

KONCEPTUALNI HIDROGEOLOŠKI MODEL ZA HIDROGEOLOŠKI SUSTAV ISTOČNE SLAVONIJE

Pavao MILETIĆ, Marija HEINRICH-MILETIĆ i Andrea BAČANI

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 41000 Zagreb, Hrvatska

Ključne riječi: Konceptualni hidrogeološki model, Rješavanje hidrogeoloških nepoznanica

Cilj ovog rada bio je prikazati postupak definiranja konceptualnog modela hidrogeološkog sustava na primjeru matematičkog modela drugog vodonosnog sloja na području istočne Slavonije, sukcesivnim testiranjem velikog broja mogućih pretpostavki, bez preferiranja i jedne od njih. To je pomoglo u rješavanju nekih hidrogeoloških i hidrauličkih nepoznanica toga sustava a rezultiralo donekle izmijenjenom slikom hidrogeološke građe prve hidrogeološke zone na području istočne Slavonije.

Uvod

Najvažniji dio u procesu kreiranja matematičkog modela odabranog hidrogeološkog sustava je definiranje konceptualnog modela. Konceptualni model mora biti pojednostavljena, ali vjerna slika hidrogeološkog sustava da bi on bio svrsishodan. Matematički model ne smije biti sredstvo dokazivanja pretpostavki kao što je to, na žalost, često slučaj. On mora biti sredstvo pomoću kojeg testiramo valjanost pojedinih pretpostavki. U ovom radu prezentiran je postupak definiranja konceptualnog modela testiranjem brojnih pretpostavki na primjeru matematičkog modela drugog vodonosnog sloja na području istočne Slavonije. Naime, već prva testiranja pokazala su netočnost nekih važnih hidrogeoloških pretpostavki temeljenih na premalom broju podataka. To su pokazali rezultati testiranja koji su na temelju postojećih pretpostavki dali nelogične odgovore. One su se ipak mogle dokazati »uštímanjem« ulaznih podataka u model, što se često i čini (Prickett, 1979., Darr, 1979., Baski, 1979., Heinrich-Miletić i Miletić, 1986). Odustavši od te mogućnosti pristupilo se postupnom mijenjanju i testiraju drugih mogućih pretpostavki, a konačni rezultat rada je zanimljiva, korigirana slika hidrogeoloških i hidrauličkih značajki prve hidrogeološke zone područja istočne Slavonije u savskom slivu, s jasnim indikacijama hidrauličke povezanosti ovog dijela zone i njezinog nastavka u slivu Drave. Teoretska osnova i programska podrška ovog modela detaljno su opisani u objavljenim radovima i studijama Miletića i Heinrich-Miletić (1981), Heinrich-Miletić i Miletića (1986) te Miletić i dr. (1989).

Key-words: Conceptual hydrogeologic model, Solving of hydrogeologic unknowns

The aim of this work was to demonstrate the procedure how to construct appropriate conceptual model of the hydrogeological system to be the base of numerical simulations. The second water-bearing horizon over the area of Eastern Slavonia is an example where the successive testing of various physical and hydraulic boundaries and conditions were tested, without preferring any of them, until the best compatibility was achieved. Such the procedure helped in solving the hydrogeologic and hydraulic unknowns of system and the result has been modified conception about the first hydrogeologic zone over the area of Eastern Slavonia.

Hidrogeološka građa (Polazne osnove)

Pretpostavku o hidrogeološkoj građi prve hidrogeološke zone na području istočne Slavonije prije izrade matematičkog modela i zaključaka koji su iz njega proizašli, sažeto su izložili Miletić i dr. (1986). Na ovom mjestu izdvajamo litološko-hidrogeološke karakteristike drugog vodonosnog sloja.

Drugi vodonosni sloj »Vinkovci« prostire se na cijelom području Hrvatskog dijela Slavonsko-sremske depresije (sl. 1). Dubina zalijeganja i debljina mu variraju. Na jugu zaliježe ispod prvog vodonosnog sloja na dubini preko 80 m, a debljine je oko 30 m. U smjeru sjevera izdiže se na veću nadmorsku visinu, a ukupna debljina mu se postupno smanjuje, pa na Đakovačko-vinkovačkom ravnjaku iznosi ispod 10 m. Građen je od srednjozrnastog do sitnozrnastog pijeska s mjestimičnim prijelazom u krupnozrnaste ili prašinate pijeske, dok su pojave šljunka lokalnog karaktera. Unutar sloja česti su proslojci praha i gline. Podinu i krovinu vodonosnog sloja građe glinovito-prašinate slabopropusne do nepropusne naslage. Posebno treba spomenuti kontinentalni prapor koji se nalazi na površini Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka gdje mu debljina prelazi 10 m. Značajan je zbog svoje vertikalne propusnosti koja omogućava infiltraciju padalina.

Po tipu to je zatvoren do poluzatvoren vodonosni sloj, bez mogućnosti ili s minimalnom mogućnošću obnavljanja zaliha podzemnih voda vertikalnim procjeđivanjem. Takva mogućnost vjerojatno postoji na Đakovačko-vinkovačkom ravnjaku kroz praporne naslage, ali s obzirom na nepoznavanje sjeverne

granice prostiranja vodonosnog sloja o tom nisu doneseni nikakvi zaključci.

Zalihe podzemnih voda ovog sloja obnavljaju se iz prvog vodonosnog sloja »V. Kopanica« s kojim vodonosni sloj »Vinkovci« u južnom dijelu područja čini hidrauličku cjelinu. Mehanizam obnavljanja za sada nije riješen.

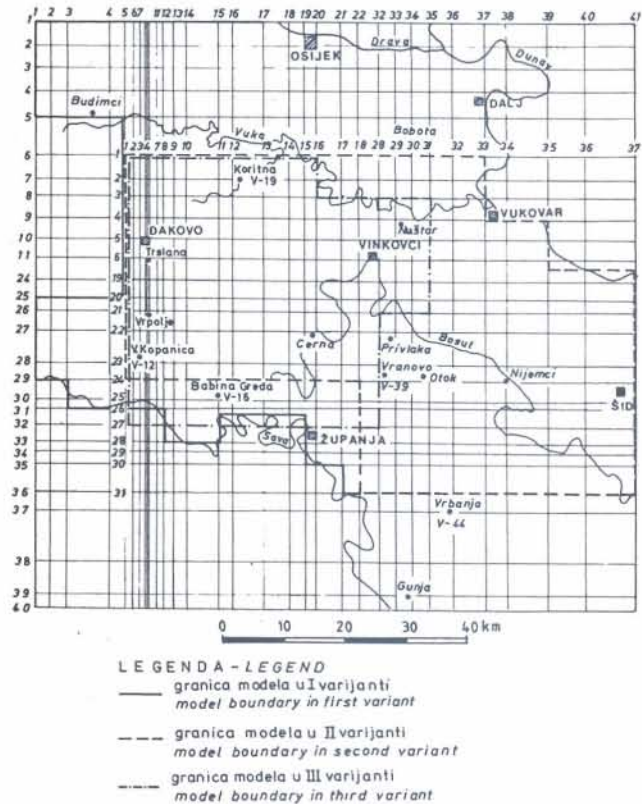
S takvim poznavanjem hidrogeoloških prilika ušlo se u proces kreiranja konceptualnog modela.

