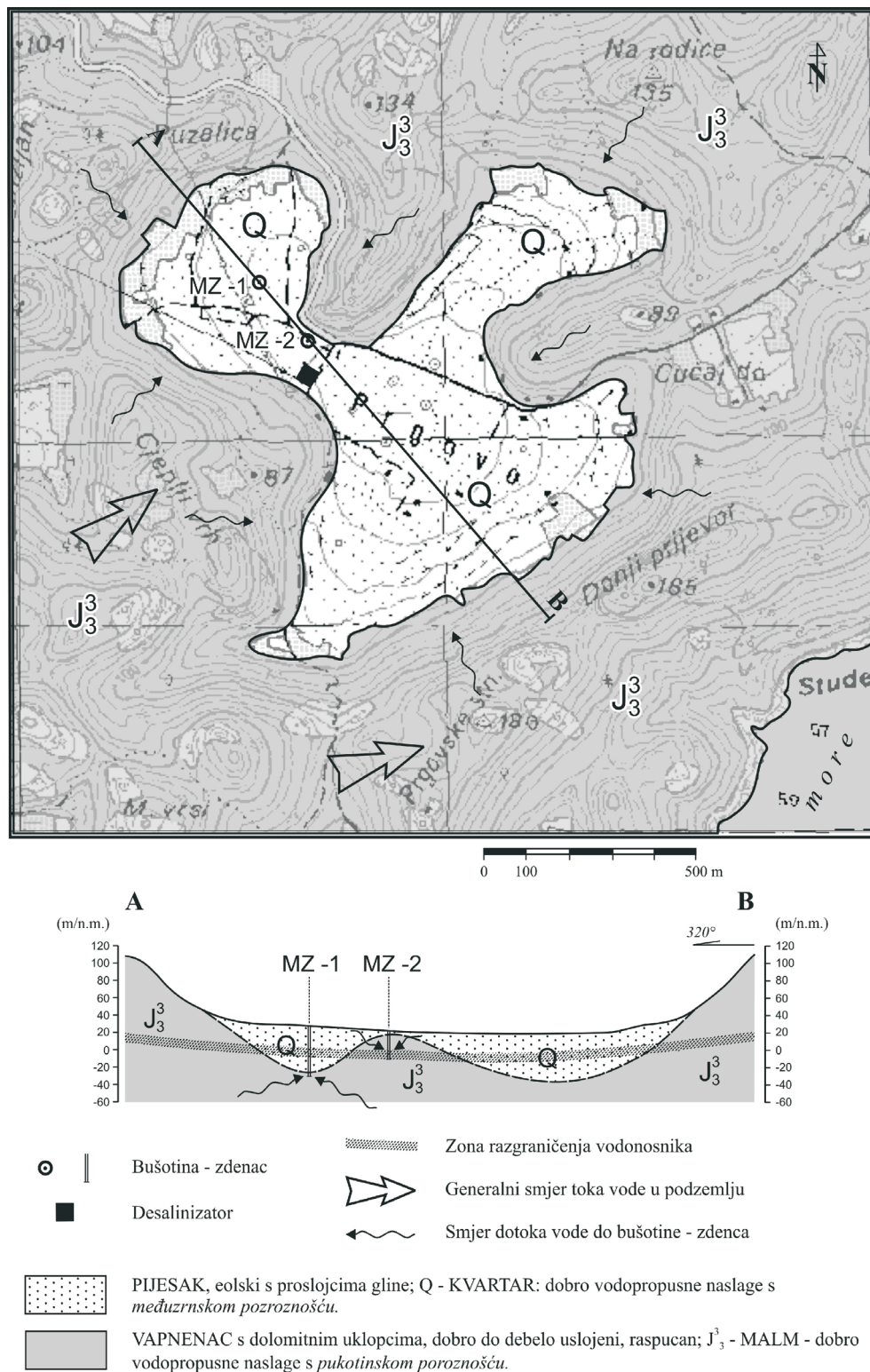
Bušenje crpljenih zdenaca MZ-1 i MZ-2 (slika 3) izvedeno je rotacijskom metodom, žrvanjskim dlijetom uz ispiranje bentonitskom isplakom te zračnim čekićem uz ispuhivanje komprimiranim zrakom (Foretić, 2001). Zdenac MZ-1 izbušen je do dubine 59,5 m, pri čemu se dno zdenca nalazi na 33,5 m ispod razine mora.

Crpka u zdencu MZ-1 spuštena je na dubinu od 31,0 m od ušća bušotine, odnosno 5,99 m ispod statičke RPV. Zdenac MZ-2 izbušen je do dubine 35,0 m pri čemu se dno zdenca nalazi na 13,29 m ispod razine mora. Zacijevljen je s PEHD plastičnom cijevi Ø 125 mm od + 0,5 m do dubine 24,0 m. Dublje se nalazi filter od 24,0 m do 31,0 m i još dublje taložnik od 31,0 m do 32,0 m dubine. U prstenasti prostor bušotine i dublje od 32,0 m do dna na dubini od 35,0 m ugrađen je prosijani šljunak kao stabilizator prstenastog prostora. Crpka u zdencu MZ-2 spuštena je na dubinu 25,0 m od ušća bušotine, 5,14 m ispod statičke RPV.

- 5) KOVAČEVIĆ, S. (1964): Geoelektrična ispitivanja na Prgovom polju, otok Lastovo. Fond str. dok. Geofizika, Zagreb.
- 6) FRANIĆ, D., KRZMAR, B. & MLINARIĆ, J. (1968): Elaborat o izvedbi istražno eksploatacijskih bunara u Prgovu polju na otoku Lastovo 1964-1967. Fond str. dok. Geotehnika, Zagreb.
- 7) ŠUMANOVAC, F. (2000): Geofizička istraživanja 2D-električnom tomografijom i seizmičkim metodama na otoku Lastovu, Fond str. dok. Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Zagreb.

