

## ODRŽIVO KORIŠĆENJE MAĐARSKO-SRPSKIH MEĐUGRANIČNIH VODNIH TELA

Dušan POLOMČIĆ, Zoran STEVANOVIĆ, Saša MILANOVIĆ,  
Stanko SORAJIĆ, Bojan HAJDIN, Željko KLJAJIĆ  
Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu

### REZIME

Višegodišnja eksploatacija podzemnih voda međugraničnih vodnih tela između bačkog dela Srbije i Mađarske praćenja je kontinuiranim opadanjem pijezometarskog nivoa na području obe države i potpunim nepoznavanjem količine podzemnih voda koje se zahvataju na obe strane. Navedeno je imalo za potrebu okupljanje stručnjaka iz Srbije (Rudarsko-geološki fakultet – Beograd, Pokrajinski sekretarijat za mineralne sirovine – Novi Sad, Vodovod Subotica, Vode Vojvodine – Novi Sad) i Mađarske (Atikovizig - Direkcija za zaštitu životne sredine i vodoprivrede okruga Donja Tisa - Segedin) koji su uzeli učešće u međunarodnom projektu "Održivi razvoj Mađarsko-Srpskih međugraničnih vodnih tela (SUDEHSTRA)". Projekat je imao za cilj sagledavanje uticaja eksploatacije, sprovođenje monitoringa podzemnih voda, izradu hidrodinamičkog modela režima podzemnih voda i prognozu razvoja buduće eksploatacije u slučaju klimatskih promena, i smanjenja, odnosno povećanja zahvatanja podzemnih voda na srpskoj i mađarskoj strani.

Preduslov za dobijanje kvalitetne prognoze uticaja eksploatacije podzemnih voda navedenog područja, bilo je određivanje i usklađivanje vertikalnog rasprostranjenja litoloških jedinica, njihove starosti i pojava podzemnih voda kao i određivanje hidrogeoloških i hidrodinamičkih parametara vodonosne sredine. U cilju dopune potrebnih parametara režima podzemnih voda izvedeno je anketiranje javnih vodovoda, prikupljanje podataka o izvorištima za industriju i balneološke centre, kao i sprovođenje monitoringa reprezentativnih izvorišta podzemnih voda severne Bačke u periodu od dve godine (01.01.2008 - 31.12.2009.g.)

**Ključne reči:** međugranične izdani, hidrodinamički model, izvorišta podzemnih voda, održivo korišćenje

### UVOD

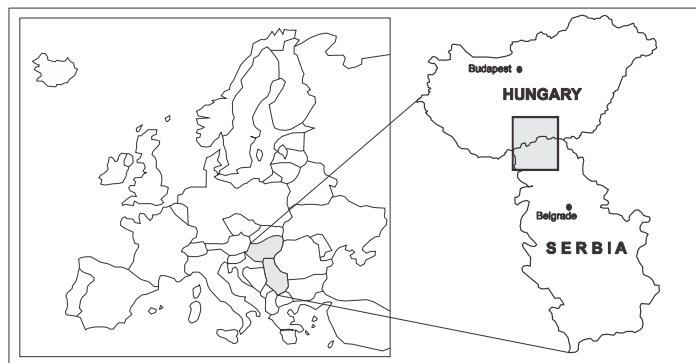
Realizacija radova po Projektu "Održivi razvoj Mađarsko-Srpskih međugraničnih vodnih tela (SUDEHSTRA)" imali su za cilj sagledavanje uticaja postojeće eksploatacije podzemnih voda, ali i poboljšanje upravljanja zajedničkim resursima podzemnih voda. Sam projekat je deo programa prekogranične saradnje ERDF / INTERREG IIIA (Community Initiative) i CARDS 2000 – 2006 koji je u potpunosti finansiran od strane Evropske agencije za rekonstrukciju (EAR). Istraživanjem je obuhvaćeno područje dato na slici 1.

Podzemne vode na području istraživanja predstavljaju jedini resurs iz koga se zahvata voda za vodosnabdenje naselja, industrije i balneoloških centara, odnosno predstavljaju resurs od presudnog značaja za privredu i društvo severne Bačke i južne Mađarske, koji direktno utiču na standard života.

Sprovedena hidrodinamička analiza omogućila je određivanje bilansa podzemnih voda, uslove regionalnog prihranjivanja i simulaciju eksploatacije podzemnih voda, kao i analizu različitih scenarija zahvatanja podzemnih voda u funkciji održivosti međugraničnih vodnih tela Srbije i Mađarske.

### PRIKAZ LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA

Geološka građa područja severne Bačke proučena je na osnovu podataka dubokih bušotina za istraživanje ugljovodonika (nafte i gasa), istraživanja za eksploataciju termomineralnih voda, izvedenih geofizičkih ispitivanja, kao i podataka bušenja za potrebe vodosnabdevanja naselja i industrije. Generalno, istraživani teren izgrađuju stene paleozojske (prekambrium-paleozoik), mezozojske, tercijarne i kvartarne starosti (prilog 2 i 3).



Slika 1: Geografski položaj istražnog područja

**Prekambrijum (?) i Paleozoik (Pz)** - Prekambrijumske i paleozojske tvorevine predstavljaju najstarije stene na istraživanom području. One čine bazu mlađim sedimentnim stenama. Zastupljeni su kristalasti škriljci različitog stepena kristaliniteta, gnajsevi, mikašisti filiti, kvarciti, metamorfisani serpentiniti peridotiti.

**Mezozoik (Mz)** - Mezozojski sedimenti javljaju se u povlati paleozojskih stena. Karakteriše ih poremećenost usled rasedanja i vulkanskih proboja i pojava na različitim dubinama.

**Trijas (T?, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>)** - U zapadnom delu istraživanog područja, kod Bačkog Monoštora u podlozi neogena na dubini ispod 1010 m i kod naselja Kupusine na dubini ispod 1245 m, nabušeni su dolomiti za koje se pretpostavlja da su tvorevine trijasa. Nije preciznije određena njihova starost u okviru trijasa (oznaka: T ?).

**Donji trijas (T<sub>1</sub>)** - Stene koje pripadaju donjem trijasu konstatovane su na nekoliko lokacija uglavnom u severnom delu istražnog područja. Donji trijaski sedimenti predstavljani su kvarcnim peščarima i konglomeratima, krečnjacima i alevrolitima.

**Srednji trijas (T<sub>2</sub>)** - Stene srednjeg trijasa utvrđene su u severnom delu područja, u okolini Novog Kneževca, i predstavljene su dolomitičnim i laporovitim krečnjacima, dolomitima i dolomitskim brečama.

**Gornja kreda (K<sub>2</sub>)** - Na području severne Bačke gornjokredni sedimenti konstatovani su u dubokim bušenjem na području Bečeja, gde leže diskordantno preko kristalastih škriljaca. U litološkom pogledu predstavljena je karbonatnim i flišnim sedimentima, taloženim u klastično-karbonatnoj i basenskoj faciji.

**Tercijar (Tc)** - Tercijarni sedimenti imaju veliko rasprostranjenje na području severne Bačke. Zastupljeni su sedimenti tortona, sarmata, panona, ponta (donji i gornji) i paludinski slojevi.