Hidrogeološki model (pretpostavke – provjere – rezultati)

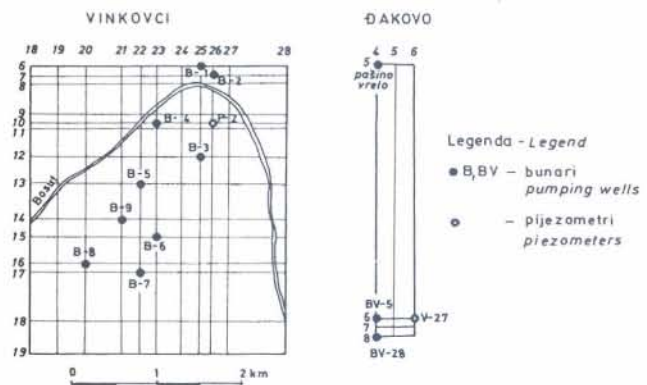
Kod definiranja ulaznih podataka za matematički model drugog vodonosnog sloja istočne Slavonije postojalo je nekoliko nepoznanica. Na temelju postojećih podataka nije ih bilo moguće jednoznačno riješiti. One su se, između ostalog, odnosile na prostorne, a dijelom i hidrauličke granice sustava, te na početni raspored potencijala. Hidrološka godina na koju je model testiran predstavljala je neko stanje koje je bilo posljedica prošlih hidroloških događaja i hidrotehničkih intervencija u sustavu. Rješavanje tih nepoznanica naročito je otežavalo nepoznavanje realne distribucije hidrogeoloških parametara kao i hidrauličke veze slojeva. Bilo je potrebno testirati mali broj točkastih podataka uz istovremeno konzultiranje podataka o općem geološkom stanju i razvoju sustava. Prva grupa nepoznanica rješavala se generiranjem mogućeg rasporeda potencijala uz pretpostavku hidrauličkog kontinuiteta sloja te na temelju mjerenih visokih i niskih voda u dva pijezometra iz sliva Vuke te vodostaja Save. Ustaljivanjem potencijala kroz 60 dana dobijeno je relativno prihvatljivo početno stanje. Na takvo početno stanje nametnut je stres crpljenjem u Vinkovcima i Dakovu, te sezonske promjene potencijala na granicama sustava. Pokazalo se da su promjene u sustavu pod utjecajem promjena potencijala na crpilištima. Da se isključi taj utjecaj produženo je vrijeme testiranja na dvije i tri godine, sukcesivnim ponavljanjem istih događaja u sustavu. Kada su isključeni utjecaji stresa pristupilo se »finijem« testiranju. Ukupno je testirano mnoštvo konceptualnih modela uz velik broj promjena raznih parametara i varijabli. U daljnjem tekstu prikazat ćemo tri karakteristične varijante konceptualnog modela uz odgovarajuće promjene parametara i postignute rezultate. Prostorne granice za tri varijante modela prikazane su na sl. 1.

Prva varijanta

U prvoj varijanti krenulo se od pretpostavke da je vodonosni sloj »Vinkovci« hidraulički povezan na cijelom području istočne Slavonije od Save do Drave, kako je to prikazano numeričkom shemom na sl. 1. Takva pretpostavka temelji se na korelacijama raspoloživih elektrokarotaznih dijagrama iz pojedinih bušotina u Savskoj i Dravskoj potolini, od kojih neke pokazuju da nema prostornog prekida vodonosnog sloja na prijelazu iz Savske u Dravsku potolinu. Međutim, prva su testiranja pokazala da se tako veliki prostor približno 4000 km² ne može sagledavati kao cjelina, jer raspoloživi hidrogeološki podaci, naročito za područje Dravske potoline, nisu dovoljni. Zbog toga ova varijanta nije detaljnije obradivana.



Sl. 1a) Mreža točaka i prostorne granice modela
Fig. 1a) Grid and space boundaries of models

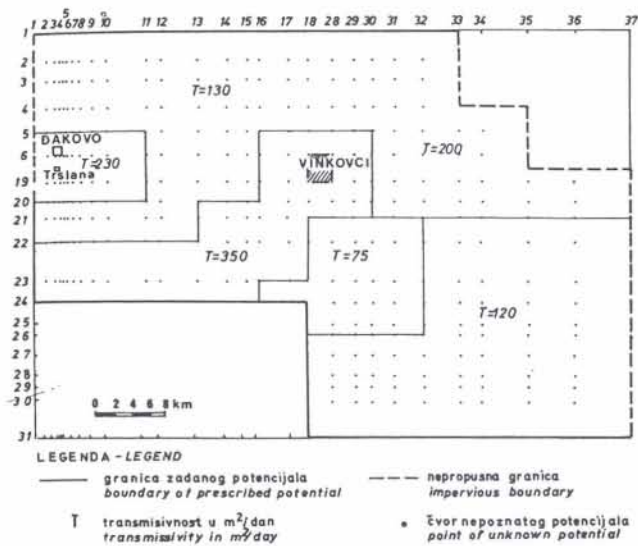


Sl. 1b) Položaji bunara i pijezometara u mreži II. i III. varijante
Fig. 1b) Locations of wells and piezometers in grid in II and III variant

Druga varijanta

U drugoj varijanti sjeverna granica sloja nalazi se na Dakovačko-vinkovačkom i na Vukovarskom ravnjaku (sl. 1). U tom području, ako i nema litološkog prekida vodonosnog sloja, postoji hidraulička razvodnica između Savske i Dravske potoline. To je u modelu simulirano granicom zadanog potencijala (sl. 2). Južna granica i južni dio zapadne granice je linija kontakta vodonosnih slojeva »Vinkovci« i »V. Kopaonica«.

Vodonosni sloj »Vinkovci« s »V. Kopaonica« čini hidrauličku cjelinu. Ova granica u modelu također je granica zadanog potencijala. Sjeverni dio zapadne granice i istočna granica definirane su u



Sl. 2 Granični uvjeti i raspodjela transmisivnosti u varijanti II
Fig. 2 Boundary conditions and distribution of transmissivity in variant II

modelu kao nepropusne u skladu s prirodnim isključivanjem vodonosnih slojeva Slavonko-sremske potoline. Za zadani potencijal na južnom dijelu zapadne granice i na južnoj granici korištene su mjerene vrijednosti razina podzemne vode u pijeziometrima V-12 u V. Kapanici, V-16 u Babinoj Gredi i V-44 u Vrbanji. Vrijednosti su usrednjene za potrebe matematičkog modela. Zbog nedostatka podataka kontinuiranog praćenja razina podzemne vode na području sjeverne granice vrijednosti zadanog potencijala određene su približno. Raspodjela transmisivnosti u numeričkoj shemi prikazana je na sl. 2. Vrijednosti su preuzete iz ranijih izvještaja i objavljenih radova (Miletić i dr, 1986). Koeficijent uskladištenja (S) isti je na cijelom promatranom području i iznosi $S = 0,0002$. Ukupna crpna količina za devet bunara na Vinkovačkom crpilištu iznosi $Q = 11.688 \text{ m}^3\text{dan}^{-1}$, a za četiri bunara na Đakovačkom crpilištu (Pašino vrelo + Trslana) iznosi $Q = 5.454 \text{ m}^3\text{dan}^{-1}$.

Za usporedbu simuliranih potencijala s mjerenim vrijednostima korišteni su nivogrami strukturno-pijeziometrijskih bušotina P-2 u Vinkovcima i V-27 u Đakovu. Njihov položaj u numeričkoj shemi prikazan je na sl. 1 b.

