

UDK 551.462:556.36:628.1.033:519.2  
Pregledni znanstveni članak

# Predikcija lokacije podmorskih izvora opskrbe pitkom vodom

Siniša MASTELIĆ IVIĆ, Hrvoje TOMIĆ, Boško PRIBIČEVIĆ,  
Damir MEDAK – Zagreb<sup>1</sup>

*SAŽETAK.* Nedostatak pitke vode veliki je globalni problem s kojim se već danas suočava petina Europe. Osiguranje pitke vode jedan je od milenijskih razvojnih ciljeva Ujedinjenih naroda. Dobivanje vode desalinizacijom skup je postupak za koji je potrebna velika količina energije. S druge strane, ispod oceanskog dna nalaze se velike rezerve pitke vode za eksploataciju koje se već izrađuju planovi. U ovom se članku daje pregled znanstvenih istraživanja vezanih uz nastanak i lociranje podmorskih izvora pitke vode, s posebnim naglaskom na predikciju lokacija s pomoću modernih matematičko-statističkih metoda. Ta su istraživanja interdisciplinarnoga karaktera te povezuju geologiju, oceanografiju, hidrografiju, daljinska istraživanja i geostatistiku u omogućavanju održivog razvoja Zemlje.

*Cljučne riječi:* podmorski izvori pitke vode, milenijski ciljevi, hidrografija.

## 1. Uvod

Oko 71% površine planeta prekriveno je vodom, što uvjetuje poseban položaj Zemlje u planetarnom sustavu. Udaljenost od Sunca omogućava temperaturni spektar u kojem se voda pojavljuje u sva tri agregatna stanja. Proučavanje cirkulacije vode javlja se već u antici, kako bi tadašnja koncentracija stanovništva u urbanim sredinama mogla zadovoljiti potrebu za vodom. Procjenjuje se da je ukupna količina vode na Zemlji do 1,4 milijarde km<sup>3</sup> (Marcinek i Rosenkranz 1996), a od toga je 96,5% slana voda u oceanima i morima. Samo 3,5% od ukupne količine vode je pitka voda, a od te količine više od pola otpada na polarni led, glečere i led u morima. Količina površinske stajaće slatke vode je 0,013% od ukupne, a tek 0,0002% je površinska tekuća voda (Gleick 1996).

<sup>1</sup> Prof. dr. sc. Siniša Mastelić Ivić, Hrvoje Tomić, prof. dr. sc. Boško Pribičević, prof. dr. sc. Damir Medak, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: ivic@geof.hr, htomic@geof.hr, bpribic@geof.hr, damir.medak@geof.hr.

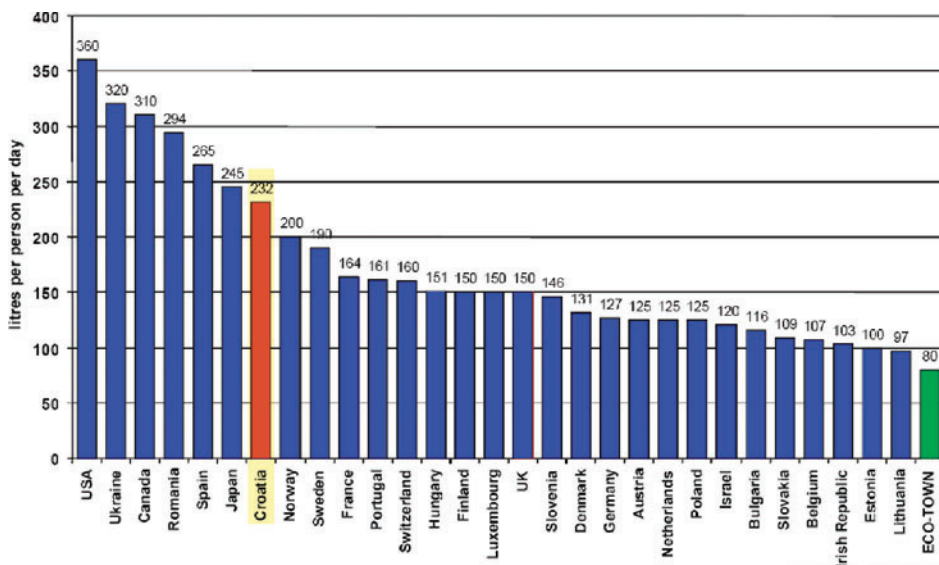
Više od milijardu ljudi ima ograničen pristup pitkoj vodi (UNESCO 2006). Najmanje 6000 ljudi, većinom manje djece, umire dnevno zbog nedostatka ili zagađene pitke vode. Prema Andersu Berntellu, ravnatelju Stockholmskoga međunarodnog instituta za vodu, to je najveći politički i moralni skandal današnjice (URL 1). U 21. stoljeću kao glavno ekološko, sigurnosno i gospodarsko pitanje bit će upravo smanjenje zaliha raspoložive pitke vode (Gereš 2004).

## 2. Postojeće stanje

Nedostatak pitke vode nije samo problem budućnosti i dalekih zemalja, taj je problem već danas prisutan u nekim dijelovima Europe. Više od petine Europe trpi nestašicu vode, i to ne samo zbog klimatskih promjena nego i zbog sve intenzivnije poljoprivredne proizvodnje i rasta stanovništva (URL 2).