**Torton (M<sub>2</sub><sup>2</sup>)** - U zapadnom delu istraživanog područja (oblast Sombora), sedimenti tortona predstavljani su krečnjacima, konglomeratima, peščarima i laporcima, prosečne debljine oko 80 metara. U rejonu Kule i Crvenke torton je pretežno morskog razvića, predstavljen spurdnim krečnjacima, peskovitim laporima, peščarima, peskovitim tufoznim krečnjacima i konglomeratima.

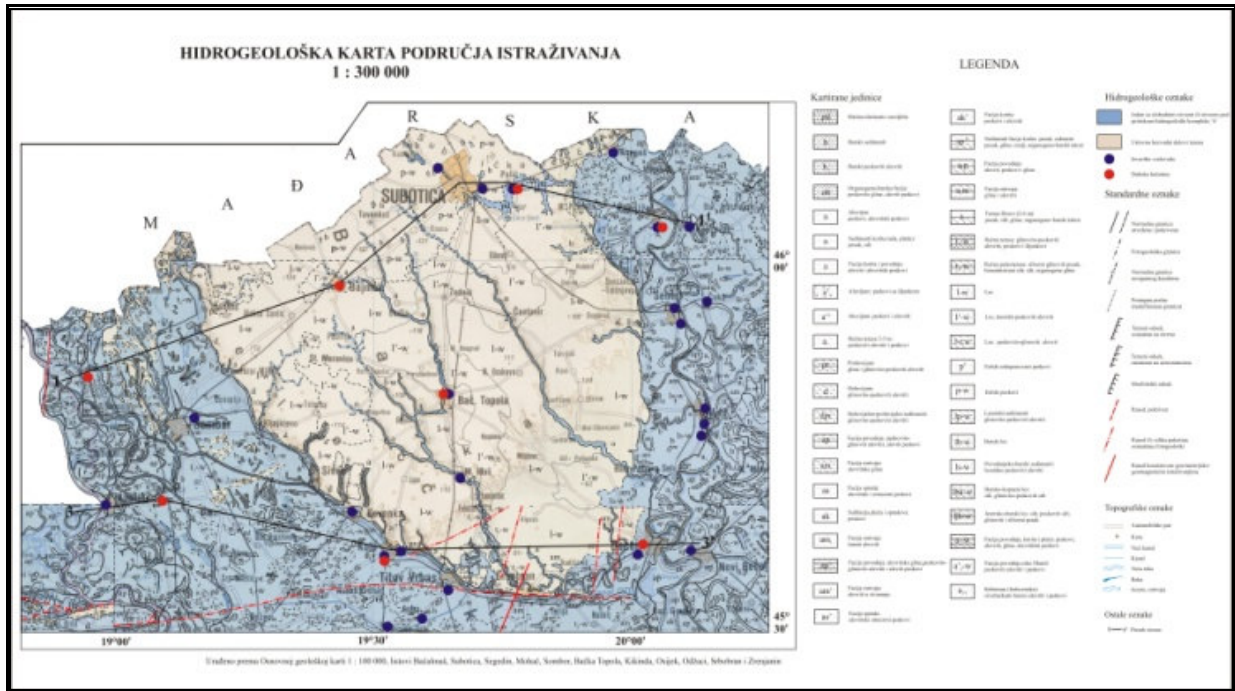
**Sarmat (M<sub>3</sub><sup>1</sup>)** - U zapadnom delu područja istraživanja sarmatski sedimenti utvrđeni su kod Telečke i predstavljani su peščarima, laporcima, laporima, konglomeratima i glinama.

**Panon (M<sub>3</sub><sup>2</sup>)** - Na istraživanom području sedimenti panona leže diskordantno preko tvorevina paleozoika ili konkordantno u odnosu sa sedimentima sarmata. Debljina panona je neujednačena i kreće se od 7 m do 100 m.

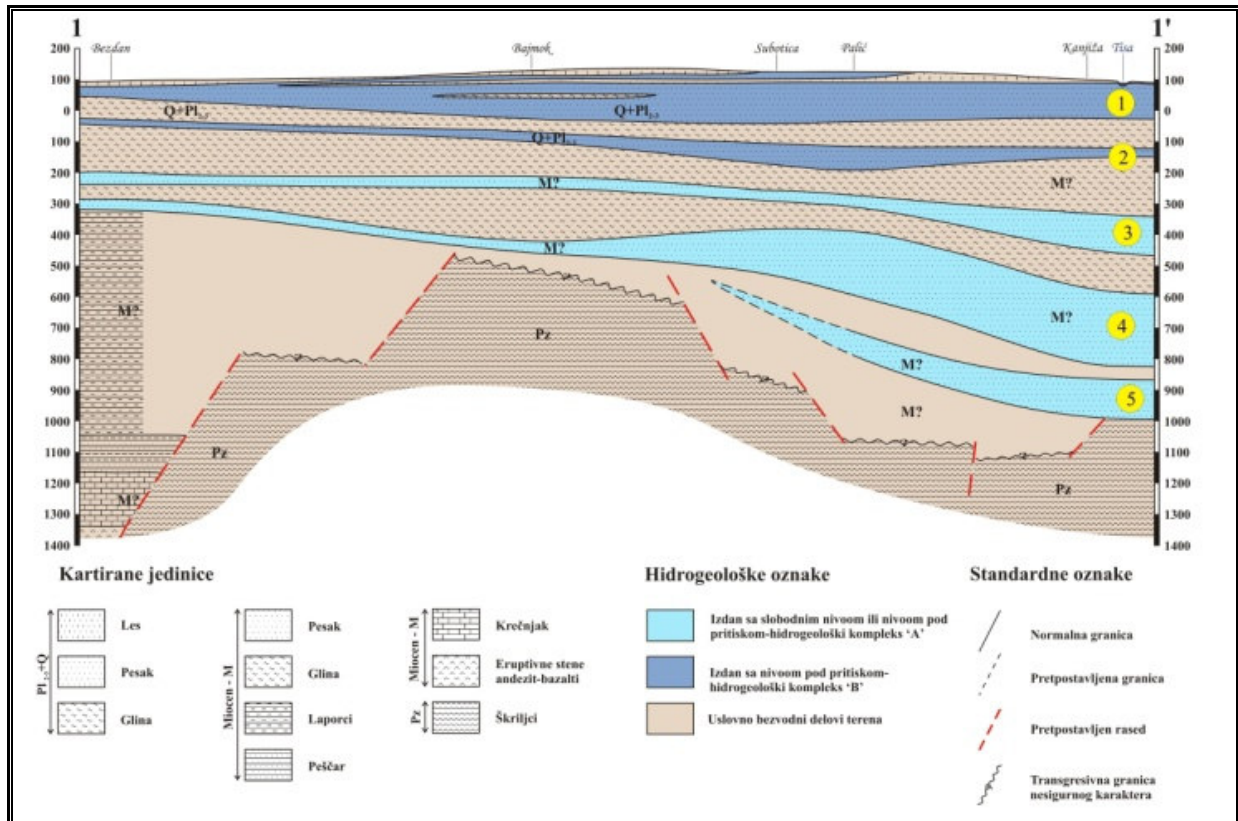
**Pont (P<sub>1</sub><sup>1-2</sup>)** - Donjopontski (P<sub>1</sub><sup>1</sup>) i gornjopontski (P<sub>1</sub><sup>2</sup>) sedimenti imaju veliko rasprostranjenje na istraživanom području. Leže uglavnom konkordantno preko panona. Debljina gornjopontskih slojeva iznosi 250-300 m.