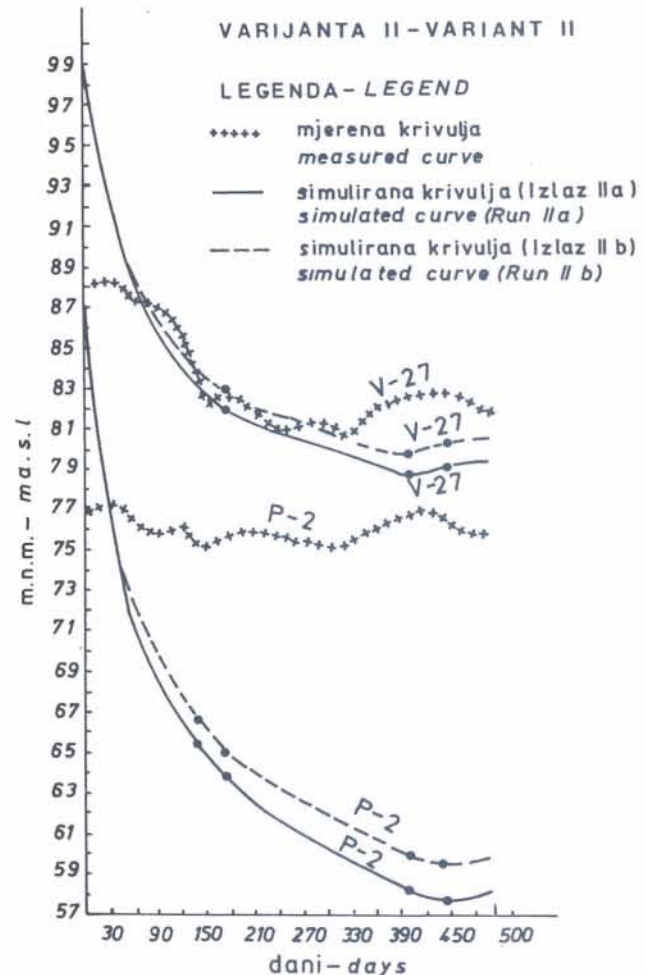
Za definiranje početnih i graničnih uvjeta odabrane su mjerene vrijednosti razina podzemnih voda u razdoblju od 15. ožujka 1986. do 15. ožujka 1987. Nakon toga se prvih 135 dana ovog ciklusa ponavlja, jer dužina simulacije iznosi 500 dana. Načinjene su dvije verzije:

Izlaz II a)

Pretpostavljen je zatvoren vodonosni sloj bez dotoka iz omeđujućih slabopropusnih naslaga.

Rezultati simulacije II a) pokazali su niže vrijednosti razina podzemne vode od mjerenih, naročito za pijeziometar P-2 (sl. 3) što je upućivalo na slijedeće:

- da realno postoji neki izvor prihranjivanja, ili
- da su simulirane crpne količine za Vinkovačko crpilište prevelike.



Sl. 3 Usporedba mjerenih i simuliranih razina vode u pijeziometrima

Fig. 3 Comparison of measured and simulated water levels in piezometers

Izlaz II b)

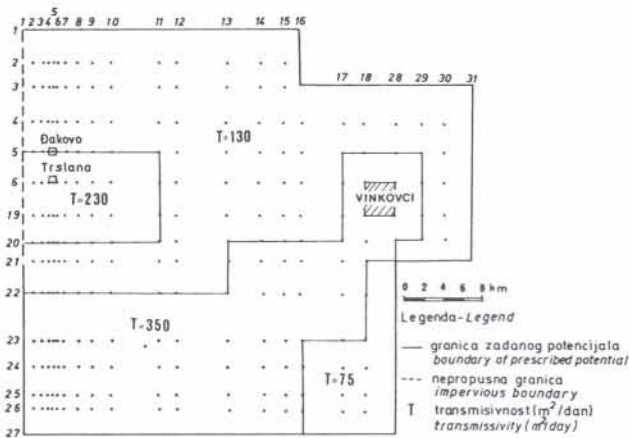
Pretpostavljen je zatvoren vodonosni sloj s vertikalnim dotokom i to:

- u sjevernom dijelu numeričke sheme (red 1 do 3, kolona 1 do 12 i red 3 do 6, kolona 12 do 18) koji geografski odgovara Đakovačko-vinkovačkom ravnjaku pretpostavlja se vertikalni dotok infiltracijom oborina veličine $Inf = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3\text{dan}^{-1}$ po m^2 . Infiltracija se uvodi u razdoblju porasta razina podzemnih voda.
- za cijelo promatrano područje uvodi se dotok vode iz pridruženih slabopropusnih krovinskih naslaga koji se događa zbog konsolidacije tih naslaga uzrokovane sezonskim padom tlaka u sloju za cca 2 m. Zbog toga se dotok uzrokovan konsolidacijom uvodi samo u razdoblju silaznog dijela krivulje razine podzemne vode. On iznosi $Kons = 2,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3\text{dan}^{-1}$ po m^2 . Podatak je preuzet iz objavljenog rada (Kovačić i dr. 1986).

Rezultati simulacije II b): simulirane razine podzemne vode u Đakovu (pijeziometar V-27) približnih su kota kao i mjerene, međutim razdoblja dizanja odnosno spuštanja razina nisu u vremenskom skladu (sl. 3). U Vinkovcima su pak simulirane razine i dalje znatno niže od mjerenih.

Nadalje, analiza karata ekvipotencijala obje verzije dala je sljedeće zaključke:

- 1) južna granica modela ne može biti linija kontakta vodonosnih slojeva »Vinkovci« i »V. Kapanica« na potezu V. Kapanica – Babina Greda na kojem su se za zadane vrijednosti potencijala učitavale vrijednosti razina vode mjerenih u pijezometrima iz prvog sloja. Puna je hidraulička veza vjerojatno južnije na liniji Save, pa se pritisak koji uzrokuje sezonsko kolebanje razine vode u vodonosnom sloju prenosi iz Save.
- 2) karte simuliranih razina podzemne vode pokazale su postojanje razvodnice u području Županjskog praga. To znači da obuhvaćeno područje nije jedinstven hidraulički sustav. To je bilo u skladu s podacima bušenja na području Rokovaca i Privilake koje je bilo izvedeno tokom izrade ovog modela. Podaci su pokazali da istočno od linije Gradište-Privilaka vodonosni sloj gubi hidraulički kontinuitet.



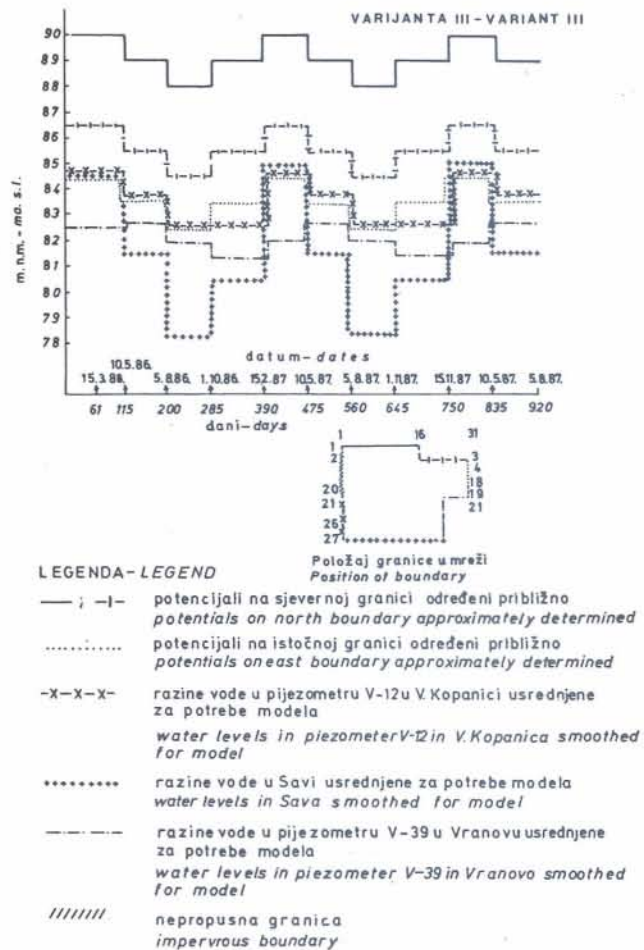
Sl. 4 Granični uvjeti i raspodjela transmisivnosti u III. varijanti
Fig. 4 Boundary conditions and distribution of transmissivity in variant III

To su s obzirom na granice prostiranja vodonosnog sloja bili razlozi za izradu nove varijante.