Nedostatak ili zagađenost pitke vode i/ili sanitarnih sustava uzrokuje godišnje do 15 milijuna mrtvih (Sachs i Santarius 2007). Trenutačno oko 2,6 milijardi ljudi, što čini 40% svjetskog stanovništva, nema temeljnu sanitarnu opremu (UNESCO 2006). Time se ne misli na funkcionalni kanalizacijski sustav kakav je uobičajen kod razvijenih zemalja na zapadu. Neke prognoze (WGBU 1999, UNEP 1999) najavljuju kako će čak dvije trećine ljudi biti pogođeno nedostatkom adekvatne pitke vode do 2025.

Smanjenje potrošnje pitke vode samo je jedan od liste prioriteta vodnog menadžmenta UN-ova "Milenijskog razvojnog cilja", kojim se pokušavaju ublažiti posljedice rasta čovječanstva i urbanizacije (UN 2005). Prosječna potrošnja vode po stanovniku (zelenom je bojom prikazana ciljana potrošnja ekološki održivoga grada) prikazuje Slika 1.



Slika 1. Potrošnja vode po stanovniku (Butler 2008).

## 2.1 Dobivanje pitke vode procesom desalinizacije

Područja bez oborina i prirodnih vodotoka ne omogućavaju prikupljanje pitke vode, što povećava potrebu za desalinizacijom mora i slanih voda. Prosječna je koncentracija soli u moru 3,5%, od čega je 2,7% natrijeva klorida. Tek kada taj sastojak padne ispod 0,1% dobivamo pitku vodu.

Desalinizacija je energetski vrlo skup postupak i ekološki štetan. Sva postrojenja mogu se podijeliti na dvije skupine (Van der Bruggen i Vandecasteele 2002):

- odstranjivanje soli i čvrstih nečistoća kroz gusta cjedila, filtre i membrane,
- kondenzacija pare iz zagrijane slane vode.

U oba se slučaja ulažu goleme količine energije, što osim velikih financijskih troškova uzrokuje i znatno zagađenje okoline izgradnjom površinski velikih postrojenja i smještanjem preostalog otpadnog materijala. Zbog toga te metode nisu dugoročno rješenje, posebno u siromašnijim zemljama.

Tu tehnologiju, postrojenja za isparavanje mora, prvi su primijenili Britanci 1869. u zaljevu Aden na Crvenome moru za opskrbu svoje kolonijalne flote. Danas je već izgrađeno više od 10 000 postrojenja za desalinizaciju (~55 mil. m<sup>3</sup> na dan), koja omogućavaju podizanje standarda života na područjima s nedostatkom prirodne pitke vode (Wangnick i GWI 2005).

Otočna monarhija Bahrein u Perzijskom zaljevu, bogata naftnim resursom, gotovo je u potpunosti oslonjena na pitku vodu dobivenu desalinizacijom mora. Saudijska Arabija s četiri milijuna kubičnih metara dnevno desalinizirane vode slovi za najvećeg proizvođača pitke vode iz mora na Zemlji. Njihova je proizvodnja veća od potreba, što omogućuje punjenje kroz bušotine starih naslaga podzemne vode, koje su iscrpljene kroz aktivnu poljoprivrednu proizvodnju.

Barcelona se već duže bori s nedovoljnim količinama vode, a izgradnja desalinizatora bit će završena tek iduće godine, pa se trenutačni problemi rješavaju prebacivanjem vode brodovima s juga Španjolske, gdje je u funkciji najveći europski desalinizator. Pored desalinizacije, raspravlja se i o novoj mogućnosti dobivanja pitke vode iz izvora na dnu mora.

## 2.2 Ekonomski/ekološki održivo?

Oko 70% korištene pitke vode primjenjuje se u sve intenzivnijoj poljoprivrednoj proizvodnji. Oko 40% živežnih namirnica raste na područjima umjetno navodnjavanjem uz visoke državne subvencije (UNEP 1999). Takvim intenzivnim zadiranjem u prirodnu cirkulaciju vode sve se više očituje nepopravljivo devastiranje toga prirodnog resursa na čitavim regijama.

Drastičan je primjer Aralsko jezero u Kazahstanu i Uzbekistanu, koje je bilo četvrto po veličini na Zemlji (428 km dugo i 235 široko), veće od Hrvatske i BiH zajedno. Ribarska mjesta na njegovim obalama godišnje su lovila oko 40 000 tona ribe, a danas se nalaze usred novonastale pješčane pustinje, dok mali ostatak jezera sve više odumire. Jezero se smanjilo za više od 68 000 km<sup>2</sup> zbog političke odluke Staljina o podizanju standarda lokalnog stanovništva kroz projekt izrade velikih polja pamuka, pa su se oba velika pritoka jezera morala preusmjeriti prema

sustavu navodnjavanja novog polja. Navedena ekološka katastrofa može se usporediti s Černobilom.

Prezentirajući te ekstremne slučajeve s izostavljenim programom održivog razvoja, intenzitet tih radova vidimo i u činjenici da je do 1950-ih, na Zemlji bilo izgrađeno oko 5000 velikih brana, a danas ih je već izgrađeno više od 45 000, od kojih su neke uzrokovale plavljenje brojnih povijesnih mjesta i zemljišta posebne ekološke vrijednosti.