**Paludinski slojevi (P<sub>2+3</sub>)** - Završnu seriju tercijarnog (neogenog) kompleksa stena predstavljaju paludinski sedimenti. Zastupljeni su na celom području istraživanja, rasprostranjeni na različitim dubina i debljine. Izgrađeni su od peskova, glina, šljunkovito-glinovitih peskova sa pojavama proslojaka lignita. U facijalnom pogledu to subakvatični sedimenti sa osobinama kontinentalnih, eolskih i plavinskih naslaga.

**Kvartar (Q)** - Kvartarne naslaga rasprostranjene su na celom istražnom području. Od površine terana vertikalno se prostiru od nekoliko desetina metara do dubine od preko 100 m, a u severnim delovima Bačke i do 200 m. Regionalno posmatrano njihova debljina povećava se od juga prema severu. Kvartarne naslage izgrađuju peskovito-šljunkoviti sedimentni, gline, peskovi, les i varijacije peskovitih i glinovitih sedimenata.



Slika 2: Hidrogeološka karta područja istraživanja



Slika 3: Regionalni hidrogeološki profil 1-1'

## HIDRODINAMIČKA ANALIZA REŽIMA PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA

Sprovedena hidrodinamička analiza imala je za cilj sagledavanje različitih varijanti veličine eksploatacije podzemnih voda koje se zahvataju u nešto nepovoljnijim klimatskim uslovima (smanjenje padavina) u narednih 15-20 godina. Kao podloga ovoj analizi formiran je hidrodinamički model celog istražnog područja dimenzija 135 km x 145 km na kome je simulirana aktuelna eksploatacija podzemnih voda (slika 4), srpskoj i mađarskoj strani.

Tokom izrade modela javili su određeni problemi, od kojih su najizraženiji: upotreba različitih koordinatnih sistema, različita geološka nomenklatura, nepostojanje karata pograničnih vodnih tela, različita "gustina" lokacija bunara, dokumentacioni materijali na maternjim jezicima, nedostatak hidrogeoloških i hidrauličkih parametara.

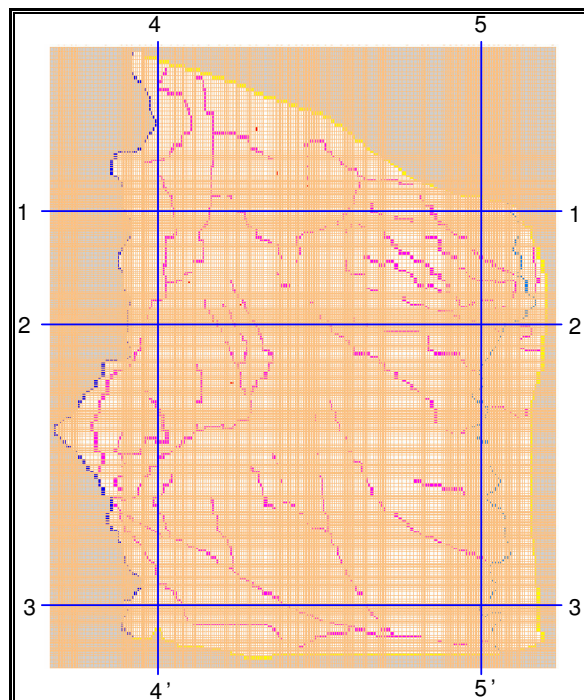
Za područje obuhvaćeno modelom na teritoriji Srbije prikupljene su podloge koje su rezultat regionalnih geoloških i hidrogeoloških istraživanja, rezultati ranijih istražnih i eksploatacionih bušenja, rezultati regionalnih geofizičkih isitivanja, hidrometeorološki i hidrološki podaci (RHMZ Srbije) i evidencija zahvatanja podzemnih voda.

Istražno područje karakteriše se relativno složenom geološkom građom. Na osnovu analize prikupljenih podataka izdvojeno je ukupno deset slojeva, od kojih je pet vodonosnih.

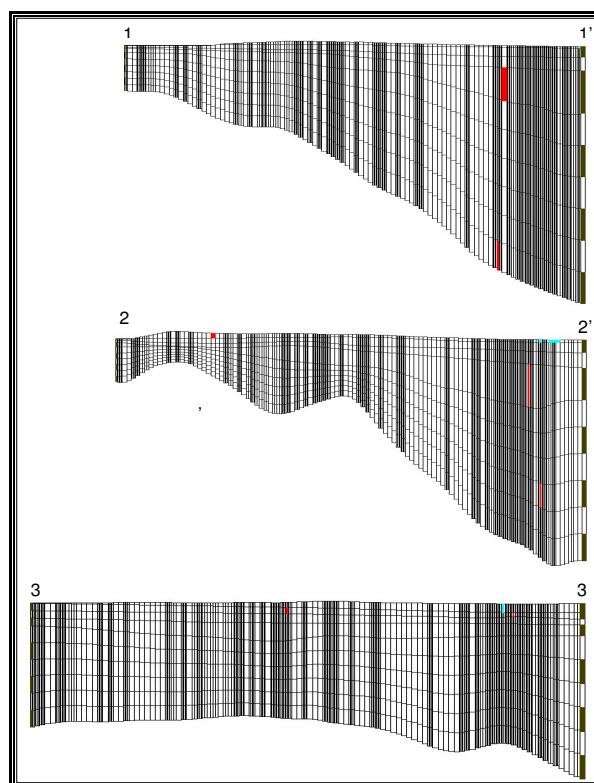
Hidrodinamički model istražnog područja je koncipiran i izrađen kao višeslojeviti model, sa ukupno deset slojeva, posmatrano u vertikalnom profilu. Svaki od ovih slojeva odgovara određenom realnom sloju, šematizovanom i izdvojenom na osnovu poznavanja terena i rezultata sprovedenih analiza obimnih terenskih istražnih radova.

### 1. Diskretizacija područja

Osnovne dimenzije matrice, kojom je obuhvaćen izučavani teren su 135 km x 145 km. Diskretizacija strujnog polja u planu je izvedena sa osnovnom veličinom ćelija 1000 m x 1000 m, koje su smanjivane do 125 m x 125 m koliko je zadavano u zonama izvorišta podzemnih voda. Model ima ukupno 1.370.600 ćelija od kojih je 1.145.600 aktivnih. Na slici 4 prikazana je osnovna matrica modela i diskretizacija strujnog polja istražnog prostora, a na slici 5 modelski profili kao rezultat diskretizacije šematizovanih slojeva.



Slika 4: Prikaz diskretizacije strujnog polja istražnog prostora



Slika 5: Modelski profili

## 2. Filtracione karakteristike porozne sredine

Filtracione karakteristike su zadavane na modelu preko koeficijenta filtracije, specifične izdašnosti izdani, specifičnog uskladištenja, i poroznosti. Svaki od pomenutih hidrogeoloških parametara zadavan je kao reprezentativna vrednost u svakoj ćeliji diskretizacije (tabela 1).