Treća varijanta

U trećoj se varijanti istočna granica sloja pomiče na liniju Županjskog praga, a južna granica na Savu (sl. 1). Sjeverna i južna granica ostaju granice zadanog potencijala, ali se na južnu granicu učitavaju vrijednosti razina vode u Savi usrednjene za potrebe matematičkog modela (sl. 5). Sjeverni dio zapadne granice je nepropustan, a južni dio je granica zadanog potencijala na koju se učitavaju usrednjene vrijednosti razina mjerenih u pijezometru V-12 u V. Kapanici. Vrijednosti potencijala na sjevernoj granici ostale su kao i ranije.

Istočna granica je u prvoj verziji ove varijante (verzija III a) bila granica zadanog potencijala, a u kasnijim verzijama nepropusna. U verziji IIIa za definiranje potencijala u južnom dijelu te granice korištene su vrijednosti mjerenih razina u pijezometru V-39 u Vranovu, a vrijednosti za sjeverni dio određene su približno (sl. 5).



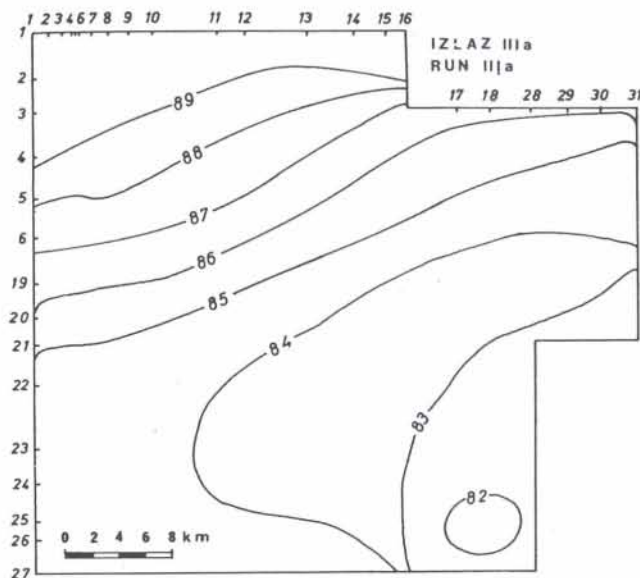
Sl. 5 Promjena potencijala na granicama u vremenu
Fig. 5 Change of potential on boundaries in time

Za definiranje početnih i graničnih uvjeta korištene su vrijednosti mjerenih razina u razdoblju od 15. ožujka 1986. do 15. ožujka 1987. godine, nakon čega se taj isti ciklus vrijednosti ponavljao jednom, dvaput ili triput, ovisno o dužini simulacije. Granični uvjeti prikazani su na sl. 4, a promjena potencijala na granicama na sl. 5.

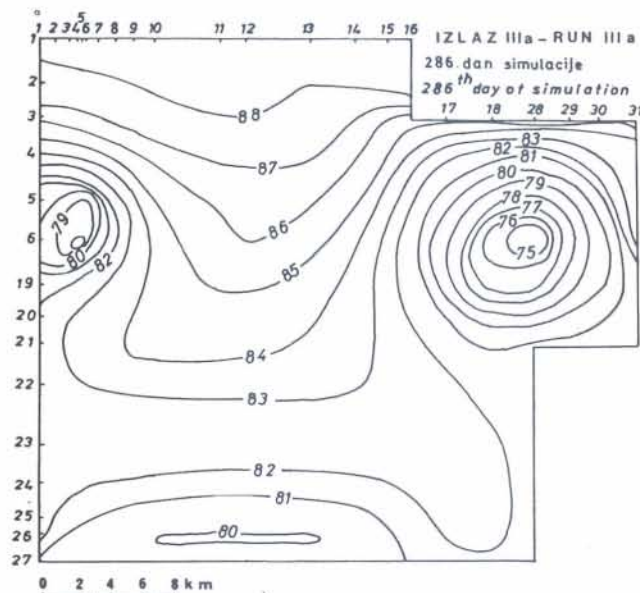
Raspodjela transmisivnosti prikazana je na sl. 4. Koefficient uskladištenja jednak je na cijelom području i iznosi $S = 0.0002$. S tako definiranim ulaznim podacima načinjeno je nekoliko verzija.

Izlaz III a)

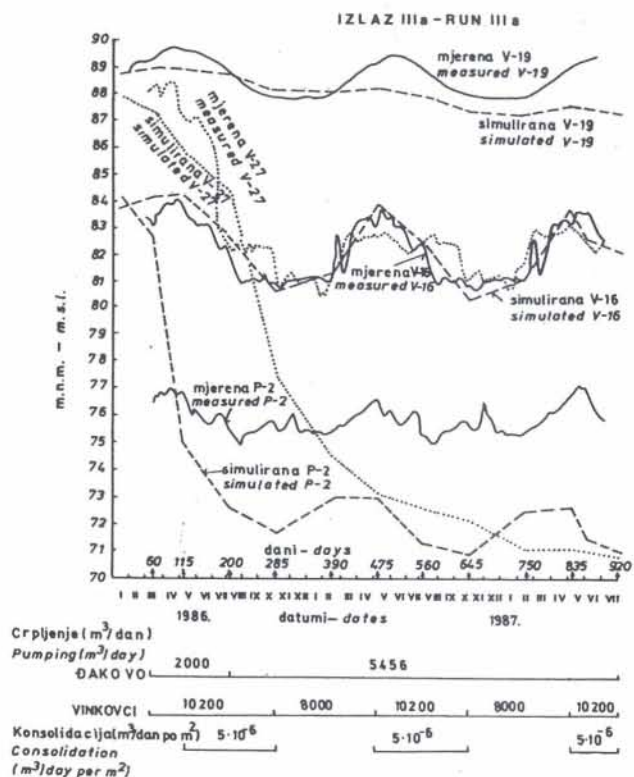
Istočna granica je granica zadanog potencijala. Njezine vrijednosti prikazane su na sl. 5. Pretpostavljen je zatvoreni vodonosni sloj s dotokom iz omeđujućih slabo propusnih naslaga uslijed njihove konsolidacije. Veličina dotoka je $Kons = 0.000005 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1} \text{ po m}^2$. Konsolidacija se uvodi na cijelom promatranom području i to u razdoblju silaznog dijela krivulje razine podzemne vode. S obzirom da su rezultati druge varijante pokazali prevelika simulirana sniženja na Vinkovačkom crpilištu crpne količine su provjerene u Vinkovačkom vodovodu i u skladu s dobivenim podacima korigirane. Raspodjela crpljenja je sljedeća: u periodu od mjeseca svibnja do studenog ukupna količina crpljenja pomoću 7 bunara na Vinkovačkom crpilištu je



Sl. 6 Raspodjela početnog potencijala u simulaciji: Izlaz III a
Fig. 6 Distribution of initial potential in simulation: Run III a

