

## MOGUĆNOSTI VEŠTAČKOG PRIHRANJIVANJA IZDANI FORMIRANIM U NEOGENIM BASENIMA U SRBIJI BUNARIMA DVOJNE NAMENE

Dr Dragan KALUĐEROVIĆ, dipl.ing.hidrogeologije  
Centar za primenjena naucna istrazivanja u vodosnabdevanju i remedijaciji  
www.advancegw.com

### REZIME

Od 1983. godine sistemi vodosnabdevanja u SAD se sve više oslanjaju na podzemno skladištenje vode za piće kako bi se zadovoljile rastuće raznovrsne potrebe u zavisnosti od lokacije. Skladištenje se ostvaruje preko bunara za "skladištenje podzemne vode i njeno zahvatanje - ASR" (engl. Aquifer Storage Recovery)" ili bunara dvojne namene. ASR bunari skladište vodu u odgovarajuće izdani tokom vlažnih meseci i uopšte u periodima kada je voda dostupna, i zahvataju uskladištenu vodu iz istih bunara tokom suša, vršnih potreba i uopšte kada je uskladištena voda potrebna. Preko 100 ASR bunarskih polja (oko 500 bunara) je sada u funkciji u najmanje 22 države USA. ASR se sada implementira u mnogim drugim zemljama. Glavni vodič ASR implementacije je bio ekonomski faktor s obzirom da ASR rešenja obično smanjuju troškove ulaganja u razvoj vodosistema za najmanje 50%.

**Ključne reči:** bunar dvojne namene, veštačko prihranjivanje, izdani

### UVOD

Kada se gleda dugoročno, vodosnabdevanje može da podmiri potrošnju vode ali postoje periodi kada dostupna voda nije dovoljna za vodosnabdevanje što je u našim krajevima uglavno vezano za godišnja doba. Nedostatak vode može da se desi usled sezonskih varijacija u padavinama ili potrošnji vode ili usled dužih perioda suše. Takođe postoje periodi kada vode ima više nego što je potrebno i/ili kada je potrošnja manja (zimi npr.) i ta voda može da se iskoristi za periode kada je nema dovoljno. U prošlosti rešenje za ovakve probleme su bili površinski rezervoari, ali oni imaju svoje mane - zahtevaju veliku površinu zemljišta i pogodno topografske uslove, imaju velike gubitke na isparavanje i podložni su zagađenjima. Uskladištenje vode u

podzemnim akviferima nema tih problema i voda u podzemne izdani može biti uskladištena na različite načine. Još od 1940.te godine postoji interesovanje za upotrebu bunara za direktno injektiranje vode u podzemne izdani (akvifere). Definicija bunara dvojne namene ili na engleskom Aquifer Storage and Recovery wells je data od David Pyne u njegovoj knjizi iz 1995.te godine

*"Uskladištenje vode u pogodnim akviferima kroz bunare kada je voda dostupna i crpenje vode kroz isti bunar kada je voda potrebna."*

Definicija Payn-e obuhvata tri glavne komponente: voda je uskladištena u podzemlju, injektirana je kroz bunare i crpi se kroz iste bunare.

Ono što se mora napomenuti je da voda koja se injektira mora biti dobrog kvaliteta i nije slučajno da svi operativni ASR sistemi koriste praktično pijaću vodu za injektiranje (Pyne 2005).

Pogodne izdani za ASR sisteme mogu biti izdani pod pritiskom ili izdani sa slobodnim nivoom ali većina izdani u kojoj su se koristili bunari dvojne namene su bili u izdanima pod pritiskom ili mešovitom tipu izdani (deo izdani je pod pritiskom a deo je sa slobodnim nivoom). Upotreba bunara dvojne namene u izdanima sa slobodnim nivoom je moguća ali nekoliko faktora otežava njihovu primenu:

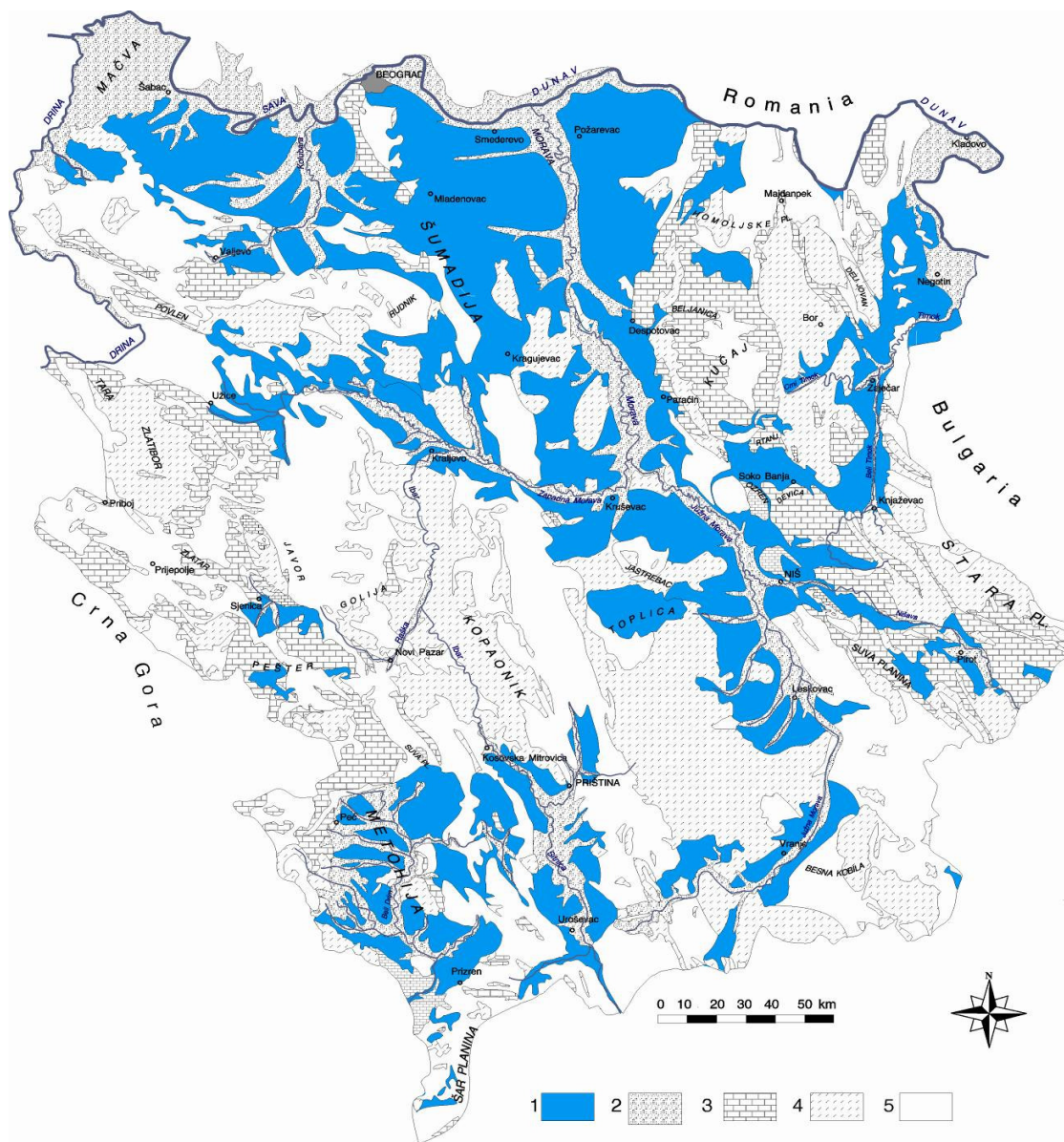
- Brzina kretanja podzemne vode je znatno veća u izdanima sa slobodnim nivoom i postoji mogućnost da ukoliko je razmak između prihranjivanja i crpenja veći dođe do oticanja injektiranje vode i nemogućnosti da se ta voda crpi
- Ukoliko je trajanje injektiranja dugotrajno može doći do većeg povišenja nivoa podzemne vode i do njegovog izbivanja na površinu terena ili presecanje nivoa sa drenažnim sistemom
- Upotreba zemljišta u blizini ASR sistema može dovesti do zagađivanja injektirane vode

Kada je nivo podzemne vode na većoj dubini od ovih problema nema.