Tabela 1: Inicijalne vrednosti hidrogeoloških parametara

Sloj	Kh (m/dan)	Kv (m/dan)	Poroznost (-)	Specif. izdašnost izdani (-)	Specif. uskladištenje (1/m)
1	4	0,004	0,1	0,037	0,003
2	2	0,004	0,2	0,29	$6,35 \cdot 10^{-5}$
3	0,015	0,0002	0,1	0,037	0,003
4	10	0,4	0,2	0,29	$6,35 \cdot 10^{-5}$
5	0,05	0,0005	0,05	0,037	0,003
6	5	0,5	0,15	0,29	$6,35 \cdot 10^{-5}$
7	0,05	0,001	0,05	0,037	0,003
8	5	0,5	0,15	0,29	$6,35 \cdot 10^{-5}$
9	0,05	0,001	0,05	0,037	0,003
10	5	1	0,15	0,29	$6,35 \cdot 10^{-5}$

## 3. Granični uslovi

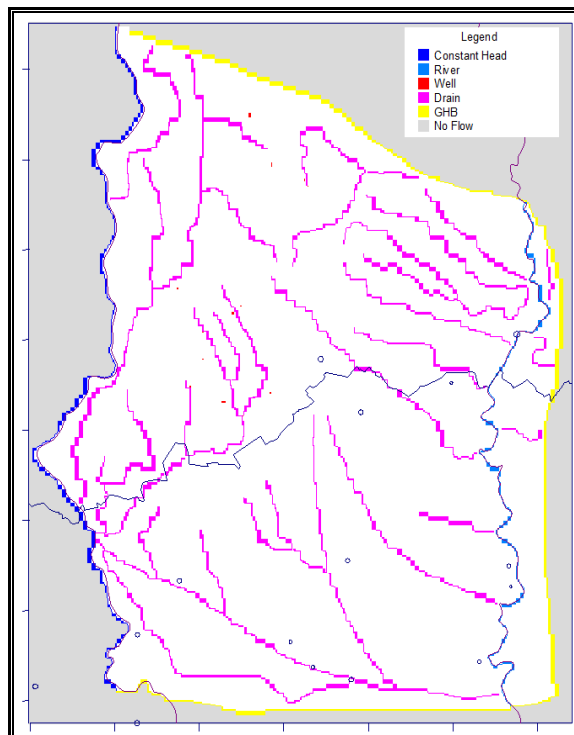
U hidrodinamičkom modelu istražnog područja zadavani su sledeći granični uslovi:

- infiltracija padavina
- evapotranspiracija
- opšti nivo podzemnih voda (engl. "General Head Boundary")
- granica zadatog kapaciteta
- granični uslov "drenaža" (engl. "Drainage Boundary")
- granica konstantnog potencijala
- granični uslov reka (engl. "River Boundary").

Granični uslovi su zadavani u stacionarnim i nestacionarnim uslovima, prema kvalitetu i broju pribavljenih podataka. Na području severne Bačke, infiltracija padavina, granica konstantnog potencijala, granični uslov "reka" i granični uslov zadatog kapaciteta su zadavani u nestacionarnim uslovima sa vremenskim korakom od mesec dana, dok su svi ostali granični uslovi zadavani u stacionarnim uslovima. Na području južne Mađarske svi granični uslovi zadavani su u stacionarnim uslovima.

Prikaz graničnih uslova koji su zadavani u hidrodinamičkom modelu istražnog područja (s

izuzetkom infiltracije padavina i evapotranspiracije) prikazani su na slici 6.

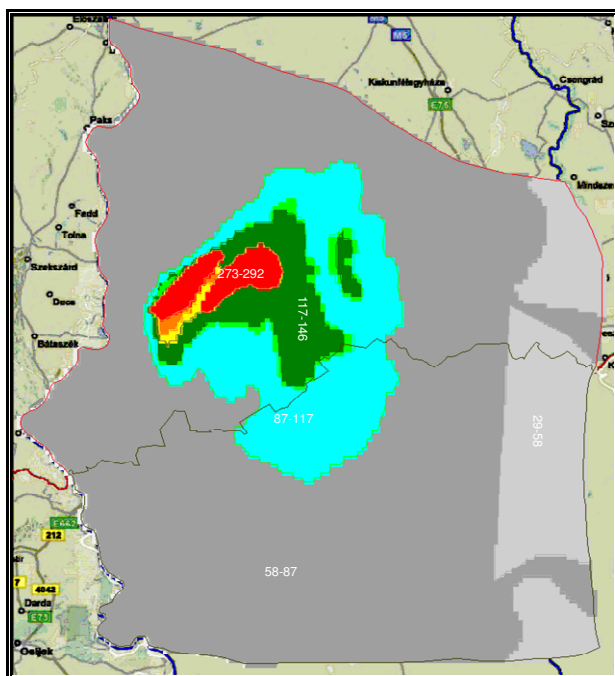


Slika 6: Karta graničnih uslova koji su zadavani u modelu

Za potrebe izrade modela obezbeđeni su hidrometeorološki podaci sa većeg broja hidrometeoroloških stanica, od kojih su četiri na teritoriji Republike Srbije (Palić, Sombor, Novi Sad, Kikinda). Infiltracija padavina je zadavana shodno pribavljenim podlogama – u nestacionarnim uslovima, sa vremenskim korakom od mesec dana (na teritoriji severne Bačke), odnosno u stacionarnim uslovima (na području Mađarske). Na slici 7 je prikazan intenzitet infiltracije padavina na istražnom području koji je zadavan u prvom sloju modela.

Granični uslov opšti piježometarski nivo uvodi se kod simuliranja uticaja poznatog izvora prihranjivanja koji se nalazi van analizirane strujne oblasti. Na istražnom području, ovaj granični uslov je zadavan kod prihranjivanja dubljih, odnosno trećeg, četvrtog i petog vodonosnog sloja. Na severozapadu oblast prihranjivanja dubljih slojeva se nalazi u rejonu Mečaka u Mađarskoj, na jugu je oblast prihranjivanja Fruška gora, a najudaljenija oblast prihranjivanja ovih slojeva nalazi se na istoku u oblasti Karpata. Zbog nedostataka

odgovarajućih podloga, ovaj granični uslov je zadavan sa fiksnim veličinama, nepromenljivim tokom celog postupka kalibracije modela.



Slika 7: Karta zona infiltracija padavina

Graničnim uslovom "drenaža" simuliran je rad kanalske mreže na istražnom području. Drenažni kanali zadani su u prvom modelskom sloju, a vrednosti vodostaja u njima su zadane u stacionarnim uslovima.

Uticao reke Dunav na zapadu istražnog područja ima značajnu ulogu u definisanju režima podzemnih voda prvog i drugog vodonosnog sloja, a njegova hidraulička uloga u modelu simulirana je graničnim uslovom konstantnog potencijala.

Uticao reke Tise na istoku područja obuhvaćenog modelom simulirana je graničnim uslovom "reka".

Na hidrodinamičkom modelu, granica zadata kapaciteta reprezentuje rad izvorišta podzemnih voda za potrebe javnog vodosnabdevanja, industrije ili banjskih centara.

U toku istraživanja izvršen je obilazak svih većih vodovoda na istražnom području i izvršeno je prikupljanje i provere postojećih podataka. Anketiranje

je obuhvatilo izvorište pivare Apatin, kao i sledeća izvorišta vodovoda: Apatin, Sombor, Suboticu, Horgoš, Novi Kneževac, Čoku, Sentu, Adu i Mol, Bečej, Novi Bečej, Bačku Topolu, Mali Idoš, Vrbas, Kulu i Crvenku. Kapaciteti i nivoi podzemnih voda na izvorištima za industriju su preuzeti iz elaborata o rezervama podzemnim vodama.

U tabeli 2 dat je prikaz trenutne potrošnje podzemnih voda, kao i neke karakteristike anketiranih vodovoda.