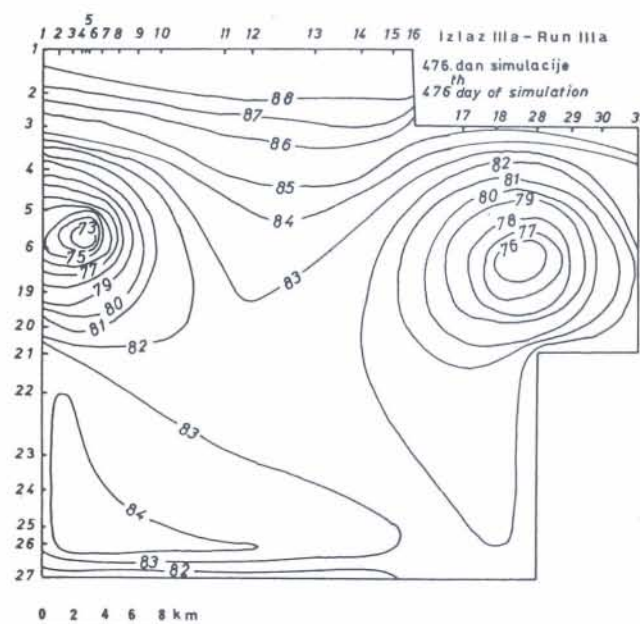


Sl. 8 Rezultat simulacije: karta ekvipotencijala niskih voda
Fig. 8 Result of simulation: potentiometric map of low water



Sl. 7 Usporedba mjerenih i simuliranih razina vode u pijezometrima
Fig. 7 Comparison of measured and simulated water levels in piezometers

$Q = 10.200 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$, a u zimskom periodu (od studenog do svibnja) $Q = 8.000 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$. Crpne količine na Đakovačkom crpilištu ostaju nepromijenjene, znači u Pašinom vrelu $Q = 2.000 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$, a u Trslani $Q = 3456 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$ (sl. 7). Dužina trajanja simulacije je 920 dana. Crpljenje u svim bunarima uključuje se 60. dan.

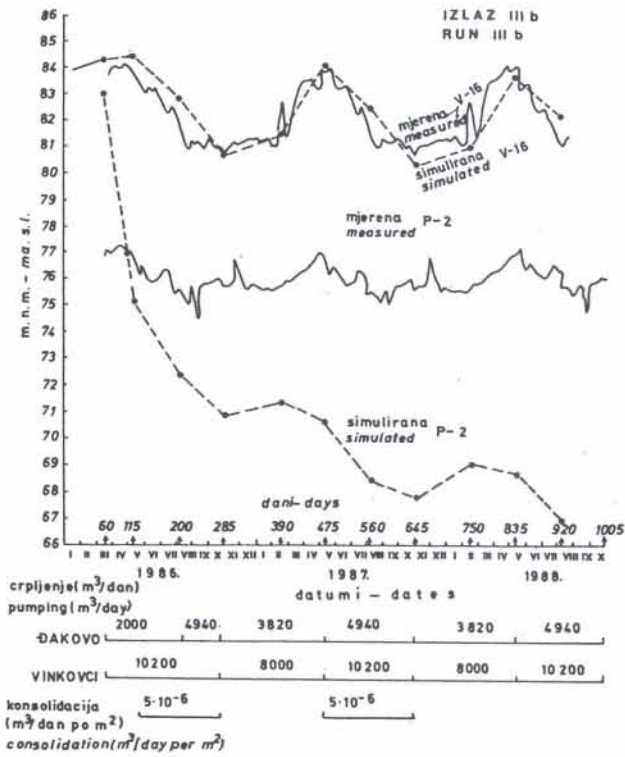


Sl. 9 Rezultat simulacije: karta ekvipotencijala visokih voda
Fig. 9 Result of simulation: potentiometric map of high water

Rezultati simulacije III a) prikazani su na sl. 6, 7, 8 i 9. Dobro podudaranje simuliranih i mjerenih razina pokazuje samo pijezometar V-16 u Babinoj Gredi. Pijezometri P-2 na Vinkovačkom crpilištu i V-27 na Đakovačkom crpilištu pokazuju prevelika sniženja, dok pijezometar V-19 u Koritni ima pre-male sezonske oscilacije.

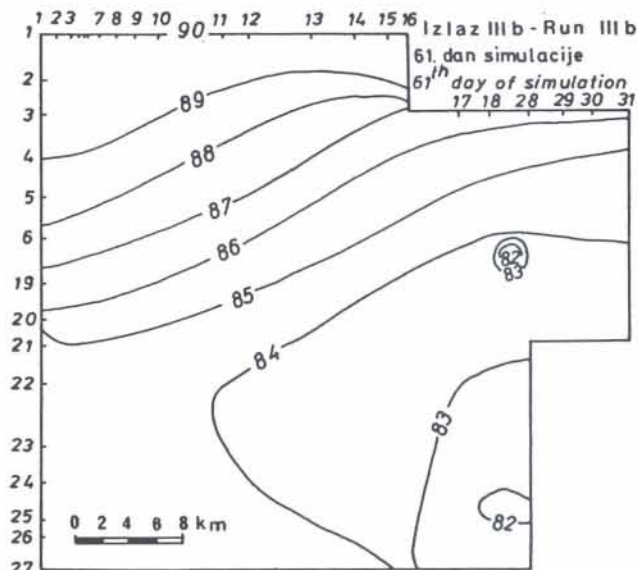
Izlaz III b)

Istočna granica je nepropusna. Crpljenje u Đakovu se korigira analogno utvrđenim promjenama u Vinkovcima tj. u zimskom periodu crpi se ukupno (Pašino vrelo + Trslana) $Q = 3820 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$, a u ljeti $Q = 4940 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$ (sl. 10). Ostali uvjeti ostaju isti.



Sl. 10 Usporedba mjerenih i simuliranih razina vode u pijeziometrima

Fig. 10 Comparison of measured and simulated water levels in piezometers



Sl. 11 Rezultat simulacije: karta ekvipotencijala
Fig. 11 Result of simulation: potentiometric map

Vrijeme promatranja je 1005 dana. Raspodjela početnog potencijala prije početka crpljenja prikazana je na sl. 11, a sniženje u vremenu za odabrane pijeziometre na sl. 10.

Rezultat simulacije III b) pokazuje izuzetno velika sniženja u odnosu na mjerena u pijeziometru P-2 na vinkovačkom crpilištu. Rezultat za V-16 u Babinoj Gredi je dobar.

Izlaz III c)

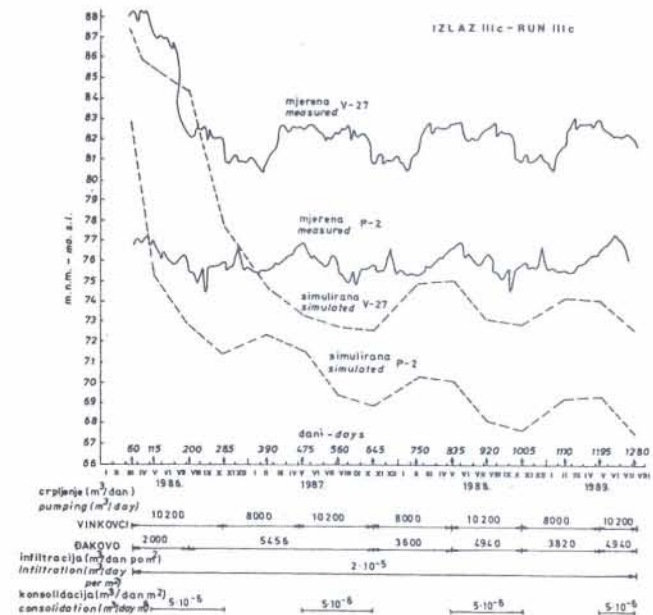
Na području sjeverno od Vinkovačkog crpilišta (red 3 do 5, kolona 16 do 31) uvodi se infiltracija

veličine $Inf = 2 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1} \text{ po m}^2$, konstantna u vremenu. Raspored crpljenja prikazan je na sl. 12. Vrijeme promatranja produžuje se na 1280 dana. Ostali uvjeti ostaju nepromijenjeni.

