

ANALIZA PROBLEMATIKE SIMULACIJE HIDRAULIČKOG UTICAJA VODOTOKA KOD HIDRODINAMIČKIH PRORAČUNA

Đulija BORELI – ZDRAVKOVIĆ
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

REZIME

Najznačajnija istraživanja iz domena korišćenja i zaštite od podzemnih voda vezana su za takozvanu kontaktnu zonu vodnih tela površinske i podzemne vode. Iz tog razloga pravilan pristup kod simulacije hidrauličke uloge reke u sistemu vodorazmene reka-akvifer, predstavlja posebno značajan i delikatan detalj. Rad daje analizu mogućih zamki i grešaka koje se javljaju kod zadavanja ovog graničnog uslova. Na ilustrativan način, a na osnovu dugogodišnjeg iskustva autora, daju se odgovori na dileme koje se otvaraju kod simulacije ovog graničnog uslova, odnosno kod prenošenja realnih uslova iz prirode u uprošćene hidrodinamičke modele izdani. Rad sadrži kratke teorijske osnove, izradu konceptijskog modela- primera za kvantifikaciju uticaja vertikalne diskretizacije, zaključke i preporuke. Razmatrana tematika ima poseban značaj kada se modeli koriste kao podloga za definisanje drenažnih-zaštitnih sistema ili sistema vodosnabdevanja oslonjenih na rešenja obalske filtracije.

Ključne reči: podzemne vode, kontakt reke i izdani, modflow

UVOD

Podzemne vode iz aluvijalnih sredina predstavljaju najznačajniji resurs korišćenja voda u vodosnabdevanju u Srbiji [1]. Prioritet korišćenja podzemnih voda, u uslovima kada se raspolaže kvalitetnim izvorštima, definiše se kao strateško opredeljenje i u Prostornom planu Srbije [8]. Takva strateška opredeljenja su nametnula potrebu ozbiljnih istraživanja raznih aspekata izvorišta podzemnih voda. Jednu klasu istraživanja čine istraživanja hidrogeoloških parametara i njihovog uticaja na kapacitete zahvata raznih tipova [7], [9], kao i uslova zaštite [10], [11].

U ovom radu se razmatra slučaj drenažnih-zaštitnih sistema ili sistema vodosnabdevanja oslonjenih na rešenja obalske filtracije. Kod ovih rešenja pravilan pristup kod simulacije hidrauličke uloge reke u sistemu vodorazmene reka-akvifer, predstavlja posebno značajan i delikatan detalj.

TEORIJSKE OSNOVE

Kontakt reke i izdani

U uslovima postojanja površinskog toka u priobalnoj zoni se javlja razmena vode između reke i izdani. Uobičajeno se smatra da se kod prirodnih režima u vodotoku (bez izgradnje brana i pregrada za uspor vode) i bez zahvatanja podzemne vode drenažnim objektima na obali, javlja razmena vode u oba smera. To znači da se tokom malovođa reka hrani podzemnom vodom, dok se u periodu visokih vodostaja prihranjivanje izdani vrši na račun infiltrirane vode iz reke. Takođe se smatra da promena smera razmene vode tokom godine, uslovljava prirodno održavanje hidrauličkih karakteristika kontakta reke i izdani na kvazi ustanjenom nivou.

Usled strujanja vode opterećene suspendovanim nanosom kroz peskovite sedimente u kojima je rečno dno usečeno, dolazi do formiranja slojeva različite debljine- najčešće u vidu skrame ili santimetarske debljine. Ovi slojevi u velikoj meri otežavaju infiltraciju, odnosno strujanje podzemne vode koja u zoni vodotoka može imati veoma izraženu vertikalnu komponentu brzine toka.

Metode analize hidrauličke uloge reke

Metode analize hidrauličkog kontakta reke i izdani, kao i većina drugih problema doživljavale su evoluciju tokom vremena. Tako su kao napredne tehnike i na našim prostorima sredinom prošlog veka, koristila metoda električne analogije, ili pak metoda hidrauličkog otpora (metode hidrauličkih otpora uskog i širokog

kanala delimično usečenih u vodonosne slojeve) [2]. Danas se međutim gotovo isključivo koriste metode matematičkog modeliranja, primenom numeričkih metoda rešavanja parcijalnih diferencijalnih jednačina kojima se procesi strujanja podzemne vode opisuju.