#### 4. Etaloniranje modela

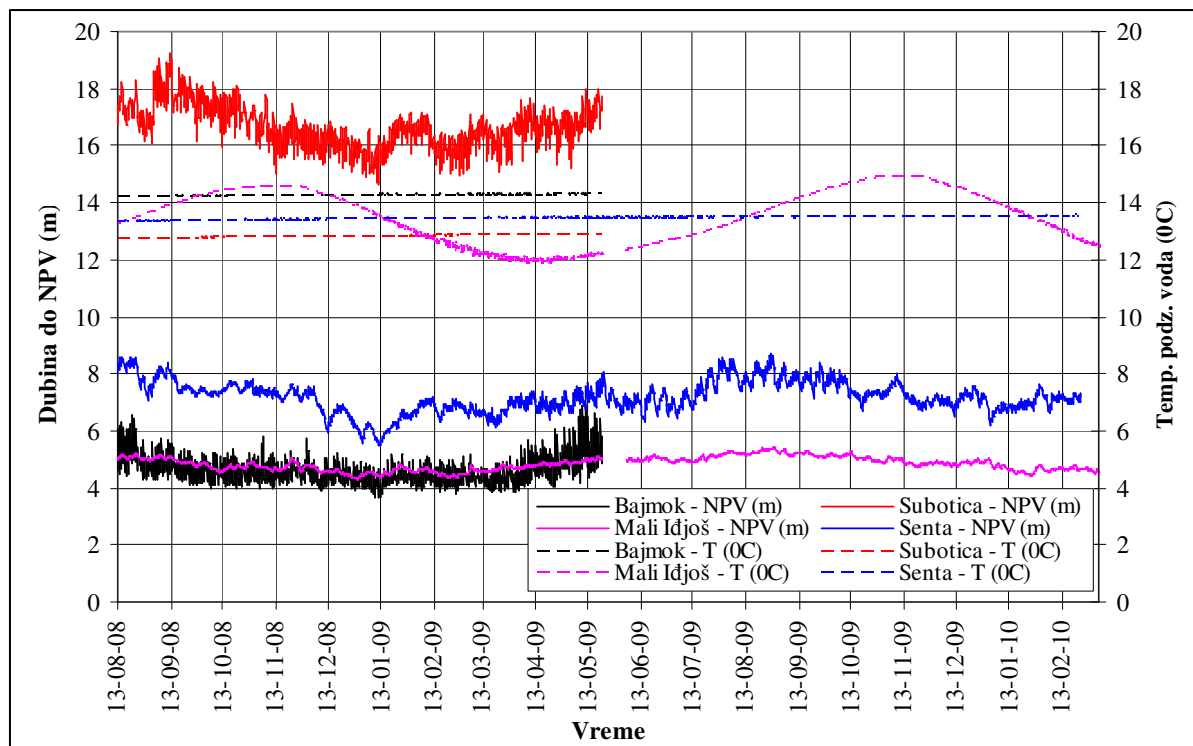
Etaloniranje modela je sprovedeno u nestacionarnim uslovima strujanja, sa vremenskim korakom od jednog meseca za vremenski period od godinu dana. Jedan broj graničnih uslova na području severne Bačke su zadavani shodno prikupljenim ulaznim podacima (nestacionarno). Ostali granični uslovi, kao i svi na području južne Mađarske su zadati kao konstantne vrednosti tokom jednogodišnjeg perioda.

Sprovedenom analizom i interpretacijom prikupljenih podataka o režimu rada izvorišta podzemnih voda, određene su i jasno definisane reprezentativne lokacije na kojima je vršeno praćenje režima podzemnih voda za period od godinu dana. Sistem monitoringa podzemnih voda instaliran je u četiri reprezentativna vodovoda: Mali Idoš, Senta, Subotica i Bajmok. Ovaj sistem lociran je i izgrađen tako da obezbedi maksimalnu informaciju, koje karakterišu podzemne vode na području istraživanja. Svi bunari koji su izabrani, reprezentativni su u pogledu predstavljanja celokupnog područja. Istovremeno na bunarima mereni su i nivoi podzemnih voda, da bi se obezbedilo pouzdano i često merenje u bunare su ugrađeni "Diver" instrumenti dužine 125 mm i prečnika 22 mm. Kapacitet unesenih podataka je 24.000, a vremenski interval merenja je bio podešen na jedan sat.

Na slici 8, su prikazani rezultati praćenja režima podzemnih voda na odabranim vodovodima. Na izvorištima u Bajmoku i Subotici mogu se uočiti dosta velike oscilacije nivoa podzemnih voda u kratkim intervalima, što je posledica blizine eksploatacionih bunara čiji se uticaj direktno oseća na mernim mestima. Kolebanje temperature na slici, može da se objasni tako što je dajver postavljen plitko pa se javlja uticaj atmosferskog sezonskog kolebanja temperature.

Tabela 2: Prikaz karakteristika graničnog uslova zadatog proticaja (na području Severne Bačke)

Vodovod	Izvorište	Kaptirani sloj					Q naselja (l/s)	Q industr (l/s)
		I	II	III	IV	V		
Ada	Ada	I					78	100
	Mol	I						
	Između Ade i Mola	I						
Apatin	Apatin	I					100	200
Bačka Topola	Bačka Topola	I					35	30
Bečej	Bečej	I					108	120
Čoka	Čoka	I					60	30
Kanjiža	Horgoš	I	II				66	40
	Kanjiža	I	II				100	60
Crvenka	Crvenka		II				31	40
Kula	Kula (Štolc) K1	I					57	50
	Kula (Krsturski put)	I					35	
Mali Idoš	Mali Idoš	I					15	20
Novi Bečej	Novi Bečej	I					90	80
Novi Kneževac	Novi Kneževac		II				50	50
Senta	Senta Sever	I					58	40
	Senta Jug	I						
Sombor	Sombor Jaroš	I					210	50
	Sombor Bunari u gradu		II				80	120
Subotica	Subotica (Vodozahvat 1)	I	II				250	100
	Subotica (Vodozahvat 2)	I	II				73	
Vrbas	Vrbas (Ravno selo)		II				16.7	35
	Vrbas (Savino selo)		II				44	
	Vrbas (kucura)		II				25	
Kanjiža	Duboka bušotina				IV		9.2	
Bačka Topola	Duboka bušotina				IV		10.8	
Palić	Duboka bušotina				IV		17.7	
Bečej	Duboka bušotina				IV		25	
Bajmok	Duboka bušotina				IV		1	
Kula	Duboka bušotina					V	14.2	
Prigrevica	Duboka bušotina					V	20.5	
Bezdan	Duboka bušotina			III			15	

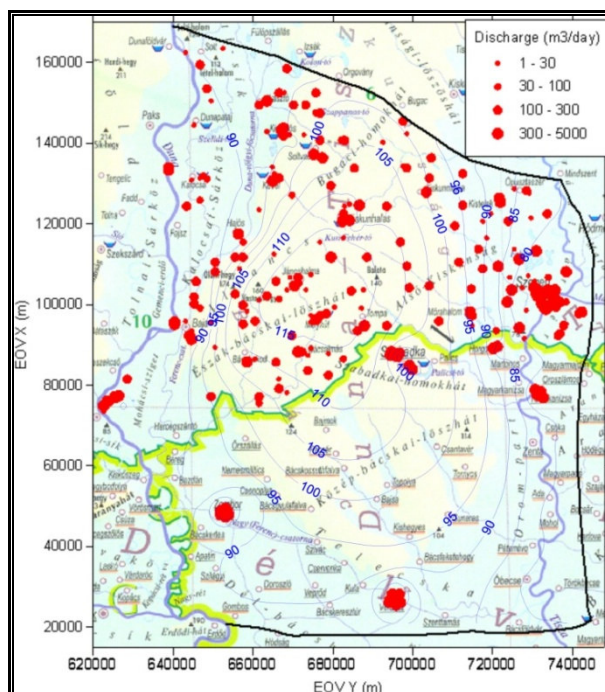


Slika 8: Prikaz oscilacija nivoa i temperature podzemnih voda na bunarima (Bajmok), (Mali Iđoš), (Senta), (Subotica)

Podaci dobijeni monitoringom režima podzemnih voda Severne Bačke uvršćeni su u model i poslužili su u procesu kalibracije modela.