Rezultat simulacije III c) pokazuje još uvijek prevelika sniženja za pijeziometre P-2 i V-27 u odnosu na izmjerena (sl. 12).

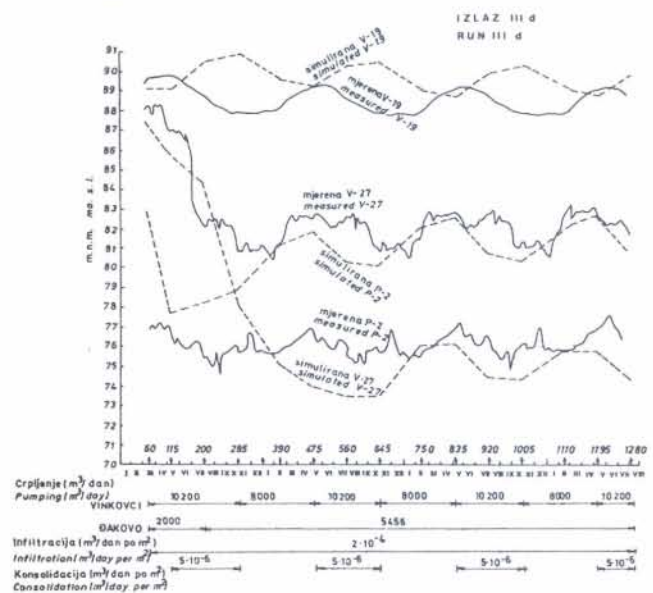
Izlaz III d)

Na području sjeverno od Vinkovaca (red 3 do 5, kolona 16 do 31) uvodi se infiltracija veličine $Inf = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1} \text{ po m}^2$, što iznosi cca 10% godišnjih padalina na ovom području. Infiltracija je konstantna u vremenu. Raspodjela crpljenja prikazana je na sl. 13.



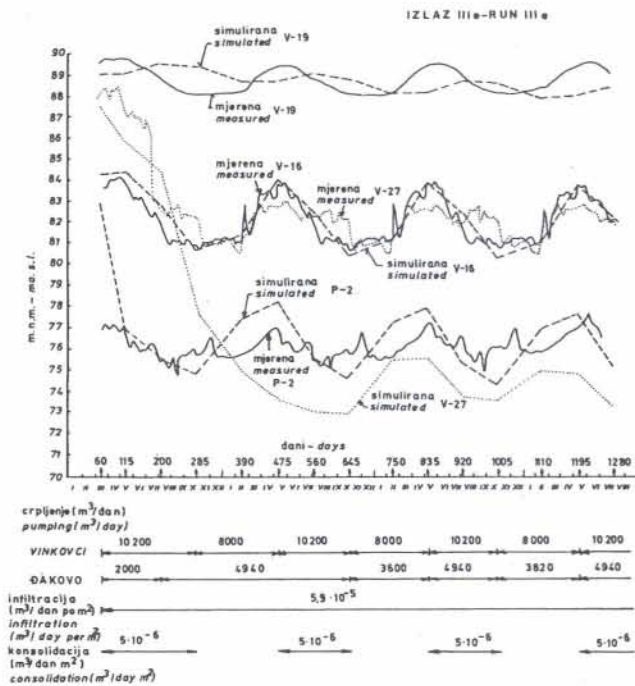
Sl. 12 Usporedba mjerenih i simuliranih razina vode u pijeziometrima

Fig. 12 Comparison of measured and simulated water levels in piezometers



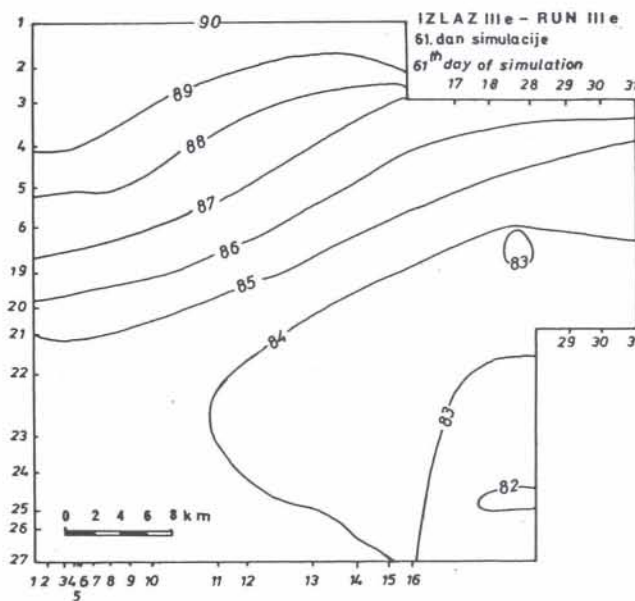
Sl. 13 Usporedba mjerenih i simuliranih razina vode u pijeziometrima

Fig. 13 Comparison of measured and simulated water levels in piezometers



Sl. 14 Usporedba mjenjenih i simuliranih razina vode u pijezoimetrima

Fig. 14 Comparison of measured and simulated water levels in piezometers



Sl. 15 Rezultat simulacije: karta ekvipotencijala

Fig. 15 Result of simulation: potentiometric map

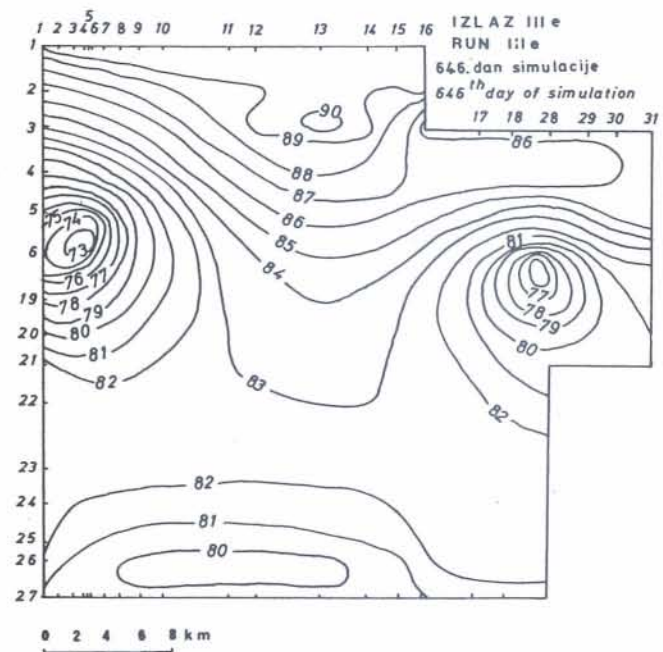
Rezultat simulacije III d) (sl. 13) pokazuje značajan utjecaj infiltracije na razinu podzemne vode u Vinkovcima, tako da su simulirana sniženja u pijezoimetru P-2 znatno viša od mjenjenih. Simulirana sniženja u Đakovu ostaju znatno niža od mjenjenih, dok u Koritni (V-19) kolebanja simulirane i mjenjene razine pokazuju vremenski nesklad.