## 2.3 Sukobi oko vode

U povijesti civilizacije najstariji zapis o međudržavnom sukobu oko pitke vode na prostoru Mezopotamije star je 4500 godina, kada je Uurlama, kralj Lagaša, radeći mrežu kanala za poljoprivrednu proizvodnju odsjekao tokove Eufrata i Tigrisa prema susjednoj državi Umma. I iz toga najstarijeg primjera jasno je kako problem nedostatka pitke vode nije u njezinoj količini na Zemlji. Uštedom samo 0,5% potrošene vode u razvijenim državama, na područjima bogatim vodom, mogu se zadovoljiti potrebe predjela oskudnih pitkom vodom. Glavi su uzroci problema u nehomogenoj rasprostranjenosti vodnih resursa po Zemljinoj površini, koja se zbog tehničkih nemogućnosti i premalo političke volje sporo svladava. Većina država, pa čak i razvijenih, nema podataka o količinama vodnih resursa, a menadžment za racionalno upravljanje vodama ne treba ni spominjati.

Povećani sukobi oko vodnih resursa uočljivi su kod 261 svjetskoga slijevnog područja koja zahvaćaju bar dvije države, te su time orijentirane na zajednički menadžment vode. Već godinama se oko upravljanja vodom iz rijeke Nil s Egiptom spori devet država. Egipatski je predsjednik 1995. godine dao izjavu o nesudjelovanju njegove zemlje ni u jednom ratu osim oko pitke vode. Slično je na mnogo međunarodnih slijevova: između Turske, Sirije i Iraka, koji dijele slijevna područja Eufrata i Tigrisa, Izraela, Jordana i Libanona, koji dijele slijev rijeke Jordan, te u Indiji, Pakistanu i Bangladešu, oko slijeva Gangesa i Indusa.

## 3. Podmorske zalihe – blago slane vode

U mnogim obalnim regijama leži velika količina blago slane vode u morskom dnu (Kooi i Groen 2001). S pomoću postojeće tehnologije platforma za bušenje, moguće je izvlačiti tu vodu te ju cijevima transportirati na obalu, gdje se obavi konačna desalinizacija prije upotrebe. Za korištenje takvih vrsta izvora pitke vode već se izrađuju idejni planovi u Jakarti, Singapuru i Bangkoku. Pretpostavlja se da u sedimentima ispod oceana ima dva milijuna kubičnih kilometara vode, što je više od količine mora u Istočnom, Sredozemnom i Crnom moru skupa.

### 3.1 Povijesna upotreba

Postojanje pitke vode u morskom dnu bilo je poznato već u antici, što se vidi u zapisima rimskog prirodnog istraživača Straboa od prije 2000 godina o jednom podmorskom izvoru na obali Sirije, koji je udaljen od obale 4 kilometra. Sirijci su za-

hvaćali vodu s broda pomoću olovne cijevi i kožnog crijeva, a i Feničani su razvili sličan sustav (Slika 2). Prvi poznati takvi izvori nalazili su se većinom uz područje krša. Na takvim lokacijama voda ponire kroz šupljine u vapnenačkom tlu prema moru. Postoje primjeri gdje pitka voda izvire na širem području pjeskovite obale, više kilometara udaljeno od obale (Moore 1996). Temeljem analiza do sada istraženih područja pretpostavlja se 6 postotni udio tih izvora u ukupnoj količini vode koja teče prema morima.

Kada je posada Essexa 1819. godine u Pacifiku doživjela brodolom, preživjela je zahvaljujući posebnoj okolnosti: mogli su piti morsku vodu. Taj je slučaj u međuvremenu dobio i znanstvenu potvrdu: na nekim mjestima po kontinentalnom rubu izbija pitka voda iz podzemnih izvora koja do površine mora odašilje mjehure pitke vode kroz morsku slanu vodu. Iskusni pomorci su u proteklim stoljećima kartirali takve izvore i koristili ih za opskrbu broda pitkom vodom (Church 1996).

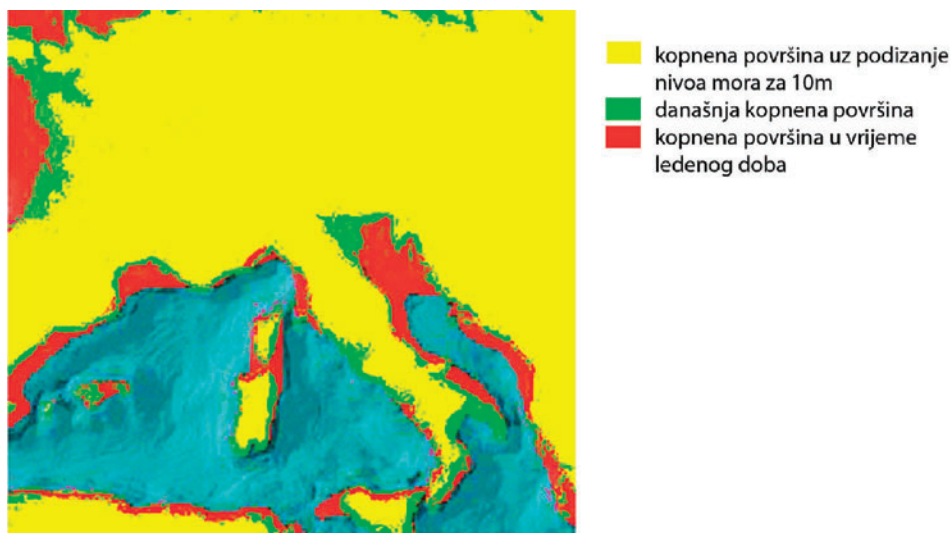
Neki tokovi podzemne vode na kontinentu nestaju na rubovima kopna i pojavljuju se na produžetku kontinenta pod morem u obliku obrnutog vodopada iz podzemlja. Kako pitka voda ima manju gustoću od slane, uvijek je njezino kretanje usmjereno prema gore. U Europi su takvi izvori poznati u Sredozemlju kraj obala Španjolske, Francuske, Sirije i Izraela (Moore 1996).