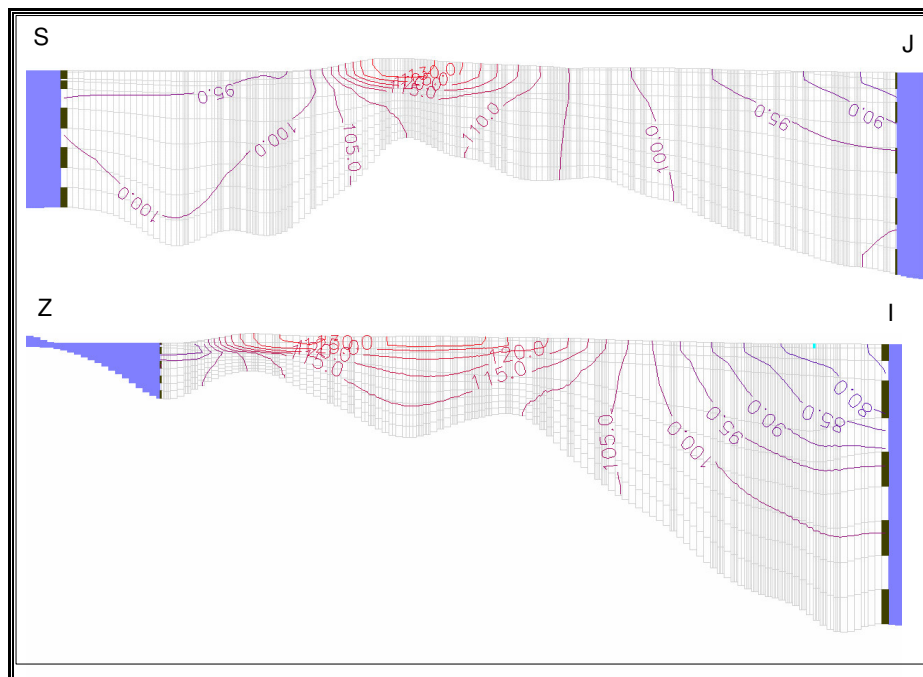
Strujanje podzemnih voda je na modelu računato i simulirano kao realno strujanje, pod pritiskom, ili sa slobodnim nivoom, u svakom polju diskretizacije pojedinačno, pri čemu su uslovi strujanja tokom vremena na modelu menjani u skladu sa realnim uslovima.

Na slici 8, prikazan je jedan od karakterističnih pijezometarskih nivoa od pet modeliranih slojeva na kraju perioda za koji je model kao i za ostale slojeve kalibrisan, dok je na slici 9 prikazan raspored pijezometarskih nivoa u profilima duž pravca sever – jug i zapad – istok.



Slika 8: Raspored pijezometarskih nivoa u drugom vodonosnom sloju





Slika 9: Raspored pijezometrijskih nivoa u profilu sever - jug i zapad - istok

Tabela 3: Bilans podzemnih voda na istražnom području

Infiltracija padavina	Evapotranspiracija	GHB	Bunari	Tisa	Dunav	Kanali
(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
28160	-22523	4025	-4977	-58	-1019	-1037

U analizi bilansa podzemnih voda na kraju vremenskog perioda za koji je obavljeno etaloniranje, zaključeno je da postoji izražen uticaj efektivne infiltracije (infiltracije padavina umanjene za evapotranspiraciju) na prva dva vodonosna sloja. U dubljim vodonosnim slojevima prihranjivanje se odvija na račun podzemnog doticaja duž svih kontura modela. U tabeli 4 dat je numerički prikaz elemenata bilansa podzemnih voda.

Dominantno prihranjivanje prva dva vodonosna sloja obavlja se na račun infiltracije padavina. Realitvno veliko rasprostranjenje lesnog platoa na površini istražnog područja koga karakteriše veoma dobra sposobnost infiltracije padavina uslovljava i generalni smer kretanja podzemnih voda od lesnog platoa u centralnom delu, ka periferiji istražnog područja. U aktuelnim uslovima eksploatacije podzemnih voda, oticaju voda iz područja istraživanja se obavlja preko eksploatacionih bunara, dreniranjem u reke Dunav i Tisu i drenažne kanale. U dubljim slojevima postoji podzemni doticaj u istražno područje, praktično duž svih kontura.

#### ANALIZA UTICAJA KLIMATSKIH PROMENA I SMANJENJA / POVEĆANJA EKSPLOATACIJE NA BILANS PODZEMNIH VODA

Osnovna namena modela strujanja podzemnih voda je da se na njemu simuliraju pretpostavljena, željena stanja režima podzemnih voda. Međutim, mogućnosti i realnost rezultata prognoznih proračuna su rezultat nekoliko faktora. Odlučujući faktor je reprezentativnost modela po prostoru i po vremenu, odnosno po dijapazonu obuhvaćenih stanja. U slučaju modela istražnog područja nedovoljno poznavanje hidrodinamičkih karakteristika sredine snizila je pouzdanost dobijenih rezultata proračuna prognoze. Drugi faktor, jesu ograničenja vezana za detaljnost i preciznost zadavanja ulaznih parametara u prognoznim proračunima, odnosno, da rezultat proračuna nikako ne može biti na višem nivou realnosti, pouzdanosti i preciznosti od odgovarajućih karakteristika ulaznih parametara.

Tabela 4: Bilans podzemnih voda u prognoznim varijantama

Varijanta		Infiltracija padavina	Evapotranspiracija	Vešt. prihr.	GHB	Bunari	Tisa	Dunav	Kanali
		(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
A	Trenutna eksploatacija, infiltracija padavina 80% realne	22528	-18368	0	4884	-4977	127	-556	-660
B	Trenutna eksploatacija, infiltracija padavina 90% realne	25344	-20463	0	4457	-4977	35	-810	-822
C	Trenutna eksploatacija, veštačka infiltracija	28160	-22697	231	3761	-4977	-58	-1030	-1102
D	Trenutna eksploatacija, infiltracija padavina 80% realne, Expl. SRB 100%, Expl. HU 110%,	22528	-18310	0	5190	-5150	139	-556	-660
E	Trenutna eksploatacija, infiltracija padavina 80% realne, Expl. SRB 85%, Expl. HU 110%	22528	-18519	0	4911	-4688	46	-625	-671

Prognoznim proračunima obuhvaćena su dva osnovna scenarija: klimatske promene koje se ogledaju kroz smanjenje padavina, i povećanje, odnosno smanjenje količina podzemnih voda koje se zahvataju. Ukupno je simulirano 5 varijanti eksploatacija podzemnih voda. Bilans podzemnih voda po svim varijantama prognoze prikazan je u tabeli 4.