Provedeno crpljenje novoizbušenih zdenaca MZ-1 i MZ-2 u Prgovom polju, kontinuirano i istovremeno u trajanju od 15 dana (Buljan & Marković, 20038), imalo je za cilj odredbu graničnih kvantitativnih i kvalitativnih

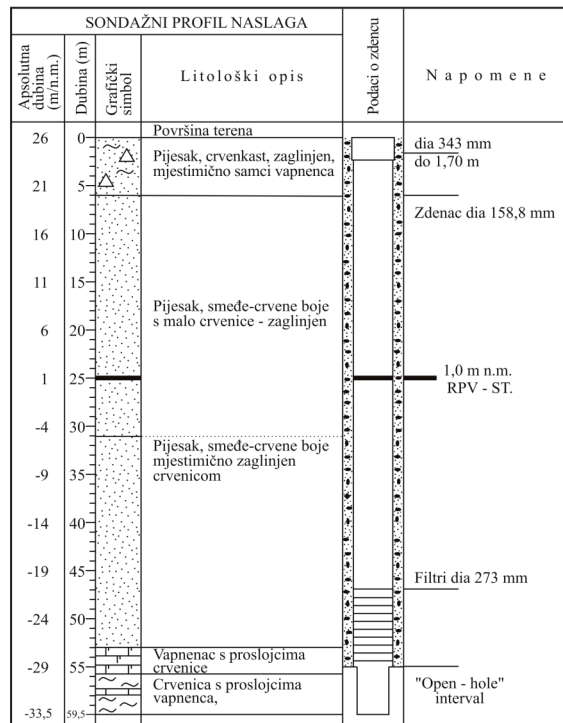
parametara kao podlogu projekta za njihovu optimalnu eksploataciju, desalinizaciju i uključivanje pridobivene pitke vode u sustav vodovoda na otoku Lastovu.



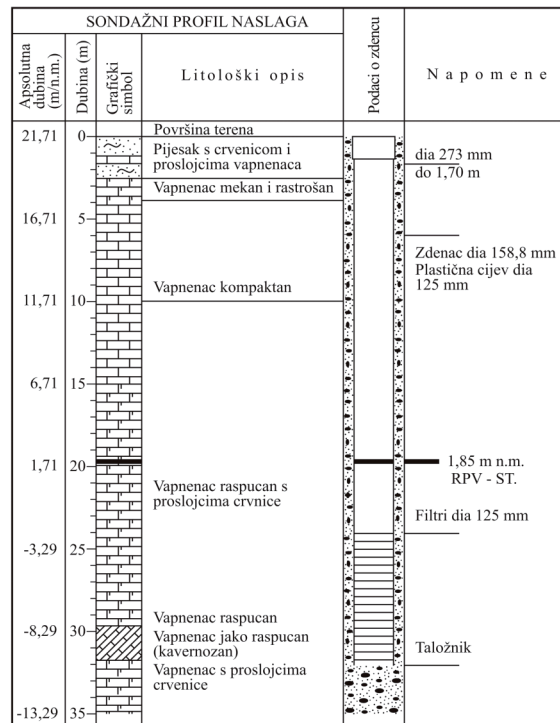
Slika 2. Shematska hidrogeološka karta i profil okolice Prgovog polja

Figure 2 Schematic hydrogeological map and cross-sections of the Prgovo polje area

Bušotina - zdenac **MZ - 1**



Bušotina - zdenac **MZ - 2**



Slika 3. Profili bušotina-zdenaca MZ-1 i MZ-2

Figure 3 The MZ-1 and MZ-2 borehole logs

Zdenac MZ-2 u stalnoj je upotrebi za potrebe desalinizatora. Iz njega se tijekom cijele godine kontinuirano crpi 3,5 l/s vode. Iz ostala tri stara zdenaca vodocrpilišta, koji su još u uporabi, zajedno se dodatno crpi 1,5 l/s vode. Sva crpljena voda skuplja se u tzv. "bazenu sirove vode". U njemu su izmjerene vrijednosti: CND=4,40 mS/cm, T=16,9 °C. Ta voda se desalinizira. Pri tehnološkom procesu desalinizacije (reversno - osmotsko postrojenje) 30 % vode je tzv. "jalova voda", otpadna voda u kojoj su mjerenjem konstatirane vrijednosti: CND=11,58 mS/cm, T=17,0 °C. Jalovu vodu bi trebalo preko bazena za tzv. "retentat", postojećim cjevovodom duljine približno 1900 m precrpeljivanjem odvoditi izvan prostora vodonosnika Prgovog polja i u uvali Barje ispuštati u more. Međutim, tijekom crpljenja zdenaca crpno postrojenje za precrpeljivanje "jalove" vode do mora nije bilo u upotrebi, već se ta "otpadna" voda ispuštala u vodonosnik Prgovog polja neposredno uz vodocrpilište s desalinizatorom. Učinak te ispuštene vode u vodonosnik Prgovog polja tijekom crpljenja zdenaca bio je dvojak. Kako se crpljeni zdenaci nalaze na udaljenosti približno 150 m (MZ-2), odnosno 300 m (MZ-1) od vodocrpilišta s desalinizatorom, u 15 dana crpljenja ta ispuštena voda se kroz pjeskovite kvartarne naslage Prgovog polja vjerojatno pomiješala s vodom u podzemlju i dospjela ponovno do motrenih zdenaca, došlo je do recirkulacije i ponovno je crpljena. Izdašnost zdenaca, naročito zdenca MZ-2 bez te vode je vjerojatno manja, ali to nije došlo do izražaja

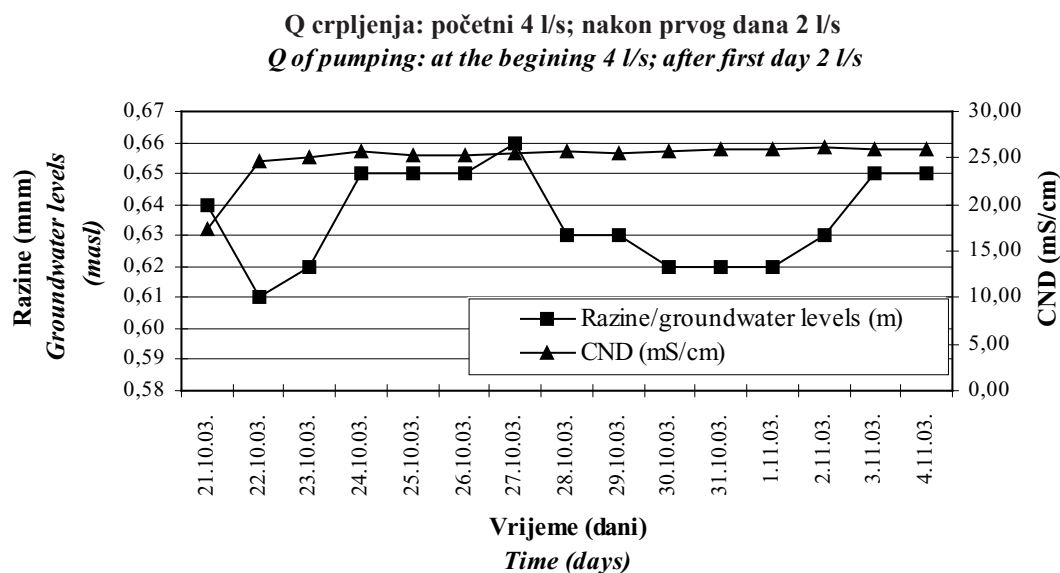
jer je konstrukcija tog zdenca najveći limitator njegove izdašnosti. Drugi, važniji učinak je što jalova voda ima elektrolitičku vodljivost 2,1 puta veću od maksimalno izmjerene elektrolitičke vodljivosti crpljene vode iz zdenca MZ-2. Ona recirkulacijom pogoršava fizikalne i kemijske odlike crpljene vode u smislu njezine prerade do razine vode za piće, a radi se o značajnim količinama i svakodnevnom njenom upuštanju u vodonosnik polja, što će dugoročno imati značajne negativne posljedice glede kakvoće crpljene vode iz zdenaca. Postojeći desalinizator vode u Prgovom polju marke "Universal Aqua Technologies" Inc., koji se vrlo uspješno koristi od 1998. godine, može preraditi 51 galon vode u minuti (51 x 3.8 litara) što je približno 280 m³ vode dnevno od čega je 30 %, ili približno 84 m³ vode dnevno - jalova voda. Ekonomska cijena same desalinizacije je oko 0,65 eura/m³ vode.