Slika 2. Iskorištavanje podmorskih izvora pitke vode u starom vijeku.

### 3.2 Paleo rezervoari na morskome dnu

Prema Rogier van Opstalu, upravitelju amsterdamske tvrtke Sea Spring Water, postoje dva tipa podmorskih rezervoara. Jedni nastaju iz atmosferskog taloga na kopnu kao podzemna voda, koja se prostire i u morsko dno. Drugi su dalje od obale, često na otvorenome moru, takozvana paleo podzemna voda. Ta voda, koja nije povezana s podzemnom vodom na kopnu, nastala je tijekom ledenog doba na morskome dnu, kada je razina mora diljem svijeta bila oko 100 m niža nego danas. Tada su današnje pličine oko kontinenata bile kopno. Tisućama se godina na tom



Slika 3. Povijesni prikaz pomicanja vodne linije mora.

području nalazila voda u tokovima, jezerima i u podzemlju, koje je more prekrilo prilikom podizanja razine (Slika 3).

Tvrtka Sea Spring Water prva koristi ta fosilna nalazišta podzemne vode u komercijalne svrhe. Na nizozemskoj je obali Henk Kooi sa Sveučilišta Freien testirao elektromagnetski postupak, kojim se može ustanoviti provodljivost morskog dna. Metoda daje pretpostavke za lociranje rezervoara. Brodom se vuče elektrozavojnica promjera 50 m. Uključivanjem i isključivanjem električne energije u zavojnici nastaje magnetsko polje, koje prodire u dno i ondje uzrokuje nastanak električne energije. Pritom nastaju elektromagnetski signali, koji se snimaju drugom zavojnicom. Tim se postupkom ne mogu dobiti jednoznačni rezultati, već se područje ispita i probnim bušenjima manjeg opsega.

Rezervoar paleo podzemne vode ograničen je i neobnovljiv, ali pretpostavljene količine mogu dostajati za dugu upotrebu, dok se tehnologija desalinizacije ne razvije u gospodarski opravdan postupak.

Tim postupcima, već danas, američka tvrtka CDM uz suradnju znanstvenika s više sveučilišta istražuje položaje rezervoara pitke vode na morskome dnu uzduž obale SAD-a, čime bi se dugoročno osiguralo snabdijevanje pitkom vodom američkih metropola u tim obalnim područjima. Osnovom dosadašnjih ispitivanja može se pretpostaviti 800-godišnja vodoopskrba osmomilijunskog New Yorka samo iz otkrivenoga podzemnog rezervoara kraj New Jerseyja. Slični su podaci i za područje uz Boston.

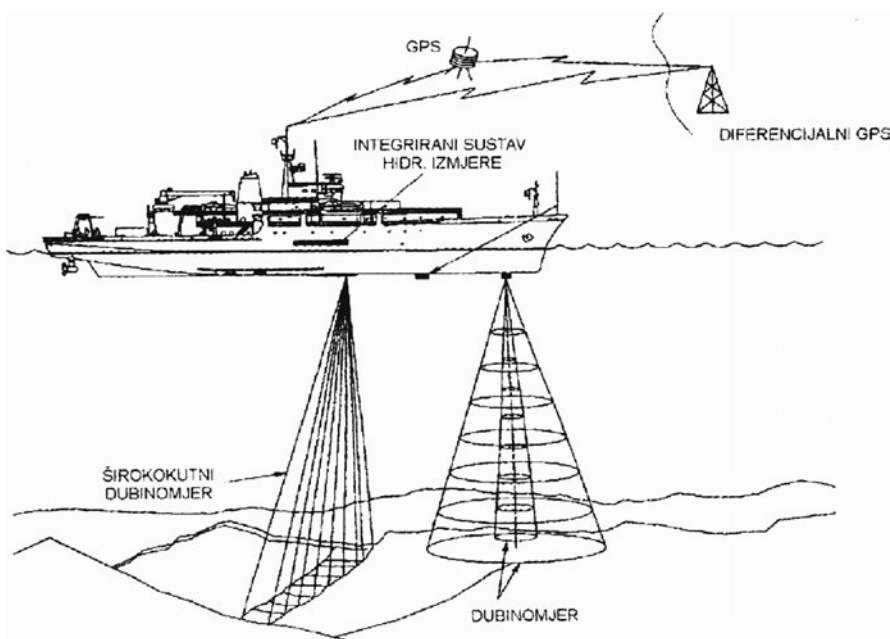
Podzemna je voda bitan dio rezervi pitke vode na Zemlji. U međunarodnoj borbi protiv globalne nestašice pitke vode, prirodni rezervoari duboko pod morem ključno su rješenje problema. To su žile pitke vode, koje ne propuštaju samo kopnena masiva, nego i gornji slojevi obalnog morskog dna, te iz ledenog doba "paleo podzemna voda", koja se nakupila iz kiša i leda u doba dok ondje nije bilo mora.