Padavine i evapotranspiracija imaju značajnu ulogu u bilansu podzemnih voda istražnog područja. Razlika ovih parametara predstavlja količinu vode koja se infitrira u vodonosne slojeve (u prvi direktno, a u drugi pretakanjem iz prvog kroz slabije vodopropustan međusloj). Deo ove količine voda se zahvata eksploatacionim bunarima, a deo se prihvata drenažnim kanalima i površinskim tokovima. U varijantama sa klimatskim promenama evapotranspiracija ima najniže

vrednosti jer je i nivo podzemnih voda u prvom vodonosnom sloju opao usled deficita padavina, pa nema isparavanja. U prihranjivanju dubljih vodonosnih slojeva dominantnu ulogu ima podzemni doticaj.

U varijantama A i B usled smanjenja padavina uz zadržavanje postojeće eksploatacije dolazi do opadanja nivoa podzemnih voda i smanjenja evapotranspiracije. U ovim uslovima dolazi do preraspodele dreniranja u površinske tokove. U drenažne kanale i reku Dunav dreniraju se manje količine podzemnih voda, ali usled pada nivoa podzemnih voda dolazi do hranjenja podzemnih voda na račun infiltracije rečnih voda Tise.

U uslovima klimatskih promena koje se ogledaju u smanjenju padavina za 20 % i uz sadašnje količine voda koje se zahvataju (varijanta A) dolazi do dodatnog

opadanja nivoa podzemnih voda. Najintenzivnije opadanje nivoa je na izvorištima Subotice, Sombora, Bečeja, Crvenke i Kule, i Segedina (drugi vodonosni sloj). Depresije koje se javljaju u ovim uslovima u odnosu na trenutno stanje eksploatacije podzemnih voda iznose na nivou celog prvog vodonosnog sloja oko 0,5-1 m, a u zonama izvorišta 10-20 m.

U varijanti B prognoznih proračuna, gde su simulirane nešto manje izražene klimatske promene koje se ogledaju kroz smanjenje padavina za 10 %, i uz sadašnje količine podzemnih voda koje se eksploatišu, javljaju se i nešto manje depresije nego u varijanti A. Na jednom delu istražnog područja oko izvorišta, u prvom vodonosnom sloju, javljaju se depresije od oko 1 m. U drugom vodonosnom sloju postignuto je dodatno obaranje nivoa podzemnih voda za 1 m u odnosu na aktuelne efekte zahvatanja podzemnih voda. Najveće depresije se javljaju u zonama izvorišta i manje su za 4-7 m u odnosu na varijantu A.

Varijantom C simulirana je trenutna eksploatacija podzemnih voda, bez smanjenja padavina i uz primenu veštačke infiltracije na mađarskoj strani u prvom vodonosnom sloju. Kao rezultat ovih uslova, u prvom vodonosnom sloju javljaju se depresije samo u izvorištima na teritoriji severne Bačke, i u Segedinu. U drugom vodonosnom sloju su manje depresije nego u prve dve varijante.

Četvrta varijanta prognoznih proračuna obuhvata klimatske promene koje se ogledaju u smanjenju padavina za 20 %, trenutnu eksploataciju podzemnih

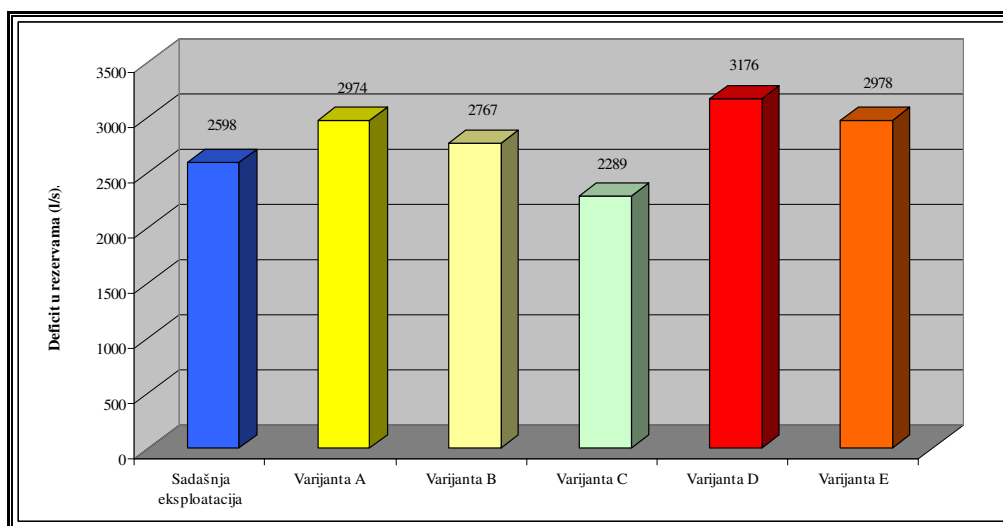
voda na srpskoj strani i povećanje eksploatacije podzemnih voda na mađarskoj strani za 10 %. Prema ovoj varijanti zahvatanja podzemnih voda dolazi do najvećih depresija u odnosu na sadašnje stanje zahvatanja podzemnih voda. U severnoj Bačkoj ostaju gotovo identične vrednosti depresija kao i po varijanti A, ali je u zonama izvorišta na mađarskoj strani došlo do obaranja nivoa podzemnih voda za 0,5 - 1 m. Ovo je posledica relativno velikog broja izvorišta manjih kapaciteta koji kaptiraju drugi vodonosni sloj, na Mađarskoj strani.

Poslednja varijanta prognoznih proračuna, varijanta E, razlikuje se od varijante D samo po smanjenju količina podzemnih voda koje se zahvataju na području severne Bačke. Ovo smanjenje uznosi 15 % u odnosu na trenutnu eksploataciju. U odnosu na varijantu D, po ovoj varijanti dolazi do smanjenja depresija na izvorištima u severnoj Bačkoj za 2-5 m.

U analizi bilansa podzemnih voda u prognoznim proračunima obuhvaćene su sve promene u graničnim uslovima hidrodinamičkog modela (tabela 4).

Uticao veštačkog prihranjivanja je simuliran samo za područje Mađarske i u odnosu na trenutnu eksploataciju podzemnih voda ova varijanta se ogleda u nešto višim nivoima podzemnih voda i višak podzemnih voda (u odnosu na sadašnje stanje) se drenira u reku Dunav i drenažne kanale.

Varijanta D predstavlja ekstremnu varijantu, kako po pitanju klimatskih promena, tako i po pitanju količina



Slika 10: Prikaz deficita u rezervama podzemnih voda po varijantama

podzemnih voda koje se zahvataju. U ovim uslovima dolazi do najvećih depresija na istražnom području što rezultuje smanjenje evapotranspiracije i smanjenje količina podzemnih voda koje se dreniraju u Dunav i drenažne kanale. S druge strane, dolazi do najveće infiltracije rečnih voda Tise i najvećeg podzemnog doticaja u dubljim vodonosnim slojevima.

Varijanta E ima sličan bilans sa varijantom D.

Za sve analizirane scenarije klimatskih promena i načina eksploatacije podzemnih voda, kao i za sadašnje zahvatanje podzemnih voda karakteristično je da postoji deficit u bilansu, odnosno da se deo rezervi podzemnih voda ne obnavlja (slika 10). Najveći deficit je u varijanti D.