Zapremina vode koja se uskladišti u izdani zavisi od nekoliko faktora kao što su izdašnost bunara, varijabilnost u potrebama vode, varijabilnost u snabdevanju vodom i kvalitetu vode. Tipična zapremina uskladištene vode je između 0,04 i 2 miliona m<sup>3</sup> (Pyne 2005).

## NEOGENI BASENI U SRBIJI

Neogeni baseni u Srbiji, južno od Save i Dunava "pokrivaju" preko 20000 km<sup>2</sup> ili oko trećinu ove teritorije (slika 1), (Dokmanović, Jemcov, 1999). Predstavljaju geomorfološke strukture nizinskog reljefa (kotline), formirane različitim i višefaznim geološkim procesima. To za posledicu ima složenu hidrogeološku gradju, prvenstveno heterogenost sedimentnih



Slika 1. Pregledna hidrogeološka karta Srbije južno od Save i Dunava ( Dokmanović P., Jemcov I.)  
1. neogeni hidrogeološki kompleksi, 2. aluvijalne izdani, 3. karstne izdani 4. pukotinske izdani 5. pretežno vodonepropusne stene

kompleksa u pogledu litologije i vodopropusnosti, u planu i profilu. Basenske komplekse izgrađuju pretežno klastični sedimenti: gline, peščari, peskovi, šljunkovi, laporci, konglomerati, uz ređu zastupljenost krečnjaka.

Zbog položaja u reljefu, baseni predstavljaju erozione bazise pripadajućih (delova) slivova i u njihovim sedimentnim kompleksima se akumulira deo voda koje dotiču sa hipsometrijski viših delova terena, voda koje se direktno infiltriraju od atmosferskih padavina (uglavnom u priobodnim delovima basena) i vode koje dotiču iz susednih (podinskih) geoloških formacija ili duž raseda. Dreniranje ovih hidrogeoloških kompleksa odvija se: 1) direktnim ili indirektnim (posredstvom povlatne, aluvijalne izdani) isticanjem u površinske tokove, koji preko njih protiču, 2) preko retkih izvora, skromnih izdašnosti i 3) eksploatacijom podzemnih voda bunarima.

Vodoprivredni značaj neogenih hidrogeoloških kompleksa, koji se ogleda u mogućnostima racionalnog zahvatanja podzemnih voda bunarima, uslovljena je, prvenstveno, pomenutim prisustvom slojeva krupnih klastita (šljunkova i peskova) ili krečnjaka, koji, zbog svoje efektivne poroznosti, imaju sposobnost akumulisanja i transmisije podzemnih voda. Pored toga, podzemne vode neogenih izdani odlikuju se veoma povoljnim prirodnim uslovima u pogledu "ranjivosti" (ugroženosti od zagađenja), zbog postojanja povlatnih vodonepropusnih ili slabopropusnih naslaga, koje sprečavaju ili značajno limitiraju uticaj zagađenju podložnih površinskih i voda plitkih aluvijalnih izdani. Rezultat je dobar kvalitet voda čija eksploatacija ne iziskuje (dugoročne) visoke troškove sanitarnog tretmana.