Rezervoari ponekad leže 100 km od obale i 100 do 300 m ispod dna. U Jakarti je J. Groen ubrzao prvo prikupljanje vode iz morskog izvora. To je bio skup postupak, ali bez primjene novih tehnologija; korišteni su pogoni za bušenje i transport krevci se koriste i u prihvaćanju podmorske nafte. Dobivena voda imala je samo malu koncentraciju soli pa se morala desalinizirati, ali je postupak u svemu bio oko 30% jeftiniji od standardne desalinizacije mora.

### 3.3 Lociranje paleo rezervoara

Opseg geodetskih poslova na lociranju paleo rezervoara obuhvaća izradu podloge za područje istražnih radova, detaljniju snimku užeg odabranog područja, precizno određivanje pozicije pri ispitivanjima lokacije elektromagnetskom zavojnicom i probnim sondiranjima. Ovisno o zahtijevanoj točnosti mjerenja, odabir metode svodi se na odabir najekonomičnije i najprikladnije.

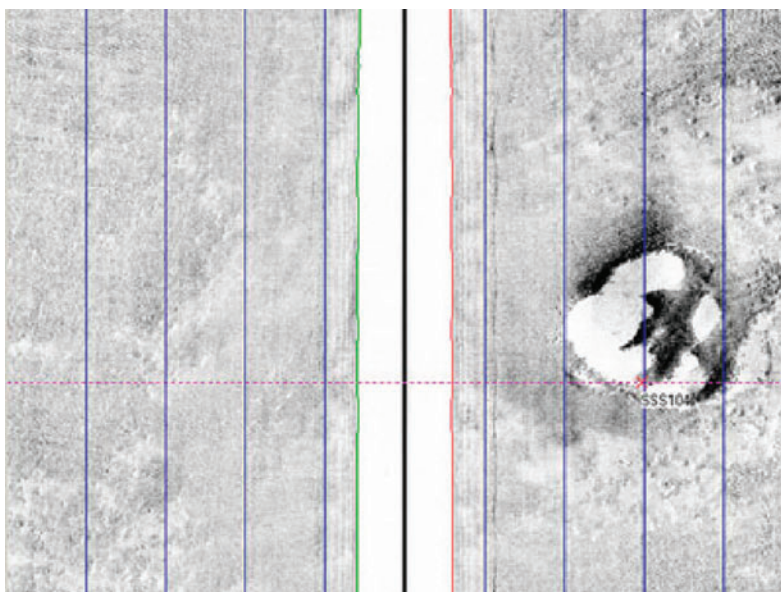
Suvremena tehnologija omogućava lociranje na moru i pod morem korištenjem kombinirane metode određivanja položaja i dubina. Tom metodom integrira se više senzora u jedinstveni mjerni sustav, što upotrebu sustava čini ekonomičnijom i pouzdanijom. Ovisno o konfiguraciji i broju potrebnih senzora, moguće je sustav koristiti za dobivanje željene informacije ili se može jednim sensorom kontrolirati drugi. Osim jednosnopnih i višesnopnih dubinomjera, specijalni brodovi za otkrivanje potencijalnih podmorskih izvora pitke vode (Slika 5) koriste i sonare s bočnim motrenjem (Slika 6), kao i posebne plutače, podvodna vozila i senzore koji se usidravaju na morskom dnu (Slika 7).



Slika 4. Primjer integriranoga mjernog sustava (Pribičević 2005).

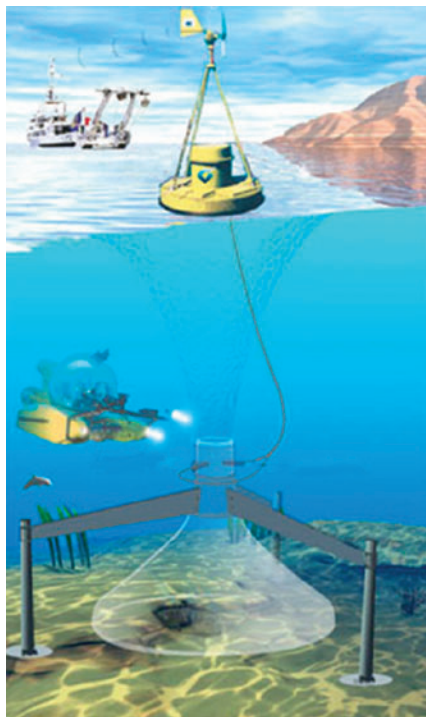


Slika 5. *Suvremeni istraživački hidrografski brod za traženje podmorskih izvora pitke vode (URL 6).*



Slika 6. *Rezultat hidrografskih mjerenja sonara s bočnim motrenjem: potencijalni podmorski izvor pitke vode (URL 6).*