## ZAKLJUČAK

Eksploatacija podzemnih voda u međugraničnim izdanima Srbije (Bačke) i Mađarske koristi se za zadovoljavanje potreba u vodi stanovništva, industrije, poljoprivrede i banjskih centara. Prema podacima izvršenog anketiranja javnih vodovoda, industrije i banjskih centara u severnoj Bačkoj zahvata se oko 2,86 m<sup>3</sup>/s podzemnih voda, od čega je 1,7 m<sup>3</sup>/s za potrebe javnog vodosnabdevanja. Na mađarskoj strani zahvata se oko 2,1 m<sup>3</sup>/s podzemnih voda.

Podzemne vode su formirane generalno u okviru pet vodonosnih slojeva izrađenih od peskova. Za potrebe javnog vodosnabdevanja i industrije na srpskoj strani se zahvataju dominantno vode iz prvog, manje iz drugog vodonosnog sloja, dok se na mađarskoj strani za iste namene koriste vode pretežno iz drugog vodonosnog sloja. Obzirom na uslove prihranjivanja kaptiranih vodonosnih slojeva, ovo je povoljna okolnost koja uslovljava manja obaranja nivoa podzemnih voda po slojevima. Dublji vodonosni slojevi na obe strane se koriste za potrebe banjskih centara i korišćenja geotermalne energije, s tim što je eksploatacija ovog resursa na mađarskoj strani višestruko veća.

Sprovedenom hidrodinamičkom analizom režima podzemnih voda izvršeno je prognoziranje efekata smanjenja padavina na istražnom području, i povećanja, odnosno smanjenja količina podzemnih voda koja se zahvataju, ukupno u pet scenarija.

Jedan od rezultata sprovedene analize različitih varijanti klimatskih promena, kao i načina eksploatacije podzemnih voda, je da postoji deficit u bilansu

podzemnih voda, odnosno da se deo rezervi podzemnih voda ne obnavlja. Ovo svakako ukazuje na potrebu donošenja zajedničke srpsko-mađarske strategije o održivom korišćenju međugranične izdani.

## LITERATURA

- [1] Almássy, E., Buzás, Z., 1999: Inventory of transboundary ground waters. Lelystad, Task Force on Monitoring and Assessment, Vol. 1, ISBN 9036952743, UNECE
- [2] Almasi I, 2000: Petroleum hydrogeology of the Great Hungarian Plain, East Pannonian basin. PhD thesis, Univ. of Alberta
- [3] Chilton J., 2007: Assessment of transboundary groundwaters in South Eastern Europe, Report WGMA, June 2007, Agenda Item 4 (a), Helsinki
- [4] Milosavljevic S, Vasiljevic M, Vilovski S, 1997: Hidrogeološka istraživanja u Vojvodini u: "100 years of hydrogeology in Yugoslavia". Vol 1. (Ed. Stevanovic Z.), FMG, Belgrade, p. 117-146
- [5] Puri S., Appelgren B., Arnold G., Aureli Al., Burchi S., Burke J., Margat J., Pallas P., 2001: Internationally shared (transboundary) aquifer resources management. Their significance and sustainable management. A framework document. IHP-VI, IHP Non Serial Publications in Hydrology (Ed. Puri S.). UNESCO, Paris
- [6] Puri S., Aureli Al., 2005: Transboundary Aquifers: A global program to assess, evaluate, and develop policy, Ground Water, 43, 5: 661-668
- [7] Soro A, Dimkic M, Josipovic J, 1997: Hidrogeološka istraživanja za potrebe vodosnabdevanja u Vojvodini u: "100 years of hydrogeology in Yugoslavia". Vol 2. (Ed. Stevanovic Z.), FMG, Belgrade, p. 101-112
- [8] Stevanovic Z, Lazic M, Polomcic D, Milanovic S, Hajdin B, Sorajic S, Kljajic Z, 2008: Sustainable development of Hungarian – Serbian transboundary aquifer (SUDEHSTRA), Final Report, Fac. Min. Geol., Belgrade
- [9] Stevanović Z., Kozák P., Lazić M., Szanyi J., Polomčić D., Kovács B., Török J., Milanović S., Hajdin B., 2008a: Towards sustainable management of transboundary Hungarian – Serbian aquifer, Proceedings of IV Transboundary Water management conference, Ext. Abstr., CD, ses. 1 (2), Thessaloniki

- [10] Stevanović, Z., 2008: Sustainable transboundary groundwater management: SE Europe and the Balkans. *European Geologist*, 25, pp. 17-18. EFG, Brussels
- [11] UNECE, 2000: Guidelines on monitoring and assessment of transboundary groundwaters, Work Programme 1996-1999, ISBN 9036953154, Lelystad
- [12] Vadasz E., 1960: Magyarország földtana (Geology of Hungary), Akad. Kiadó, Budapest, pp.532

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE HUNGARIAN – SERBIAN TRANSBOUNDARY AQUIFER

by

Dušan POLOMČIĆ, Zoran STEVANOVIĆ, Saša MILANOVIĆ,  
Stanko SORAJIĆ, Bojan HAJDIN, Željko KLJAJIĆ

Department of Hydrogeology, Faculty of Mining and Geology  
University of Belgrade, Djusina 7, Belgrade

### Summary

Transboundary groundwater management is today a very actual issue. Many multi or bilateral projects of this type had been worldwide initiated and drafted, but just a very few were successfully implemented. One of the good examples is the “Sustainable development of Hungarian – Serbian transboundary aquifer (SUDEHSTRA)”. Groundwater resources within thick Tertiary aquifer layers deposited between the Danube and Tisa Rivers are vital for the economy and the society of the two countries, considering that all of almost one million of inhabitants use them for drinking purpose. The results of the conducted hydrogeological survey, measurements and modelling show insignificant depletion of the groundwater table, without expansion tendency for the forecasted period of the next 20 years and for the simulated extraction rates, which should remain the same or it might increase slightly (in Hungary). The main pressure on groundwater extraction is shared between different water-bearing layers. While in Serbia the main tapping is from the upper section up to 200 m depth, for the water supply of the main Hungarian consumers and for geothermal energy the deeper aquifer layers are utilized.

The studied aquifer system is located between the Danube and Tisa Rivers and extends to the vicinity of Kiskunfelegyhaza on the Hungarian side (North) and to

Vrba in Serbia (South). The main groundwater consumers are cities and industries of Szeged, Kiskunhalas, Baja, Tompa, Hodmezovasarhely (Csongrad and Bacs-Kiskun Counties in Hungary) and Subotica, Sombor, Backa Topola, Vrba, Kula (in total 16 municipalities in Serbia). There are living over 800,000 inhabitants, about 60% of them are in the Serbian side of the border.

The project “Sustainable development of Hungarian – Serbian transboundary aquifer (SUDEHSTRA)” started in June 2007 and was completed in August 2008. It was one of the Cross-border cooperation programmes funded by the European Union the objectives and tasks of which were fully in line with the EU Water Frame Directive (EC2000/60) and EU Groundwater Daughter Directive targets. Experts from leading national institutions of the two countries have jointly worked on this important “mirror” project aiming to improve the knowledge about the common groundwater resources. Despite the very short period of work, the foundation has been successfully created for future mutual cooperation and sustainable water management.

Key words: transboundary aquifer, hidrodinamical model, ground water source, sustainable development

Redigovano 15.11.2010.