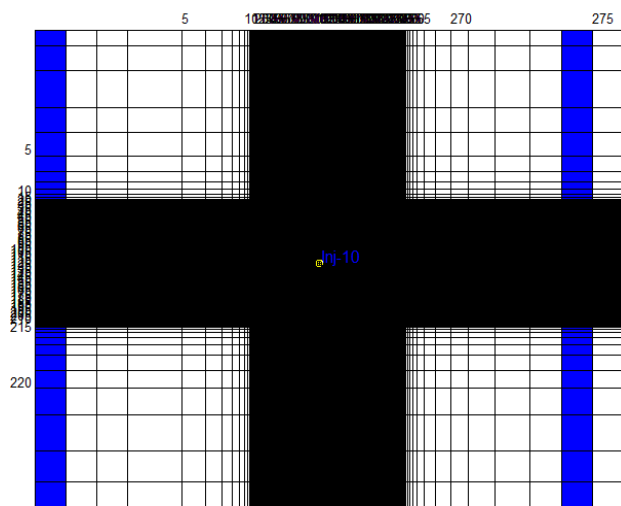
#### PRELIMINARNA ANALIZA POGODNOST IZDANI FORMIRANIH U NEOGENIM BASENIMA ZA VEŠTAČKO PRIHRANJIVANJE BUNARIMA DVOJNE NAMENE

Analizirajući svetsku literaturu iz oblasti ASR bunara, ili bunara dvojne namene, a čiji su rezultati sumirani u knjizi (*David Payn, 2005*), uočeni su neki parametri koje je neophodno da ASR sistem i izdan poseduju da bi bili pogodni za veštačko prihranjivanje. Prvi je naravno izvor vode koji se injektira u podzemlje. To može biti površinska voda ili voda iz neke druge izdani, aluvijona, npr. Sa slike 1 vidi se da je većina neogenih basena u zoni velikih površinskih tokova iz kojih se može zahvatiti voda za prihranjivanje dubokih izdani. Tretman površinske vode do nivoa koji je za piće i koji

je moguće injektirati u izdan je van obima ovog rada ali su takva rešenja moguća.

Jedan od glavnih parametara izdani je transmisibilnost i transmisibilnost koja je idealna za veštačko prihranjivanje bunarima dvojne namene je 186 m<sup>2</sup>/d do 2,323 m<sup>2</sup>/d ( $2,1e^{-3}$  m<sup>2</sup>/s do  $2,7e^{-2}$  m<sup>2</sup>/s) (*Pyne, 2005*) ali su u ASR praksi naravno, zabeležene i druge vrednosti.

U numeričkoj simulaciji ovaj autor (*Kaluđerović, 2013*) pokazuje šta se dešava kad je transmisibilnost velika i kakav uticaj to ima na injektirano telo vode. U cilju analize ovog aspekta urađena je jednostavna simulacija u programu USA firme Environmental Simulation Inc - Groundwater Vistas verzija 6. Model je dimenzija 9,5 km x 7,5 km a polja su veličine od 500 metara na obodu do 10 x 10 metara u centru modela (slika 2)



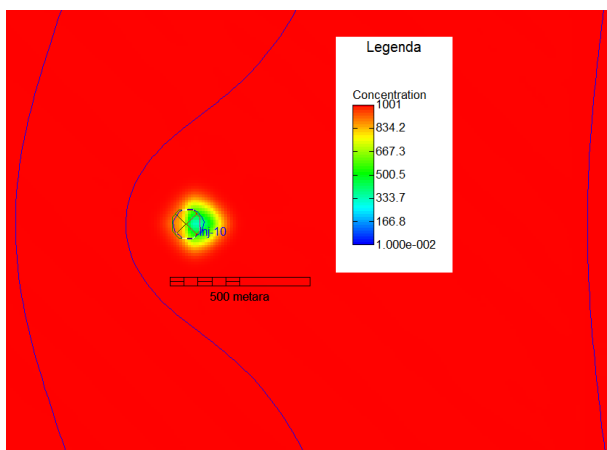
Slika 2. Prikaz modela sa diskretizacijom

Da bi se izbegle dugotrajne simulacije razmatran je 2D slučaj sa samo jednim slojem koji ima kote povlate 35 mm i kote podine na 15 mm. Izolinije nivoa podzemne vode su sa gradijentom od 0,003 u pravcu zapad istok i kreću se od 75 mm na zapadnom delu do 45mm na istočnom delu. Specifična izdašnost je  $S=1e^{-4}$ , početni koeficijent filtracije je 8,64 m/d i longitudinalna disperzivnost je 2 metara. Pored programa MODFLOW korišten je i program MT3DMS i početna koncentracija za ceo model je zadata na vrednost 1000 mg/L i time će biti označena voda iz izdani.