Crpljenje zdenaca u trajanju 15 dana je započelo 21. listopada 2003. Ono je izvedeno na kraju hidrološki sušnog razdoblja godine. Inače, 2003. godina je zapamćena kao ekstremno sušna godina u kojoj značajnijih padalina na Jadranu nije bilo od mjeseca travnja.

8) BULJAN, R. & MARKOVIĆ, T. (2003): Vodocrpilište Prgovo polje, otok Lastovo, crpljenje-testiranje zdenaca MZ-1 i MZ-2. Fond str. dok. Instituta za geološka istr., Zagreb.

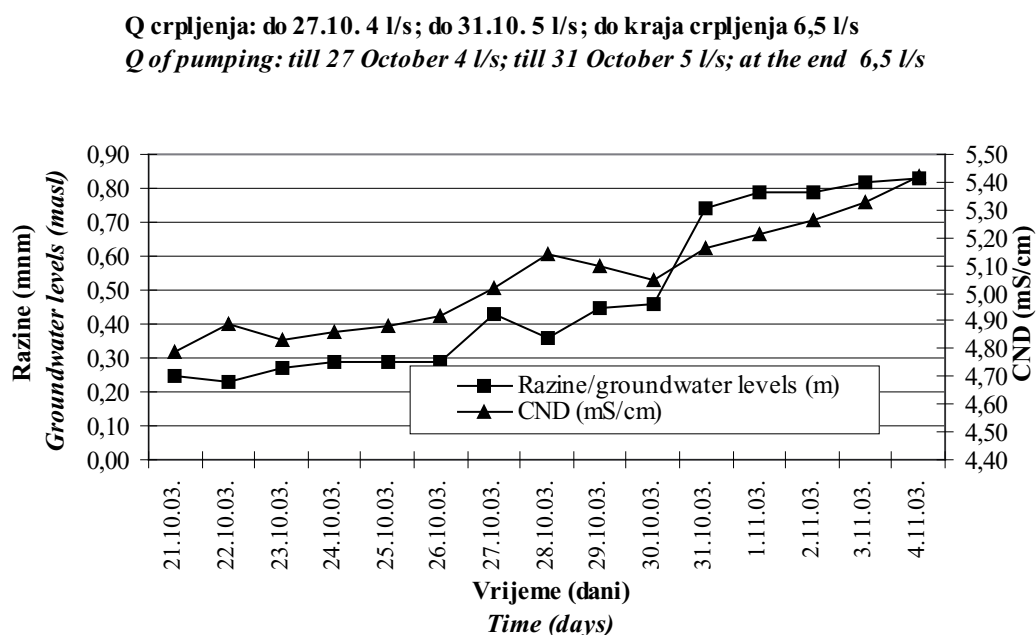
Zdenac MZ-1 početno je crpljen s izdašnošću od 4 l/s koja je nakon 30 sati kontinuiranog crpljenja zbog drastično povećane elektrolitičke vodljivosti smanjena na 2 l/s (slika 4).

Zdenac MZ-2 početno je crpljen s izdašnošću 4 l/s, a zatim nakon 145 sati i 40 minuta kontinuiranog crpljenja izdašnost je povećana na 5 l/s i na kraju nakon 240 sati i 25 minuta crpljenja povećana je, zbog konstrukcije zdenca (\varnothing 125 mm) na maksimalnih 6,5 l/s (slika 5).



Slika 4. Dijagram odnosa razina vode u podzemlju i elektrolitičke vodljivosti tijekom crpljenja zdenca MZ-1

Figure 4 Relationship diagram of water level and CND during the pumping test in well MZ-1



Slika 5. Dijagram odnosa razina vode u podzemlju i elektrolitičke vodljivosti tijekom crpljenja zdenca MZ-2

Figure 5 Relationship diagram of water level and CND during the pumping test in well MZ-2

Za odredbu hidrauličkih odlika zdenca i hidrogeoloških značajki pribušotinske vodonosne sredine korištena je jednažba sniženja prema Jacob-u:

$$s = AQ + BQ^2$$

Izdašnost zdenca definirana je parametrima:

AQ - komponentom sniženja u vodonosniku uzrokovanim otporima laminarnog strujanja vode kroz vodonosnu sredinu. Ona opisuje linearne gubitke i još se naziva parametrom formacijskih gubitaka;

BQ² - komponentom sniženja u vodonosniku uzrokovanim otporima turbulentnog strujanja vode u pribušotinskoj zoni i u filterskom dijelu konstrukcije zdenca, tj. na dodiru zdenca s vodonosnikom, a ovisi prvenstveno o izvedbi zdenca (Driscoll, 1995).

Parametar A izravno je ovisan o transmisivnosti vodonosnika, ali i o vremenu (trajanju) crpljenja i polumjeru zdenca. Međutim, svi ovi parametri, osim transmisivnosti, nalaze se u logaritamskom mjerilu i njihove varijacije tek neznatno utječu na parametar linearnih gubitaka. Parametar B označava turbulentne gubitke i pripisuje se "neučinkovitosti" zdenca (Jacob, 1946).