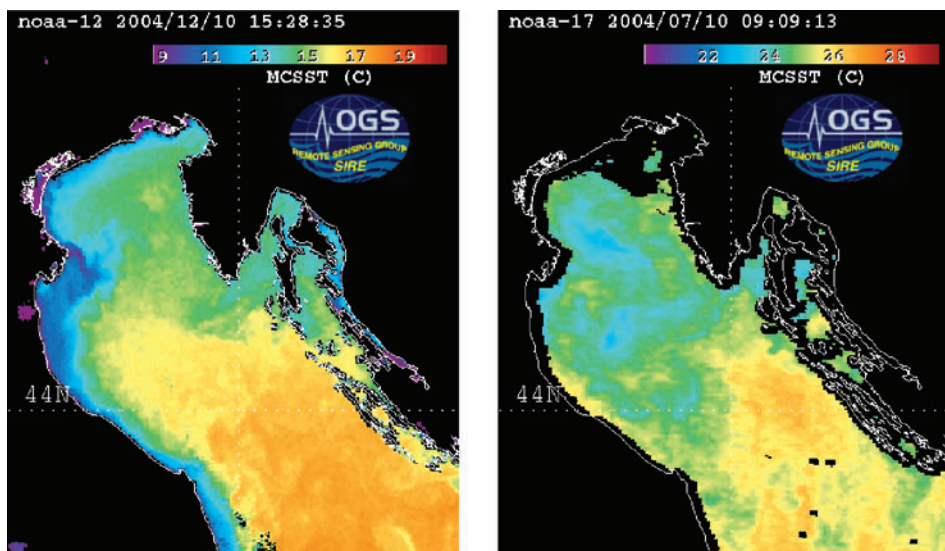
Slika 7. Specijalna oprema za podvodna opažanja podmorskih izvora pitke vode (URL 6).

Podzemna voda u pravilu ima konstantnu temperaturu. Ljeti je hladnija, a zimi toplija od mora koje prima temperaturu zraka. Time je omogućeno lociranje vode korištenjem spektralne analize zračnih snimaka. Osim korištenja senzora infra-crvenog područja, provode se i analize radioaktivnih izotopa radija 226 i radona 222, koje također upućuju na pitku vodu jer je njihova koncentracija veća u pitkoj vodi nego u moru (Peterson i dr. 2008).

### 3.3.1 Globalno praćenje vodnog ciklusa

U procesima lociranja i predikcije paleo rezervoara, velika su pomoć podaci misija za globalno praćenje vodnog ciklusa Zemlje. Danas je aktivan cijeli niz globalnih misija, a uvijek su u pripremi nove, s povećanim rezolucijama i pouzdanošću. Trenutačno raspoložive satelitske termalne snimke površine mora su rezolucije  $\sim 1$  km, dok je temperaturna rezolucija  $\sim 0,4$  °C. To se postiže posljednjom generacijom AVHRR senzora (engl. Advanced Very High Resolution Radiometer – napredni radiometar visoke rezolucije), koji bilježi Zemljinu pasivnu radijaciju.

Prikazi se mogu preuzeti s web servisa OGS-a (engl. The National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics, talijanski institut za oceanografiju i eksperimentalnu geofiziku) – URL 4. SST-prikaz sjevernog dijela Jadranskog mora (lijeva strana prikazuje zimsko razdoblje – prosinac, desna ljetno razdoblje – srpanj) nalazi se na slici 8.



Slika 8. SST-prikaz sjevernog dijela Jadranskog mora.

### 3.4 Pitka voda iz izvanobalnog nastavka slijeva

Pred obalom Monaka u pripremi je projekt iskorištavanja pitke podzemne vode s dubine od 36 metara, kapaciteta do 100 litara po sekundi u okviru projekta “Nymphaea” (URL 6).

Alpski izvor pod morem, oko 800 metara pred talijanskim obalnim mjestom Mortola, otkriven je početkom 1980-ih godina. Tek nedavno je istraživački brod “Minibex” (Slika 5) instalirao kaptažu na dnu mora. Slana i pitka voda odjeljuju se na



Slika 9. Podmorski izvor vode, uvala Vrulja, Brela.

izvoru Mortola stalno poboljšavajućom tehnikom odjeljivanja s ventilskom membranom. Kada izvor presnažno prekipi, višak pitke vode odlazi u more. Tim postupkom moguće je smanjiti udjel soli na 1 gram u litri vode, što je količina koju imaju i neke komercijalne mineralne vode. Istraživači Pierre Becker i Thierry Carlin razvili su postupak kojim se slana voda odvaja od pitke vode (Piery i dr. 2007).

Na površini mora iznad izvora smješten je plivajući bunar oslonjen na nekoliko plutuća. Uz bunar pristaje brod koji se puni pitkom vodom i transportira ju dalje. U konačnici je zamišljen transport vode cijevima od toga bunara do obale nedaleko od Monaka.

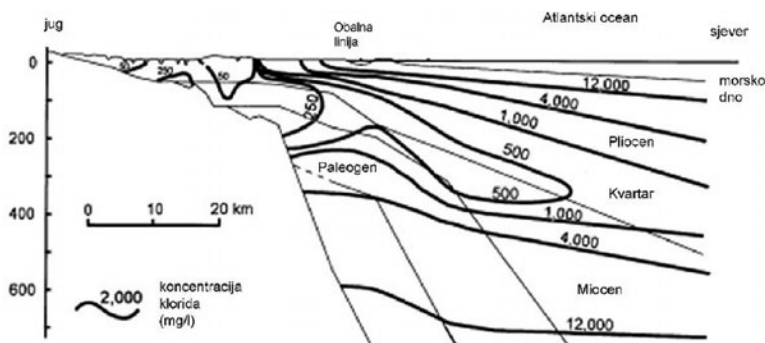
Najvažnije perspektive te nove tehnologije leže u pustinjskim državama Arabije i sjeverne Afrike. Eksperti procjenjuju postojanje vode ispod mora otprilike u količinama kojih ima i na kopnu.