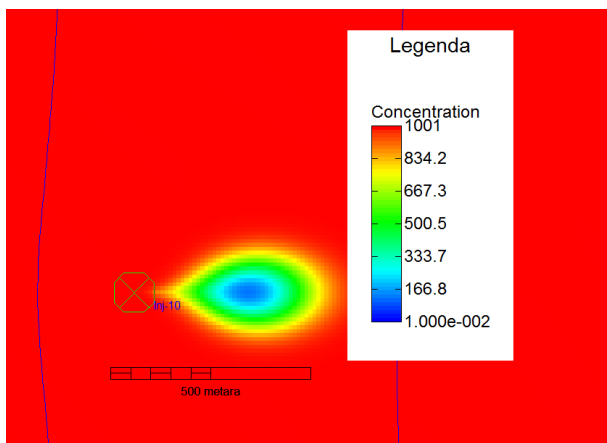
Vremenski period koji je simuliran je prvo 60 dana nikakve aktivnosti, zatim bunar koji injektira svežu

vodu koncentracije 0 mg/L 40 dana sa kapacitetom 20 L/s, zatim sledi prestanak rada bunara i uskladištenje vode 40 dana i na kraju crpenje bunara sa 20 L/s 40 dana.

Kao što se može videti sa slike 3, telo sveže vode, koncentracije manje od 500 mg/L nije "pobeglo" od bunara i sva voda koja se injektirala mogla je da se ponovo iscrpi. Na taj način je izvršena uloga ASR bunara.



Slika 3. Telo sveže vode nakon 180 dana simulacije sa koeficijentom filtracije 8,64 m/d



Slika 4. Telo sveže vode nakon 180 dana simulacije sa koeficijentom filtracije 86,4 m/d

Kada je došlo do promene koeficijenta filtracije na 86,4 m/d u rezultatima simulacije (Slika 4) se vidi da se telo sveže vode pomerilo od bunara i da bunar nije mogao da zahvati vodu koja je uskladištena. Ovim se pokazuje da

izdani sa velikim koeficijentom filtracije nisu pogodni za ASR bunare jer usled velikih brzina dolazi do brzog kretanja injektirane sveže vode van domašaja crpenja bunara

Kada su u pitanju vrednosti transmisibilnosti u izdanima formiranim u neogenim basenima, u autoru dostupnoj literaturi (Grupa autora 1993. i Dokmanović 1999) nije bilo mnogo podataka. Ono što je u većini slučajeva bilo dostupno su vrednosti specifičnog kapaciteta (Q/s) bunara ali poznato je da su procene vrednosti T (transmisibilnost) veoma neprecizne na osnovu vrednosti specifičnog kapaciteta. Izuzetak iz ove konstatacije je poglavlje od rupe autora (1993) o izdanima formiranim u neogenim basenima u srpsko-makedonskom kristalastom jezgru gde postoje podaci o vrednostima T. Pliocenske vodonosne sredine zahvaćene za potrebe Smederevske Palanke su debljine oko 15 metara (na dubinu oko 65 metara) i transmisibilnost varira od  $1 \times 10^{-4}$  do  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  što ih čini dobrim kandidatima za bunare dvojne namene. U području Rače Kragujevačke sloj je na dubini od 113,5-134,5, a iz obližnjih bušotina dobijena vrednost koeficijenta filtracije je  $7,24 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  što daje vrednost T od  $1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  što je i dalje prihvatljiva vrednost za preliminarnu analizu. U Jagodinskom-paraćinskom basenu, južno od Bagdranskog tesnaca T se kreće od  $4 \times 10^{-3}$  do  $4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  što su odlične vrednosti. U Čupriji vrednost T je na donjoj granici preporuke za ovaj parametar. U slivu Južne Morave izdvajaju se sledeći neogeni baseni: Aleksinački, Niški, Toplički, Leskovački i Vranjski. Vrednosti T su poznati za Leskovački basen i idu preko  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