Ukupno sniženje u zdencu izražava se jednažbom:

$$s = AQ + BQ^2 / : Q$$

$$s/Q = A + BQ$$

U linearnom obliku jednažba s/Q predstavlja specifično sniženje. Ovakva forma jednažbe koristi se kako bi se mogla usporediti funkcionalna veza između specifičnog sniženja s/Q i crpne količine, i to ekvivalentne izdašnosti Q_q koja se izračunava tako da se jednažba postavi po koracima, do rješenja se dolazi rješavanjem sustava linearnih jednažbi. Između dva susjedna koraka vrijedi:

$$\frac{\delta s_i}{\delta Q_i} = A + B \frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i}$$

Gdje je:

$\delta s_i = s_i - s_{i-1}$ - razlika sniženja između dva susjedna koraka (m);

$\delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$ - razlika crpnih količina između dva susjedna koraka (m³/s);

$\delta s_i / \delta Q_i$ - ekvivalentno specifično sniženje (s/m³);

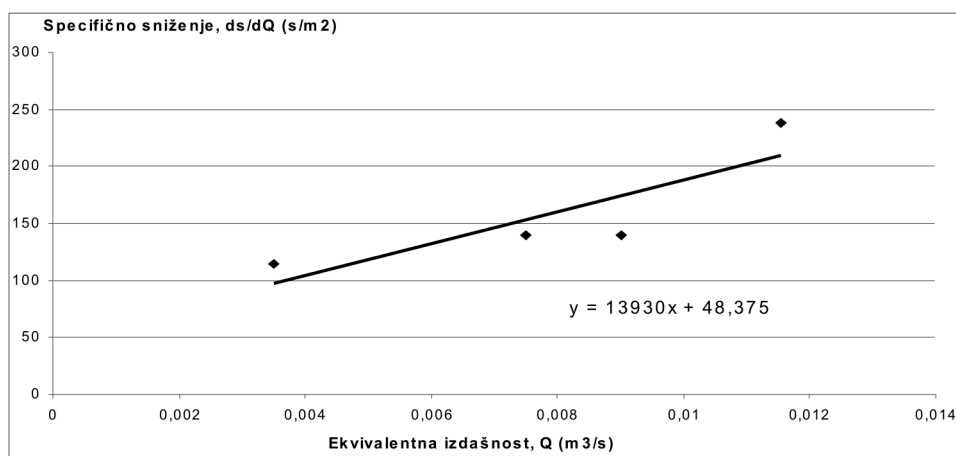
$$\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i} = Q_i - Q_{i-1} = Q_p \quad \text{- ekvivalentna izdašnost između pojedinih koraka (m³/s)}$$

Podaci polučeni crpljenjem-testiranjem zdenca MZ-2 potrebni za izračun njegovih hidrauličkih i hidrogeoloških parametara prikazani su u tablici 1 i grafički u slici 6.

Tablica 1. Vrijednosti potrebne za izračun parametara zdenca MZ-2

Table 1 Values that are necessary for the parameter calculation of the well MZ-2

Korak	Crp. Kol.	Sniženje	Prirast crp. kol.	Prirast sniženja	Ekvival. Izdašnost (m ³ /s)	Ekv. spec. sniž.
"i"	Q _i (m ³ /s)	s _i (m)	δQ _i (m ³ /s)	δs _i (m)	(Q _i ² -Q _{i-1} ²)/δQ _i	δs _i /δQ _i (s/m ²)
0.	0	0				
1.	0,0035	0,40	0,0035	0,40	0,0035	114,2857
2.	0,0040	0,47	0,0005	0,07	0,0075	140,0000
3.	0,0050	0,61	0,0010	0,14	0,0090	140,0000
4.	0,0065	0,98	0,0015	0,37	0,0115	238,7097



Slika 6. Grafički prikaz funkcijskog odnosa specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti s pravcem kojeg opisuju parametri A i B.

Figure 6 Relationship diagram of the specific drawdown and specific yield with the A B line.

Funkcijski odnos specifičnog sniženja (s/Q) i ekvivalentna izdašnosti (Q) predstavljeni su jednadžbom pravca $y = 13930x + 48,375$ (grafički prikazani u slici 6). Vrijednost 13930 predstavlja odsječak pravca na ordinati dijagrama, tj. vrijednosti formacijskih ili linearnih gubitaka A. Vrijednost 48,375 predstavlja nagib pravca, odnosno $\text{tg} \alpha$ - tangens kuta kojeg pravac zatvara s apcismom dijagrama, tj. vrijednost nelinearnih, u ovom slučaju kvadratnih gubitaka B koji se prvenstveno odnose na konstrukciju zdenca i turbulenciju na dodiru zdenca s vodonosnikom. Prema grafičkom rješenju iz Q/s dijagrama (slika 7), ali motreći i na elektrolitičku vodljivost (CND) određen je njegov optimalni eksploatacijski kapacitet do maksimalnih 6,0 l/s vode.

Na temelju ovih parametara moguće je predvidjeti (interpolirati i ekstrapolirati) funkcijski odnos sniženja (s) i crpne količine (Q). Taj odnos je prikazan u tablici 2 i u slici 7 za vrijednosti crpnih količina od 1,0 l/s do 10,0 l/s. Te vrijednosti opisuju odnose za petnaestodnevno crpljenje. Na temelju dobivenih vrijednosti moguće je predvidjeti sniženje RPV kao posljedicu određenih crpnih količina.

Osim odnosa između sniženja i crpnih količina, u slici 5 vidljivo je i kako su nelinearni gubici B daleko izraženiji od linearnih formacijskih gubitaka A. To znači da ukoliko je strujanje u samom vodonosniku pretežito laminarno i bez većih gubitaka, do značajnih gubitaka dolazi na kontaktu konstrukcije zdenca s vodonosnikom. To je razumljivo jer u slučaju bušotina MZ-2 ne možemo govoriti o zdencu, nego o istraživačkoj bušotini s unutarnjim promjerom od 125 mm, izvan sekcije filtera zacijevljenoj plastičnim PEHD cijevima.

Često se prilikom crpljenja – testiranja zdenca izračunava i omjer laminarnih gubitaka L_p (Driscoll, 1995; Pollak, 1995; Terzić & Brkić, 2004⁹), koji se izražava kao postotak:

$$L_p = \frac{AQ}{AQ + BQ^2} \cdot 100$$

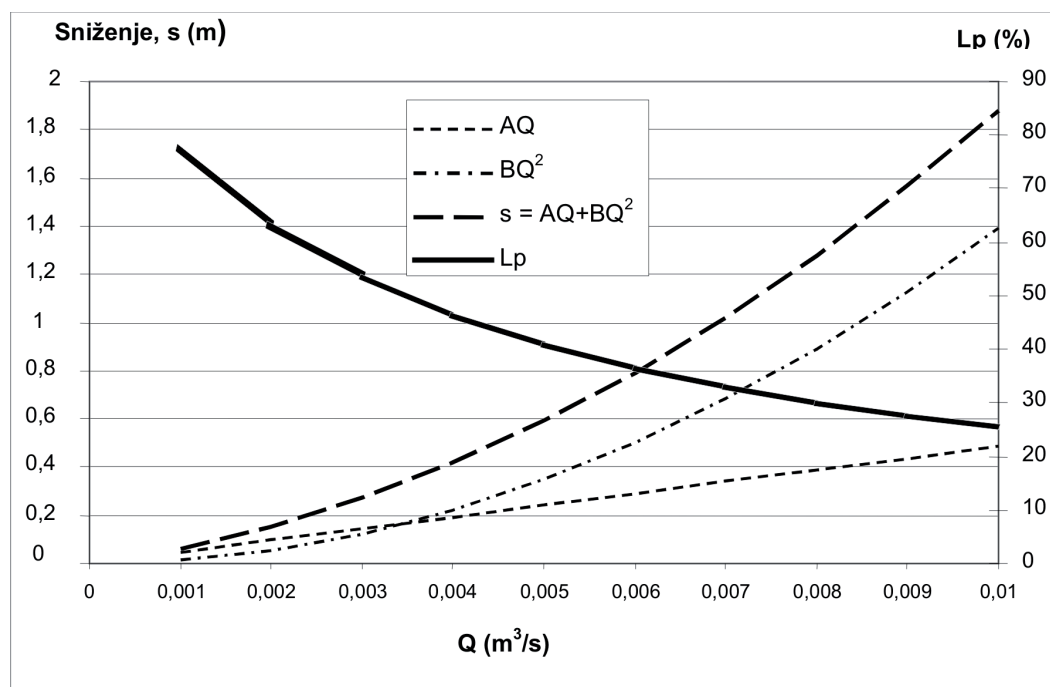
Tablica 2. Vrijednosti Funkcije $s = f(Q)$ i pojedine vrste gubitaka za petnaestodnevno crpljenje zdenca MZ-2

Table 2 Values of function $s = f(Q)$ and different losses during fifteen days of pumping in well MZ-2

Q (m ³ /s)	AQ	BQ ²	$s = AQ+BQ^2$	Lp
0,001	0,04838	0,01393	0,06231	77,64404
0,002	0,09676	0,05572	0,15248	63,45750
0,003	0,14514	0,12537	0,27051	53,65421
0,004	0,19352	0,22288	0,41640	46,47454
0,005	0,24190	0,34825	0,59015	40,98958
0,006	0,29028	0,50148	0,79176	36,66263
0,007	0,33866	0,68257	1,02123	33,16197
0,008	0,38704	0,89152	1,27856	30,27156
0,009	0,43542	1,12833	1,56375	27,84460
0,010	0,48380	1,39300	1,87680	25,77792

Ukoliko se prihvati Jacob-ova teza kako su AQ gubici u vodonosniku, a BQ² gubici u zdencu, tada Lp predstavlja veličinu koja se naziva učinkovitost ili efikasnost zdenca. Podaci za zdenac MZ-2 prikazani su u tablici 2 i slici 7. Jasno se vidi kako niska učinkovitost zdenca još više pada s povećanjem crpne količine. Međutim, prema iskustvenim podacima (Driscoll, 1995), tome nije uvijek tako. Potrebno je zadržati oprez pri zaključivanju, jer se dio turbulentnih gubitaka može pripisati i strujanjima u vodonosniku u okolini zdenca, posebno u krškim uvjetima, pa niti izvedba pravog zdenca ne bi značajno povećala učinkovitost.

9) TERZIĆ, J. & BRKIĆ, Ž. (2004): Dugi Otok, Božava, Hidrogeološki istraživački radovi, pokusno crpljenje, III faza vodoistražnih radova. Fond str. dok. Instituta za geol. istr., Zagreb.



Slika 7. Dijagram $s = f(Q)$ i pojedine vrste gubitaka za petnaestodnevno crpljenje zdenca MZ-2 i postotak laminarnog toka

Figure 7 Diagram $s = f(Q)$ and different losses during fifteen days of pumping in well MZ-2 and percentage of laminar flow

U slučaju bušotine MZ-2 vjerojatno je dio nelinearnih gubitaka moguće pripisati njezinoj izvedbi. Preostali dio turbulentnih gubitaka nastaje zbog krških uvjeta strujanja u vodonosniku, no nije moguće kvantitativno odijeliti te dvije vrste turbulentnih gubitaka. Stoga se vrijednost L_p ne može prihvatiti kao prava hidraulička učinkovitost zdenca, već samo kao omjer laminarnih gubitaka, koji je u konkretnom slučaju relativno visok.

HIDROKEMIJSKA OBILJEŽJA CRPLJENE VODE

Tijekom pokusnog crpljenja u zdencima MZ-1 i MZ-2 mjereni su "in situ" elektrolitička vodljivost, pH i temperatura. Iz svakog zdenca uzeto je 30 uzoraka vode zapremine 200 ml u kojima je izmjerena koncentracija klorida, a na početku, sredini i na kraju crpljenja uzeti su uzorci vode zapremine 1000 ml u kojima su izmjereni osnovni kemijski pokazatelji.

Alkalinitet uzoraka vode izmjeren je titrimetrijskom metodom, a koncentracije klorida određivane su titriranjem s otopinom $Hg(NO_3)_2$ uz indikator difenilkarbazon. Sadržaji kalcija i magnezija u uzetim uzorcima vode izmjereni su kompleksimetrijskom titracijom s otopinom EDTA uz indikatore. Koncentracije sulfata, nitrata, amonijaka i ortofosfata izmjerene su kolorimetrijski na spektrofotometru DL/2010 tvrtke HACH. Korišteni postupci pripreme i mjerenje uzoraka uobičajeni su u hidrokemiji, a korištene kemikalije i standardne otopine proizvodi su iste tvrtke.

Temperature uzorkovanih voda mjerene sondom "in situ" iz zdenca MZ-1 nalaze se u rasponu od 16,2 °C do 17,3 °C, a iz zdenca MZ-2 od 16,6 °C do 16,9 °C. Izmjerene vrijednosti pH vode iz zdenca MZ-1 variraju od 6,61 do 6,86, a vrijednosti pH vode iz zdenca MZ-2 nalaze se u intervalu od 7,26 do 7,76. Iz Tablice 3 vidljivo je da se izračunate vrijednosti ukupno otopljenih tvari (TDS) u vodi iz zdenca MZ-1 nalaze u intervalu od 10965,2 mg/l do 20188,6 mg/l, a u vodi iz zdenca MZ-2 od 2980,4 mg/l do 3880,3 mg/l. Uočeno je kako su se vrijednosti TDS-a tijekom crpljenja povećavale, te da su vrijednosti TDS u vodi iz zdenca MZ-1 puno veće od vrijednosti TDS u vodi iz zdenca MZ-2. Na temelju rezultata izračuna TDS može se konstatirati da se zdenac MZ-1 nalazi pod velikim utjecajem mora dok je na zdenac MZ-2 utjecaj mora manji.