Izlaz III e)

Na području sjeverno od Vinkovaca (red 3 do 5, kolona 16 do 31) uvodi se infiltracija veličine $Inf = 0,000059 \text{ m}^3\text{dan}^{-1} \text{ po m}^2$, što iznosi cca 3%

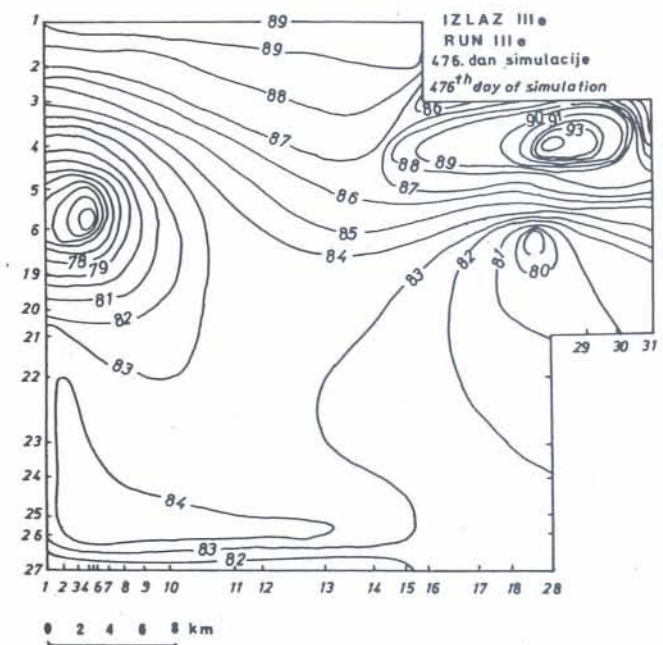
godišnjih padalina. Raspodjela crpljenja prikazana je na sl. 14.

Rezultati simulacije III e) prikazani su na sl. 14, 15, 16 i 17. S tako definiranim uvjetima postignuto je dobro podudaranje simuliranih i mjenjenih razina u pijezoimetrima P-2 u Vinkovcima, V-16 u Babinoj Gredi i V-19 u Koritni. Simulirane razine u Đakovu su preniske u odnosu na mjenjene. Poboljšanje rezultata moguće je postići korekcijom crpljenja ili korekcijom potencijala na granici sjeverno od Đakova ili uvođenjem infiltracije sjeverno od Đakova. S obzirom da raspoloživi podaci nisu dovoljni da se utvrdi što je od navedenog realno, zaključilo se da pitanje Đakovačkog prostora treba rješavati naknadno.



Sl. 16 Rezultat simulacije: karta ekvipotencijala

Fig. 16 Result of simulation: potentiometric map



Sl. 17 Rezultat simulacije: karta ekvipotencijala

Fig. 17 Result of simulation: potentiometric map

Diskusija

U procesu testiranja ovog modela jasno se razabiru dvije faze rada. U prvoj fazi bilo je potrebno izabrati i testirati prostorne granice sistema i osnovne hidrauličke zakonitosti. U drugoj fazi testirani su elementi bilance i prenošenje deformacija uzrokovanih aktivnostima u sustavu.

Prostorne granice sustava testirane su kroz tri varijante simulacija. Prva varijanta obuhvatila je relativno širok prostor istočne Slavonije. Rezultati testiranja bili su manjkavi prvenstveno zbog pomanjkanja adekvatnih ulaznih podataka za područje sjeverno od Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka. Zbog poteškoća oko pribavljanja potrebnih podataka, granica modela je pomaknuta znatno južnije, a eventualni utjecaji sa sjevera simulirani su granicom poznatog potencijala mjerelog na dva pijezometra u slivu Vuke za odgovarajuću hidrološku godinu.

Druga varijanta konceptualnog modela ukazivala je na hidrauličku granicu između istočnog i zapadnog dijela sloja na području Županijskog strukturnog praga. S obzirom da su takav rezultat potvrdile i istraživačke bušotine, izvedene u toku izrade modela, istočni dio sloja isključen je iz sustava.

Treća varijanta modela obuhvatila je prostor koji je na zapadu ograničen pretpostavljenim isklinjavanjem prve hidrogeološke zone, na jugu linijom Save, na istoku Županijskim strukturnim pragom, a na sjeveru približnom sjevernom granicom prostiranja kontinentalnog prapora. Hidrauličke granice pretpostavljene su u raznim verzijama testiranja različito, a u prethodnom poglavlju osnovne verzije opisane su detaljnije.

Temeljeno na zaključcima ranijih regionalnih i lokalnih rezultata istraživačkih radova ispitana je pretpostavka hidrauličkog kontinuiteta sloja. Ustanovljeno je da i unutar granice treće varijante valja lučiti četiri djelomično samostalne hidrauličke cjeline. To su: područje uz Savu koje je prostorno (po dubini) slabo definirano, podzemni sliv područja Đakova, područje podzemnog sliva Vinkovaca i područje kontinentalnog prapora Đakovačko-vinkovačkog i Vukovarskog ravnjaka. U hidrauličkom pogledu analiziran je utjecaj Save, utjecaj konsolidacije, utjecaj procjeđivanja i utjecaj crpljenja. Ovdje valja naglasiti da je testiranje bilo otežano diskontinuiranim i slabo poznatim crpljenjem na crpilištima Đakovo i Vinkovci u čijoj su blizini izabrani reporni pijezometri. Rad crpilišta utjecao je na prigušivanje ili potenciranje manifestacija vanjskih utjecaja. Osim toga pojedini bunari na oba crpilišta crpe vodu iz više slojeva, a ne samo testiranog.

Utjecaj Save izrazit je u području uz Savu, približno na prostoru koji pokriva prvi vodonosni sloj. Za slivno područje Đakova taj utjecaj nije zapažen, dok se u području Vinkovaca utjecaj Save registrira, ali je znatno prigušen. Na temelju izloženoga zaključujemo, da u području Save postoji dobra hidraulička veza unutar prve hidrogeološke zone. Zatim, da je hidraulički kontinuitet drugog vodonosnog sloja prema Đakovu prekinut, a prema Vinkovcima oslabljen slabije propusnim dijelovima sloja.

Utjecaj konsolidacije uočljiv je na čitavom području, ali s količinom izračunatom na temelju labo-

ratorijskih pokusa nema naglašen utjecaj na izgled nivograma. Što se tiče infiltracije oborinskih voda, njihov zapažen utjecaj izostaje u centralnom području modela, no infiltracija se sigurno odvija po ravnjaku pokrivenom kontinentalnim praporom i s te površine njen je utjecaj značajan. Crpljenje, naravno, ima dominantan utjecaj na izgled nivograma na čitavom području, pa je provjerom količina i ritma crpljenja na crpilištu Vinkovci ustanovljeno, da su realne količine crpljenja na njemu bile još uvijek u granicama mogućeg obnavljanja rezervi podzemnih voda (odnosi se na testirano razdoblje). Za crpilište u Đakovu takva korekcija, s obzirom na stanje podataka, u ovoj fazi nije bila moguća. Testirana raspodjela hidrogeoloških parametara temeljena je na interpretaciji podataka postojećih bunara i općeg geološkog poznavanja područja. Hidraulička granica modela istočno od crpilišta Đakovo dosadašnjim istraživanjima nije dovoljno poznata. Isto se odnosi i na sjevernu hidrauličku granicu. Velika je vjerojatnost da je sistem u tom području hidraulički spojen s određenim, još nepoznatim dijelom dravskog sliva. To naročito vrijedi za granicu sjeverno od crpilišta Vinkovci.