### 3.5 Lociranje podmorskih izvora pitke vode

Podmorski izvori pitke vode mjesta su s velikom razlikom temperature vode u odnosu na ostatak vode. Lociranje se svodi na snimanje mogućih lokacija (dobivenih iz digitalnih modela reljefa) termalnim sensorima kako bi se otkrile što točnije lokacije. Za svaku pojedinu lokaciju predstoje svi geodetski radovi koji idu uz postupak detaljnih istražnih radova i postavljanja kaptaže.

U predikciji podmorskih izvora pitke vode od velike pomoći mogu biti matematički numerički modeli. Povijesni pregled matematičkih modela za otkrivanje prijelazne zone između kopnenih (slatkih) podzemnih voda i morske (slane) vode dan je u (Reilly i Goodman 1985). Modeli su se donedavno uvijek odnosili na problematiku prodora slane vode u kopneni podzemni sustav (Frind 1982), bilo da je riječ o procjeni kapaciteta kopnenih izvora, predikciji količine slane vode koja prodire u podzemnu vodu zbog podizanja razine mora ili ispuštanja veće količine slatke vode (Volker i Rushton 1982), (Custodio i dr. 1987), (Bear i dr. 1999).

Kooi i Groen (2001) daju složeni matematički numerički model za računanje udaljenosti do koje kopnena voda može potisnuti slatku vodu po dnu obalnoga morskog pojasa (Slika 10). Takve su pojave najčešće vezane uz krška područja i mate-



Slika 10. Prodor slatke vode u ocean na obali Surinama (Kooi i Groen 2001).

matičkom predikcijom moguće je smanjiti područje za osjetno skuplja terenska istraživanja.

Uobičajeni problem s kojim se susrećemo u praksi zaslanjivanje je kopnenih podzemnih voda (Slika 11a), dok se najjednostavniji slučaj prijelaza slatke podzemne vode u slanu (Slika 11b) može opisati sljedećom formulom:

$$x_0 = \frac{Q_{\text{coast}}}{2K} = \frac{\rho_f}{(\rho_s - \rho_f)},$$

pri čemu je:

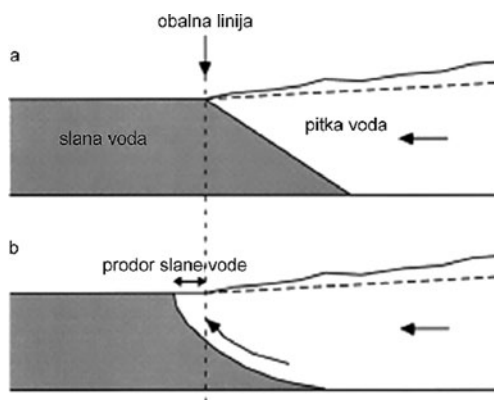
$x_0$  – udaljenost do koje dopire slatka voda u moru,

$Q_{\text{coast}}$  – volumen slatke vode po jedinici duljine obalne linije,

$K$  – hidraulička provodljivost,

$\rho_s$  – gustoća slane vode,

$\rho_f$  – gustoća slatke vode.



Slika 11. Usporedba različitih aproksimacija za miješanje slatke i slane vode u priobalnom pojasu: a – pojednostavnjeni model, b – prodiranje slatke u slanu vodu (Glover 1959).

Suvremeni matematički modeli uzimaju u obzir znatno veći broj parametara koji pripadaju istraživačkom području hidrologije, pa se detaljniji prikaz može naći u (Kooi i Groen 2001).

#### 4. Zaključak

Širenjem pustinja gubi se pitka voda. U mnogim se mjestima snižava razina podzemne vode zbog pogrešnog raspolaganja pitkom vodom. Osamdeset država već se sada susreće s problemom nedostatka pitke vode, a prema podacima Ujedinjenih naroda do 2025. godine broj zahvaćenih ljudi popet će se na dvije trećine ukupnog

stanovništva. U Ujedinjenim je narodima 2000. godine, u okviru “Milenijskih razvojnih ciljeva”, donesena odluka da se broj ljudi bez pristupa pitkoj vodi smanji za polovicu do 2015. godine. Dvije godine poslije donesen je i plan o razvoju sanitarnih postrojenja. Za provođenje toga projekta pretpostavila se potreba od 30 milijardi dolara, a za sada su razvijene industrijske zemlje stavile na raspolaganje oko 3 milijarde dolara za provođenje projekta u državama Azije i Afrike.

Kako je većina velikih gradova u zemljama u razvoju locirana uz morsku obalu, probleme opskrbe vodom teorijski je moguće riješiti desalinizacijom morske vode. Međutim, to je vrlo skup proces jer se troši mnogo energije pa se rješavanjem jednog problema neminovno stvara drugi. Zbog toga je nužno istraživanja usmjeriti otkrivanju novih rezervi pitke vode, koje se pojavljuju na dnu mora i oceana.

Brojne geodetske i hidrografske istraživačke metode daju značajan doprinos rješavanju tih zadataka: od daljinskih istraživanja, jednosnopnih i višesnopnih dubinomjera, sonara s bočnim motrenjem do upravljanih podvodnih vozila koja prikupljaju podatke s morskog dna. Matematički modeli omogućavaju procjenu dubine prodora slatke vode u more i na taj način skraćuju i pojeftinjuju terenska mjerenja.