Iz Tablice 3 i slike 8 vidljivo je da su koncentracije klorida i sulfata na početku crpljenja u oba zdenca manje nego na kraju crpljenja i da se tijekom crpljenja postupno povećavaju. Povećavanje koncentracija sulfata i klorida znatno je izraženije na zdencu MZ-1. Koncentracije klorida u vodi iz zdenca MZ-2 nalaze se u intervalu od 1390 mg/l do 1990 mg/l, a koncentracije sulfata od 230 mg/l do 270 mg/l. U tom zdencu koncentracije klorida i sulfata ne mijenjaju se intenzivno kao na zdencu MZ-1. Razlog tome je što taj zdenac ima dovoljan dotok slatke vode da održava donekle prividnu ravnotežu s morem pri crpljenju do 6 l/s vode (Slika 8).

U hidrokemijskim istraživanjima često se koriste omjeri koncentracija sulfata i klorida kako bi se ocijenio

koliki je utjecaj mora na vodonosnik (Leboeuf et.al., 2003, Land et.al., 2004). U slici 8 je iz njihova omjera vidljivo da se zdenac MZ-1 nalazi pod izravnim utjecajem mora. Također je i iz omjera sulfata i klorida vidljivo da je u zdencu MZ-2 utjecaj mora blaži nego na MZ-1.

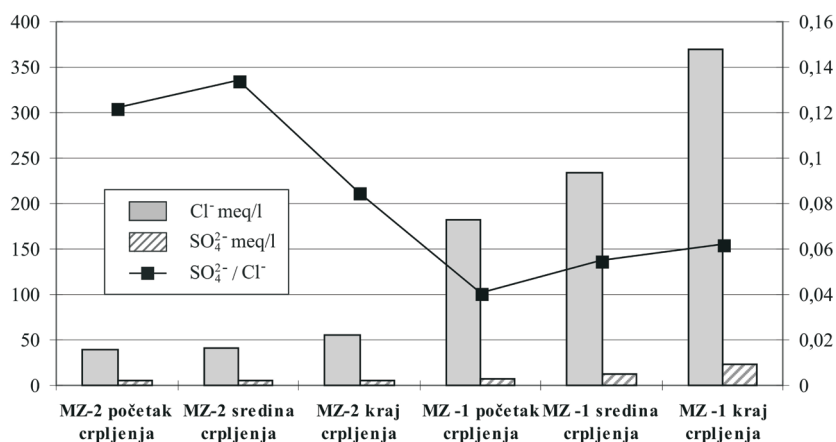
U uzorcima vode uzetim iz zdenaca MZ-1 i MZ-2 uz koncentracije klorida i sulfata određene su koncentracije nitrata, fosfata i amonijaka. Ove hranjive soli određene su iz razloga što je zdenac MZ-2 smješten u obradivom polju (dominiraju vinogradi). Nastojalo se uočiti postoji li uz morski utjecaj na kvalitetu podzemne vode i antropogeni utjecaj. Iz Tablice 3 vidljivo je da su u vodama iz zdenaca

MZ-1 i MZ-2 izmjerene koncentracije nitrata ispod MDK vrijednosti (maksimalno dopuštena koncentracija). No, uočeno je da vode iz zdenca MZ-1 imaju puno niže koncentracije nitrata nego vode uzete iz zdenca MZ-2. Izmjerene vrijednosti nitrata u MZ-1 su tipične koncentracije nitrata za krške podzemne vode, a iznose manje od 4,4 mg/l. Koncentracije nitrata u vodama iz zdenca MZ-2 ukazuju na utjecaj poljodjelstva na kvalitetu vode u tom zdencu, odnosno vodonosnom horizontu. Također izmjerene koncentracije fosfata ukazuju na antropogeni utjecaj na zdenac MZ-2. Uzorkovane vode iz zdenaca MZ-1 i MZ-2 ne sadrže amonijak.

Tablica 3. Rezultati mjerenja fizikalnih, fizikalno-kemijskih i kemijskih pokazatelja u uzorkovanim vodama

Table 3 Results of physical, physical-chemical and chemical measurements in sampled waters

Zdenac	TDS (mg/l)	pH	T (oC)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)
MZ 1 (početak crpljenja)	10965	6,86	16,5	192	320	3240	118	209	360	6480	1,76	< 0,01	0,06
MZ 1 (sredina crpljenja)	14188	6,61	17,3	190	350	4355	124	204	620	8300	2,20	< 0,01	0,03
MZ 1 (kraj crpljenja)	20189	6,61	17,2	180	380	6458	152	187	1100	11800	2,64	< 0,01	< 0,01
MZ 2 (početak crpljenja)	2980	7,76	16,9	147	88	740	82	300	230	1390	14,96	< 0,01	0,05
MZ 2 (sredina crpljenja)	3295	7,26	16,8	154	94	838	90	300	270	1480	13,64	< 0,01	0,13
MZ 2 (kraj crpljenja)	3880	7,53	16,6	152	97	982	98	269	230	1990	14,52	< 0,01	0,11
MDK (NN 182/04)									250	250	50	0,5	0,3



Slika 8. Usporedba koncentracija sulfata i klorida (izraženih u meq/l) i njihova omjera u uzorkovanim vodama

Figure 8 Comparison of sulphate and chloride concentrations (expressed in meq/l) and their ratios in sampled waters

ZAKLJUČAK

Unutar vodonosnog prostora zapadnog dijela Prgovog polja postoji stratificirani vodonosnik s dva međusobno slabo povezana vodonosna horizonta, s praktično dva odijeljena hidraulička sustava. Na takav zaključak upućuju različite dubina iz kojih se zdenci napajaju vodom, različite statičke RPV motrenih zdenaca, te različite fizikalne i kemijske odlike crpljene vode iz zdenaca na udaljenosti od svega dvjestotinjak metara u polju litološki predstavljenim kvartarnim pjeskovitim naslagama istaloženim unutar vodopropusne karbonatne depresije. Vodonosni horizonti nisu fizički odijeljeni, između njih sasvim sigurno postoji dinamička ravnoteža i miješanje voda, prijelaz iz jednog u drugi je postupan, ali je način napajanja gornjeg i donjeg dijela naslaga koje se nalaze u polju različit.