Zaključci

Praktične zaključke postignute simulacijama možemo svesti na slijedeće:

Na području istočne Slavonije unutar prve hidrogeološke zone postoji vrlo jaka hidraulička veza u području Save. Sjeverno od Save dolazi do parcijalnog slabljenja i/ili prekida takve veze uzrokovanog nehomogenošću vodonosnih slojeva. To slabljenje veza može ići do te mjere da se pojedini dijelovi hidrogeološke zone mogu tretirati kao samostalni slivovi (područje podzemnog sliva Đakova). U pojedinim dijelovima sjeverne granice postoji jasna hidraulička veza između Savskog i Dravskog dijela prve hidrogeološke zone (područje sjeverno od Vinkovaca). Hidraulička veza istočnog i zapadnog dijela iste zone u savskom dijelu sliva na području Županijske strukturne grede vrlo je slaba ili prekinuta. U područjima pokrivenim kontinentalnim praporom postoji infiltracija padalina koje utječu na rezerve najbližeg vodonosnog sloja. Pojedinačni fenomeni simulirani ovim modelom (utjecaj konsolidacije) još nisu poznati u mjeri koja bi omogućila njihovo stručno opravdano kvantificiranje. Njih valja dalje istraživati.

Prezentirani model je primjer kako modeliranje u hidrogeologiji može biti vrlo korisno u rješavanju hidrogeoloških prilika u sustavu i nepoznanica u njemu uz uvjet, da se modeliranje provodi postupnim mijenjanjem i testiranjem pojedinih pretpostavki bez forsiranja i pokušaja dokazivanja i jedne od njih.

Ovaj je rad obavljen na zahtjev Vinkovačkog vodovoda, a objavljen uz pomoć Ministarstva za znanost (ug. br. 2-04-133).

Zahvaljujemo se gospodi dr. J. Velić i gospodi dipl. inženjerima R. Königu, B. Galiću i A. Caparu na korisnim dopunskim podacima i savjetima.

Primljeno: 15. I. 1993.

Prihvaćeno: 27. V. 1993.

LITERATURA

- Baski, H. A. (1979): Ground water computer models – intellectual toys. *Ground water Journal*, 2, 177–179
- Darr, R. E. (1979): Groundwater computer models – practical tools. *Ground water Journal*, 2, 174–176
- Heinrich-Miletić, M. i Miletić, P. (1986): Teoretska osnova istraživanja, procjene i gospodarenja rezervama podzemnih voda. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 378 pp., Zagreb
- Kovačić, D., Bačani, A., Miletić, P. i Mayer, D. (1986): Utjecaj geomehaničkih značajki slabopropusnih naslaga na prihranjivanje vodonosnih slojeva. Zbornik radova 2. JKOV-a, 430–438, Ljubljana
- Miletić, P. i Heinrich-Miletić, M. (1981): Uvod u kvantitativnu hidrogeologiju. Rudarsko-geološko-naftni fakultet i NIŠRO Varaždin, 220 pp., Zagreb
- Miletić, P. i Heinrich-Miletić, M. (1985): Metodološki pristup istraživanju i gospodarenju rezervama podzemnih voda. Jugosl. komitet svjetskih kongresa za naftu, časopis *Nafta*, 92, Zagreb
- Miletić, P., Bačani, A., Mayer, D. i Capar, A. (1986): Prilog poznavanju hidrogeoloških značajki prve hidrogeološke zone na području istočne Slavonije. *Geol. vjesnik*, 39, 151–164, Zagreb
- Miletić, P., Heinrich-Miletić, M., Bačani, A., Bačani, Z. i Grgić, S. (1989): Matematički model II vodonosnog sloja, Istočna Slavonija, Studija, 65 pp., Arhiva Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Zagreb
- Prickett, T. A. (1979): Ground-water computer models – state of the art. *Ground water Journal*, 2, 167–173

Conceptual Hydrogeological Model for the Hydrogeological System of Eastern Slavonia

P. Miletić, M. Heinrich-Miletić and A. Bačani

Defining an appropriate conceptual model for a hydrogeologic system is the most important part in the process of devising any mathematical hydrogeologic model. The mathematical model must be a means to test the validity of a particular supposition and not a means to prove the supposition. This study presents the procedure determining a conceptual model for the second aquifer in the region of Eastern Slavonia.

Before the mathematical model was made the supposition about hydrogeologic characteristics of the second aquifer was the following: The second aquifer called »Vinkovci« extends across the whole area of Slavonia-Srem depression. In the south it lies at a depth of over the 80 m, under the first aquifer. Northward it rises up to the average depth of 40 m and its thickness is about 30 m. This is a sandy, confined or semiconfined aquifer with lower permeable overlying and underlying layers. The possibility of replenishment through vertical leakage is minimal or not existent. Such a possibility probably exists only on the Dakovo-Vinkovci plateau through continental loess. The recharge of ground water occurs from the first aquifer »V. Kapanica« with which the aquifer »Vinkovci« is hydraulically connected in the south. The mechanism of recharge has not been explained so far. Our proposal for the conceptual model was based on such knowledge about this hydrogeological system.

The work was conducted in two stages. In the first stage it was necessary to choose and test space boundaries of the system and fundamental hydraulic laws. Elements of balance and transmission of deformations caused by the activity in the system were tested in the second stage. Space boundaries of the system were tested by three variants of simulations (Fig. 1). The first variant was used to test the whole region of Eastern Slavonia, between the Sava river and the Drava river. The results of simulations showed that some important suppositions were based on too small a number of data and consequently they were not valid. Although we could prove them by correcting input data, we gave up this possibility and started with successive modifications and testing of other possible suppositions. The northern boundary was moved southward, to the Dakovo-Vinkovci and Vukovar plateaus.

The results of the second variant showed the hydraulic boundary between eastern and western parts of the aquifer in the area of Županja structural high. In the meantime, the drilling was performed in that area and the data of drilling confirmed the result of simulations. Therefore, the eastern part of the aquifer was eliminated. Furthermore, the results of the second variant also showed that the southern boundary could not be the line of presumed contact of the first and the second aquifers. Their full hydraulic connection is probably southward, on the

line of the Sava river. Those were the reasons why the third variant was devised. In the third variant the boundaries of the model are as follows: The western boundary corresponds to the natural wedging of the first hydraulic zone in this area, the southern boundary is the Sava river, the eastern boundary is Županja structural high and the northern boundary is the boundary of continental loess spreading.

Based on earlier suppositions, hydraulic continuity of the aquifer was tested. The results of simulations have shown that, even inside the boundaries of the third variant, there exist four, in some measure independent, hydraulic entities. These are the area close to the Sava river, the underground catchment area of Dakovo, the underground catchment area of Vinkovci and the area of continental loess spread over the Dakovo-Vinkovci plateau. In hydraulic terms, the influence of the Sava river, of consolidation, of leakage and pumping were tested. The results of simulations have shown that the influence of the Sava river is strong in the area near the Sava river. The Sava does not influence the underground catchment area of Dakovo and it has little influence on the underground catchment area of Vinkovci. The influence of consolidation exists over the whole area but it is slight when calculated with the values determined in laboratory.

The influence of leakage is significant only in the area of continental loess spreading.

The influence of pumping is, of course, dominant. The simulations have shown that the pumping rate in the water well area of Vinkovci corresponds to the quantity of replenishment (at the time of testing). The values of the hydrogeologic parameters and their distribution over the model were based on the results of interpretations of pumping test data.

Practical conclusions reached with the proposed model are the following: In the area of Eastern Slavonia, which belongs to the Sava catchment area, inside the first hydrogeologic zone, very strong hydraulic communication exists in the area close to the Sava river. That communication diminishes toward the north because of inhomogeneity of aquifers. It can be reduced so strongly that particular parts of hydrogeologic zone can be considered as independent entities (e. g. the underground catchment area of Dakovo). In some parts of the northern boundary, e. g. northward from Vinkovci, hydraulic communication exists between the first hydrogeological zones of the Sava and the Drava depressions. Hydraulic continuity of the first hydrogeological zone in the Sava depression is practically interrupted in the area of Županja structural high. The infiltration of precipitation has a considerable impact on groundwater resources only in the area of continental loess.