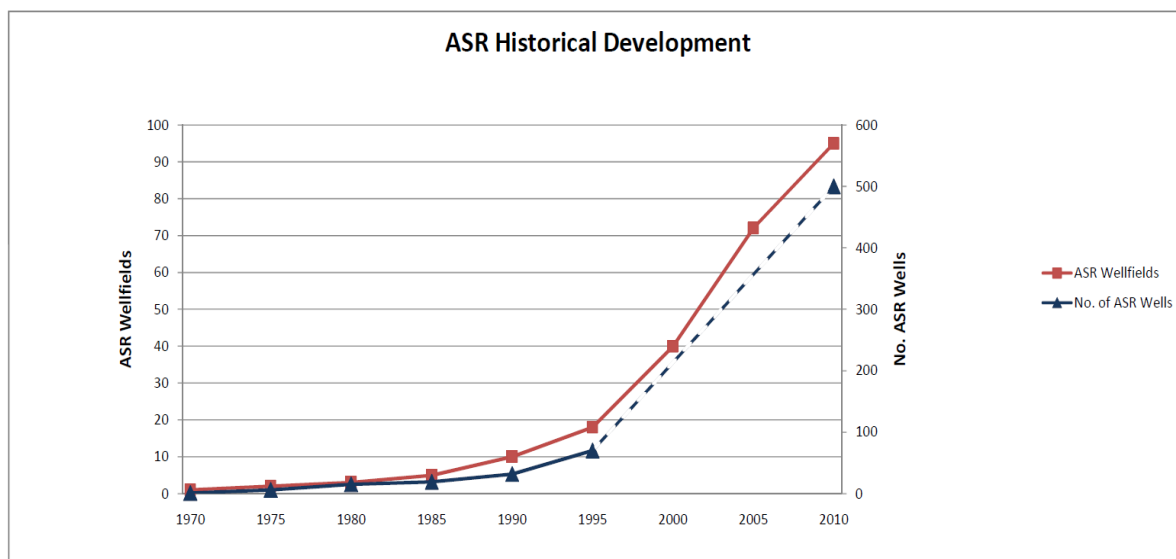
Obim ovog rada ne dozvoljava širu analizu ali i gore pomenuti parametri pokazuju da je potencijal za veštačko prihranjivanje bunarima dvojne namene u izdanima formiranim u neogenim basenima dobar.

Takodje, gradijent u dubokim izdanima je znatno manji od plitkih aluvijalnih izdani čime se omogućava da injektirana voda ostane u zoni bunara do crpenja. Najbolje bi bilo da je gradijent manji od 0,001. Zbog dubine do izdani ne postoji mnogo karata izolirane nivoa podzemne vode u neogenim basenima sa kojima bi mogao da se proceni regionalni gradijent ali predpostavlja se da je gradijent mali. Kada je debljina izdani preko 8 metara sloj se smatra da je povoljan za bunare dvojne namene što većina izdani u neogenim basenima ispunjava.

## ZAKLJUČAK

Izrada ASR sistema je u velikom zamahu u Sjedinjenim Američkim Državama (a i drugim zemljama u svetu, Holandija, Australija...) i trenutno postoji oko 500 bunara dvojne namene u USA. Ako se posmatra trend rasta broja bunara dvojne namene na slici 5 (Pyne, Kaluđerović, 2013) vidi se rapidno povećanje broja bunara dvojne namene u zadnjih 20 godina. Razlozi su jasni i mogu se videti sa slike 6 koja je predstavljena na Konferenciji ISMAR 2010, gde u svom predavanju na

konferenciji u Abu Dhabiju David Pyne je pokazao razliku u ceni između nadzemnog rezervoara i bunara dvojne namene koja je bila praktično 5 puta. Ovaj način upravljanja vodnim resursima može se i kod nas primeniti što je i pokazano preliminarnom analizom mogućnosti veštačkog prihranjivanja izdani formiranih u neogenom basenu u Srbiji. Naravno, potrebna su detaljnija istraživanja ali prvi rezultati su ohrabrujući. Ne treba očekivati da će svaka izdan biti pogodna za veštačko prihranjivanje bunarima ali razlozi za dalja istraživanja su očigledni.