Plići vodonosni horizont slatkim vodom se napaja u rubnom dijelu Prgovog polja iz vapnenačkih naslaga koje se nalaze izvan polja i iz klastičnih naslaga polja. Njegovo obilježje je da ima dovoljan dotok slatke vode pa može održavati prividnu dinamičku ravnotežu sa slanom vodom u podlozi pri crpljenju 6 l/s, a da mu se pri tom ne naruše fizikalno kemijske značajke. Dublji vodonosni horizont, nabušen u vapnenačkoj kaverni ispod eolskih pješćanih naslaga polja je izuzetno dobro napajan vodom (probnim crpljenjem dokazano preko 15 l/s), ali je pod direktnim utjecajem mora koji je s kontinuiranim crpljenjem sve izraženiji iako je crpljena mala količina vode.

Statička RPV zdenca MZ-1 nalazi se na 1.0 m n.m., a statička RPV zdenca MZ-2 na 1.85 m n.m., pri udaljenosti zdenaca od dvjestotinjak metara, što upućuje na zaključak kako su hidrauličke veze između vodonosnih horizonata slabe. Zapažen antropogen utjecaj s površine na vode u podzemlju (nitrati i fosfati koji se koriste u poljodjelstvu) je 3-6 puta veći u vodi iz gornjeg vodonosnog horizonta, što ukazuje kako se on u dobroj mjeri napaja vodom i iz kvartarnih eolskih pijesaka Prgovog polja.

Crpljenjem je uočeno kako je izdašnost oba zdenca postojana i znatno iznad crpljenih količina. Problem sa zdencem MZ-1 je u kakvoći vode, visokoj koncentraciji klorida, koju danas nije ekonomski opravdano desalinizirati do razine vode za piće. Problem sa zdencem MZ-2 je u njegovoj konstrukciji. Zbog malog promjera iz njega se ne može pridobiti više od 6,5 l/s vode. Na temelju motrenih parametara (Q/s dijagram) može se konstatirati kako je taj zdenac moguće kontinuirano crpiti sa 6,0 l/s vode bez posljedica za vodonosnik Prgovog polja. Jalovu vodu je nakon desalinizacije neophodno potrebno odvoditi kroz za to izgrađeni cjevovod izvan vodonosnika Prgovog polja i ispuštati u more.

Kao racionalno rješenje crpljenja vode iz Prgovog polja nameće se ideja o izvedbi barem još dva nova zdenca locirana na sličan način kao MZ-2, uz rub polja s tim da nabuše vodopropusne karbonatne naslage u zoni gornjeg vodonosnog horizonta. Na taj način, dobrim rasporedom brojnijih crpnih objekata smanjila bi se opasnost od upropaštavanja zdenca MZ-2 precrpljivanjem. Dobrim upravljanjem s mrežom zdenaca osigurala bi se trajna i kvalitetna vodoopskrba otoka.

Received: 15.07.2006.

Accepted: 30.10.2006.

LITERATURA

- DRISCOLL, F. G. (1995): Groundwater and Wells. ISBN 0-961645-0-1, Published by Johnson screens, St. Paul, Minnesota 55112. 1089 pg.
- JACOB, C. E. (1946): Drawdown test to determine effective radius of artesian well. Transactions, American Society of Civil Engineers. Vol. 112, pp. 1047-1070.
- KOROLIJA, B. & BOROVIĆ, I. (1977): Osnovna geološka karta, List Lastovo, Korčula i pripadajući Tumač osnovne geološke karte za listove Lastovo, Korčula, Palagruža. M 1: 100 000, Institut za geološka istr., Zagreb.
- LAND M, REICHARD EG, CRAWFORD SM, EVERETT RR, NEWHOUSE MW & WILLIAMS, CF (2004) Groundwater quality of coastal aquifer systems in the West Coast Basin, Los Angeles County, California, 1999-2002, U.S.G.S. and U.S. Dep. of the Interior, Sci. Report 2004-5067.
- LEBOEUF PP, BOSCH PA, CALVACHE ML, VALLEJOS A & ANDREU JM (2003) Strontium, SO₄²⁻/Cl⁻ and Mg²⁺/Ca²⁺ ratios as tracers for the evolution of seawater into coastal aquifers: the example of Castell de Ferro aquifer (SE Spain), C.R. Geoscience, 335, 1039-1048.
- MILKOVIĆ, J. (1998): Oborine na otocima i obali. Okrugli stol-Voda na hrvatskim otocima, zbornik radova, 83-98, Hvar.
- NARODNE NOVINE br.182/04 Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće.
- PENZER, I., PANDŽIĆ, K. & PENZER, B. (1995): Odnos oborinske i isparne vode. 1. Hrvatska konferencija o vodama, održivi razvoj i upravljanje vodama. Zbornik radova, knjiga 1., 529-534, Dubrovnik.
- POLLAK, Z. (1995): Hidrogeologija za građevinare. Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- SEKULIĆ, B. (1998): Potreba za vodom otoka Hrvatske. Okrugli stol-Voda na hrvatskim otocima, zbornik radova, 45-62, Hvar.
- SEKULIĆ, B. & VERTAČNIK, A. (1996): Balance of average annual fresh water inflow into the Adriatic Sea. Water Resources Development, Vol 12, No. 12.
- ŠEGOTA, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem Würmu. Geografski glasnik, 30, 15-39, Zagreb.

AQUFER OF THE WESTERN PART OF THE PRGOVO POLJE ON THE ISLAND OF LASTOVO

Lastovo is the island in the South Dalmatian archipelago extending over the area of 47km² (roughly 10 x 4,5 km), 90 km far from the Croatian coast and 125 from the Italian coast by the ferry (Figure 1). The biggest communal problem of the island is supplying enough quantity of the potable water during the summer months. Based on positive results of the hydrogeological research works in the Prgovo Polje (Zelenika, 2001), which included boring of two wells with brackish water (Foretić, 2001), the simultaneous pumping during fifteen days was performed to obtain new information about their yield and the quality of the pumped water in hydrologically dry period. Particular attention was paid to electrolytic conductivity (CND-conductivity) and concentration of chlorides in the pumped water with purpose to economically "refine" it in desalinator up to the level of being suitable for drinking. (under 250 mg of Cl per l of water).

This paper presents results of fifteen days of pumping of the newly bored wells MZ-1 and MZ-2 in the western part of Prgovo Polje. Based on monitoring of the dynamic levels of water and its physical-chemical characteristics, sampling of the pumped water and its hydrogeochemical analyses it was determined that within the single Prgovo polje aquifer there existed two poorly connected water horizons which. That enabled description of the proposed regime of the tested water objects.