## Literatura

- Bear, J., Cheng, A. H.-D., Sorek, S., Ouazar, D., Herrera, I. (1999): *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers – Concepts, Methods and Practices*, Kluwer Academic Publishers.
- Butler, D. (2008): *Towards the sustainable city? Principles and practice*, World Water Week, Stockholm, 17–23 August 2008.
- Church, T. M. (1996): *An underground route for the water cycle*, *Nature* 380 (1996), 579–580.
- Custodio, E., Bruggeman, G. A. (1987): *Groundwater Problems in Coastal Areas*, United Nations Educational.
- Fleury, P., Bakalowicz, M., Becker, P. (2007): *Caractérisation d’un système karstique à exutoire sous-marin: exemple de La Mortola (Italie)*, *Comptes Rendus Geosciences*, Volume 339, Issue 6, May 2007, 407–417.
- Gardiner, R. (2002): *Freshwater: A Global Crisis of Water Security and Basic Water Provision*, *Towards Earth Summit 2002.*, Environment Briefing No. 1.
- Gereš, D. (2004): *Kruženje vode u Zemljinom sustavu*, *Građevinar*, Vol. 56, broj 6 (2004), 355–365.
- Gleick, P. H. (1996): *Water resources*, *Encyclopedia of Climate and Weather*, ur. S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, Vol. 2, 817–823.
- Glover, R. E. (1959): *The pattern of fresh water flow in a coastal aquifer*. *J. Geophys. Res.*, 64, 457–469.
- Kooi, H., Groen, J. (2001): *Offshore continuation of coastal groundwater systems; predictions using sharp-interface approximations and variable-density flow modelling*, *Journal of Hydrology*, 246 (2001), 19–35.
- Marcinek, J., Rosenkranz, E. (1996): *Das Wasser der Erde: Eine geographische Meeres- und Gewässerkunde*, Klett, Frankfurt.

- Mastelić Ivić, S. (2008): Geodetski radovi u hidrotehnici, interna skripta za studente Geodetskog fakulteta, Zagreb.
- Moore, W. S. (1996): Large groundwater inputs to coastal waters revealed by 226Ra enrichments, *Nature* 380 (1996), 612–614.
- Peterson, R. N., Burnett, W. C., Taniguchi, M., Jianyao, C., Santos, I. R., Ishitobi, T. (2008): Radon and radium isotope assessment of submarine groundwater discharge in the Yellow River delta, China, *Journal of Geophysical Research*, 113, 9, C09021.1–C09021.14.
- Pribičević, B. (2005): Pomorska geodezija, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Reilly, T. E., Goodman, A. S. (1985): Quantitative analysis of salt-water-freshwater relationships in groundwater systems – a historical perspective, *Journal of Hydrology*, 80, 125–160.
- Sachs, W., Santarius, T. (2007): Fair Future – Resource Conflicts, Security & Global Justice, Zed Books, London, Engleska.
- UN Millennium Project (2005): Investing in Development: A Practical Plan to Achieve the Millennium Development Goals, New York, SAD.
- UNEP (1999): Global Environment Outlook 2000, Earthscan publications.
- UNESCO (2006): The United Nations World Water Development Report 2: Water, a shared responsibility, Berghahn Books, New York.
- Van der Bruggen, B., Vandecasteele, C. (2002): Distillation vs. membrane filtration: overview of process evolutions in seawater desalination, *Desalination*, Vol. 143, 3, 207–218.
- Volker, R. E., Rushton, K. R. (1982): An assessment of the importance of some parameters for seawater intrusion in aquifers and a comparison of dispersive and sharp-interface modelling approaches, *Journal of Hydrology*, 56, 239–250.
- Wangnick, GWI (2005): 2004 Worldwide desalting plants inventory, Global Water Intelligence, Oxford, Engleska.
- WGBU (1999): World in transition: Ways toward Sustainable Management of Freshwater Resources, German Advisory Council on Global Change, 1997 Annual Report.
- World Meteorological Organisation – WMO (1997): Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World, WMO, Geneva.

### Popis URL-a:

- URL 1: Stockholm International Water Institute,  
<http://www.siwj.org>, (10. 2008.).
- URL 2: European Commission for Environment,  
[http://ec.europa.eu/environment/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm), (10. 2008.).
- URL 3: The city state of Lagash – The Archaeology of Mesopotamia,  
<http://proteus.brown.edu/mesopotamianarchaeology/998>, (08. 2008.).
- URL 4: The National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics – OGS,  
<http://www.ogs.trieste.it>, (08. 2008.).
- URL 5: Predavanja iz geologije mora, geologije krša i geologije zaštite okoliša,  
<http://geol.pmf.hr/~mjuracic/>, (10. 2008.).
- URL 6: Exploration and production of submarine fresh water springs,  
<http://www.nympheawater.com>, (02. 2009.).

# Prediction of Location of Offshore Groundwater Sources

*ABSTRACT. Lack of potable water is a major global problem. Currently, one fifth of European continent is facing the problem. Sustainable access to safe drinking water is one of UN Millennium Development Goals. Desalinization is an expensive and energy consuming process. On the other hand, large reserves of fresh water can be found at or below the ocean bottom. The plans for exploitation of offshore springs are being prepared worldwide, especially in endangered regions. This paper gives the review of research related to the emergence and location of offshore springs. The prediction of location with the aid of modern mathematical and numerical models is analysed. The research is of interdisciplinary character connecting geology, oceanography, hydrography, remote sensing and geostatistics in enabling the sustainable development of Earth.*

*Keywords: offshore groundwater springs, millennium goals, hydrography.*

*Prihvaćeno: 2009-02-25*