Slika 5. ASR istorijski razvoj u SAD-u, (Legenda: ASR bunarska polja, Broj ASR bunara)



Slika 6. Slika iz prezentacije David Pyne (2010)

## LITERATURA

- [1] Dokmanović P., Jemcov I., Neogene izdani u dolini Velike Morave i mogućnosti vodosnabdevanja, projektna dokumentacija, 1999
- [2] Dokmanović P. (1999): Hidrogeologija terciarnih basena Srbije, monografija, «Zadužbina Andrejević», Beograd
- [3] Environmental Simulation Inc. (2014): Groundwater Vistas 6, USA
- [4] Kaluđerović D. (1998): Groundwater Flow and Contaminant Transport Model – Example of Velika Plana Groundwater Source, MODFLOW98 Conference, Denver, USA
- [5] Kaluđerović D. (2006): Numerički eksperiment u cilju smanjenje neodređenosti 3D modela transporta zagađenja u podzemnim vodama, Društvo inženjera i tehničara, Beograd

- [6] Kaluđerović D. (2008): 3D matematičko modeliranje kretanja podzemnih voda i transporta zagađenja u hidrogeologiji, Monografija, 190 strana A4 formata, Beograd
- [7] Kaluđerović D. (2013): Prilog upravljanju podzemnim vodnim resursima bunarima dvojne namene - ASR (Aquifer Storage and Recovery), Vodoprivreda, Beograd, N<sup>o</sup> 264-266, s.295-302
- [8] Pyne David, Kaluđerović D. (2013): Implementacija pasivnog biološkog tretmana vode za piće - bunari dvojne namene, Voda i Sanitarna Tehnika, vol. 43, br. 3, str. 39-46, Udruženje za tehnologiju voda i sanitarno inženjerstvo, Beograd
- [9] Pyne David, (2010): Aquifer Storage Recovery: Economics and Recent Technical Advances, ISMAR 2010, Abu Dhabi
- [10] Pyne David, (2005): *Aquifer Storage Recovery: A Guide to Groundwater Recharge Through Wells*. 2nd Edition, USA
- [11] Zheng, C., and P. P. Wang, (1999): MT3DMS: A modular three-dimensional multi-species model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems: documentation and user's guide, SERDP-99-1: U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, USA

## POSSIBILITIES FOR ARTIFICIAL RECHARGE OF THE AQUIFERS IN THE NEOGENE BASINS IN SERBIA USING THE DUAL PURPOSE WELLS

by

Dr Dragan KALUĐEROVIĆ, dipl.ing.hidrogeologije  
Centar za primenjena naučna istraživanja u vodosnabdevanju i remedijaciji  
[www.advancegwt.com](http://www.advancegwt.com)

### Summary

Since 1983 water utility systems in the United States have increasingly relied upon underground storage of drinking water to meet a growing variety of site-specific needs. Storage has been accomplished through "Aquifer Storage Recovery (ASR)" wells or dual purpose wells. ASR wells store water in suitable aquifers during wet months, moreover in all periods when water is available, and recover the stored water from the same wells during droughts, peak demands, and other times when the stored water is needed. Over 100 ASR wellfields (about

500 wells) are now operational in at least 22 states in USA. ASR is now being implemented in many other countries. The principal driver for ASR implementation has been economics since ASR solutions typically reduce capital costs for water system development by at least 50%.

Key words: Groundwater Vistas, underground storage, wells, Aquifer Storage Recovery

Redigovano 17.11.2014.