Lastovo is built of carbonate rocks of predominantly Jurassic age being in tectonic contact with the Cretaceous carbonate rocks along the northern coast of the island (Korolija and Borović, 1977). More stringently, it represents a monoclinical structure with layers dipping towards east and northeast at the angle of 12-250, sporadically deviating from the general direction due to tectonic destruction. Western part of the island is built predominantly of dolomite, in contrast to the east portions consisting of limestone with dolomite layers. Major karst poljes, including the Prgovo Polje, are built of sandy Quaternary sediments of Aeolian origin, deposited by the wind. Their thickness in Prgovo Polje amounts to over 55m (Foretić, 2001). The substrate of the Quaternary sands and the lateral sediments outside of the Prgovo Polje is represented by the strongly karstified, mostly limestone, rocks of the Malmian age. The depth of karstification is considerably under the sea level. During the Würm glacial period (approximately 25,000 years ago) the sea level was 100 m lower than today (Šegota, 1968). Such circumstances favored the erosive and corrosive processes to "penetrate" considerably into the carbonate rocks. The karstified and fractured collector area, together with sandy sediments of Prgovo Polje, represents an aquifer with the lens of sweet water being in dynamic equilibrium with the salty water below. The most part of precipitated

water is rapidly infiltrated and runs its underground flows generally from west to east (owing to the monoclinical structure and more poorly permeable dolomite rocks on the western side of the island). This water is important for regular supply and unvarying capacity of wells drilled in the carbonate rocks in the east portion of island.

Area of Prgovo Polje (Figure 2) is judged perspective for water tap from the underground due to tectonic fracturing of the carbonate rocks in its peripheral parts, considerable thickness of sandy sediments, easternmost location on island but, nevertheless, away from the coast making the execution of research geotechnical works closer to the surface and not expensive. It contains existent infrastructural objects (conduits, desalinator, pumping station) of the Lastovo water-supply. Save for the aforementioned, it is far enough from the settlement of Lastovo (cca 3.5 km) unsupplied with sewage system causing the faecal waters from the black holes to infiltrate underground and threaten the water quality in poljes closer to the settlement.

Locations of the two new wells are determined on the basis of accomplished hydrogeological investigations (Zelenika, 2001), earlier geophysical research works by the methods of geoelectrical sounding and profiling (Kovačević, 1964), drilling of research-exploitation wells (Franić et al., 1968), and using the recently completed geophysical research through the methods of 2D-electric tomography, seismic refraction and reflexion (Šumanovac, 2007).

The pumping undertaken at the recently drilled wells MZ1 and MZ-2 in the Prgovo Polje, continual and simultaneous during 15 days (Buljan & Marković, 2003) was aimed at delineation of bordering quantitative and qualitative parameters as the basis of project for their optimal exploitation, desalination and inclusion of pumped water into a water-supply system on the island of Lastovo.

Pumping of the wells of 15 days duration started on October 21st 2003. It is accomplished at the end of hydrogeologically extremely dry period characterized by the lack of rainfall since April. In the beginning of the period the well MZ-1 is pumped with the yield of 4l/s which was decreased after 30 hours of continuous pumping at 2l/s due to drastically intensified heightened electrolytic conductivity (Figure 4). On the contrary, the well MZ-2 is pumped incipiently with the yield of 4l/s which was increased after 145 hours and 40 minutes of continuous pumping to 5l/s and finally, after 240 hours and 25 minutes, it was increased to maximum 6.5 l/s owing to the well construction (Ø 125mm) (Figure 5).

During the experimental pumping of the MZ-1 and MZ-2 wells electrolytic conductivity, pH and temperature are measured "in situ". From both wells 30 samples of 200

ml of water each were collected in order to measure the concentration of chlorides. Also in the beginning, middle and in the end of the pumping experiment samples of water of 1000 ml each were collected in order to measure the basic chemical indices.

Data obtained by the pumping experiment of the MZ-2 well required for calculation of its hydraulic and hydrogeological parameters are displayed in Table 1, and graphically in Figure 6. According to graphical solution from Q/s diagram (Figure 7) but also scanning the electrolytic conductivity (CND) its optimal exploitation capacity is determined at maximal 6.0 l/s of water.

Based on the results of research works it can be said that a stratified aquifer exists within the aqueous area of the western part of Prgovo Polje which is characterized with two poorly connected water horizons, practically two separated hydraulic systems. This conclusion can be drawn from the various depths from which the wells are supplied with water as well as from various static RPV of the monitored wells and various physical and chemical characteristics of the water pumped from the wells only about 200 meters away in the polje represented lithologically by the Quaternary sands deposited within the permeable carbonate depression. The water horizons are not physically separated. They are surely characterized by dynamic equilibrium and mixing of waters. Transition between them is gradual but the mode of supplying the upper and lower part of sediments in the polje is different.

The shallower water horizon is supplied by fresh water in the peripheral parts of the Prgovo Polje from the limestone rocks outside the polje but also from the clastic rocks infilling the polje itself. It is characterized by ample inflow of fresh water and thus it can maintain the seeming dynamic equilibrium with saline water from below at 6 l/s of pumping water not allowing the deterioration of its physical-chemical characteristics. The deeper water

horizon, drilled in limestone cavern under the aeolian sandy sediments covering the polje, is extraordinarily well supplied by water (experimental pumping proved quantity of over 15 l/s) but it is subject to direct sea influence which increases with persistent pumping in spite of the low quantity of water.

Static RPV of the MZ-1 well does not exceed 1.0 above the sea level, while the static RPV of the MZ-2 well is at 1.85 m indicating the poor links between the water horizons. Observed anthropogenic influence from the surface on the underground waters (nitrates and phosphates used in agriculture) is 3-6 times higher than in water from the upper aquifer indicating predominant water supply from the Quaternary aeolian sands of the Prgovo Polje.

The pumping showed that the yield of both wells is stable and considerably above the pumped quantities. The problem with the MZ-1 well is reflected in the water quality, high concentration of chlorides, which is currently not practical for desalination and final use as the drinking water. The problem with the MZ-2 well is its construction. Due to its small diameter, quantities greater than 6.5 l/s of water are not available. Based on the observed parameters (Q/s) diagram) it can be said that constant pumping of 6.0 l/s of water is possible without consequences for aquifer of the western part of Prgovo Polje.

There is a compelling idea of construction of at least two new wells located comparably to MZ-2 on the polje's periphery taking into account these should reach the permeable carbonate sedimentary rocks in the zone of upper aquifer. That would be the rational solution for the exploitation of water from the Prgovo Polje. In this way, using favorable arrangement of a greater number of pumping stations, one could reduce the danger of damaging the MZ-2 well due to overpumping. Good water management using a network of wells would guarantee stable and high-quality water supply of the island.