Simulacija u softveru MODFLOW

Izradi hidrodinamičkog modela prethodi izrada konceptualnog i hidrogeološkog modela. HG model definiše HG slojeve (njihovu geometriju, filtracione karakteristike, poroznost i dr. osobine ako se razmatra i transport zagađujućih materija). HG slojevi se u postupku izrade hidrodinamičkog modela transformišu u hidrodinamičke (HD) slojeve – „layers“.

Uticaj površinskog vodotoka kod hidrodinamičkog modeliranja upotrebom softvera MODFLOW opisuje se opcijom reka- „river“ [3]. Granični uslov „reka“ pripada graničnom uslovu treće vrste (uslov Cauchy-a), u kojem je veličina infiltracije, tj. proticaja, funkcija sračunatog pijezometarskog nivoa u polju. Ovaj granični uslov zadaje se u poljima koja odgovaraju položaju vodotoka u horizontalnoj ravni.

Hidraulička uloga simulirana graničnim uslovom "reka" podrazumeva da se hidraulička veza površinske vode i izdani ostvaruje preko slabopropusnog sloja u dnu. Ovaj sloj može biti rezultat prirodnih otpora vertikalnom strujanju kao posledica prirodne uslojenosti [4], taloženja finoznog nanosa na rečnom dnu, biološkog obrastanja i sl.. Veličina koja opisuje „kvalitet“ hidrauličkog kontakta je hidraulička provodnost (proticaj po jedinici gubitka pijezometarskog pritiska) ili faktor procurivanja (proticaj za jediničnu depresiju i jediničnu površinu). Prihranjivanje ili dreniranje izdani usled postojanja reke računa se preko jednačine:

$$Q = C \times (h_{reke} - h) \quad (1)$$

gde je:

Q - proticaj između reke i izdani- vertikalna komponenta bilansa, (L^3T^{-1})

$C = \frac{K}{d} \omega$ - hidraulička provodnost rečnog dna, (L^2T^{-1}),

h_{reke} - vodostaj reke u posmatranom polju modela, (L),

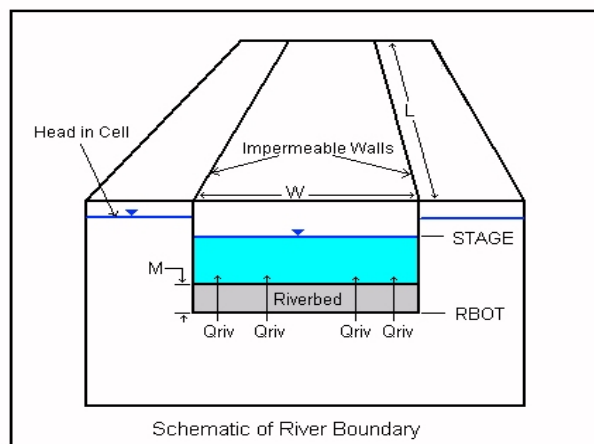
h - sračunati pijezometarski nivo u polju u kom je zadata reka, (L), ili u posebnom slučaju kada je $h < h_{dna}$, $h = h_{dna}$,

K - ekvivalentni koeficijent filtracije naslaga rečnog dna u vertikalnom pravcu, (LT^{-1}),

d - ekvivalentna debljina naslaga rečnog dna, (L),

ω - površina rečnog dna u polju sa rekom, proizvod širine i dužine reke u okviru polja modela (L^2).

Smer kretanja vode između reke i izdani zavisi od hipsometrijskog odnosa nivoa podzemnih voda i nivoa u reci. Ukoliko je nivo u reci viši od (pijezometarskog) nivoa podzemnih voda, reka "hrani" izdani, tj. smer tečenja vode je iz reke u izdani. U suprotnom, reka drenira izdani, tj. smer tečenja vode je iz izdani u rečno korito. Šematski prikaz graničnog uslova „reka“ dat je na slici 1.



Slika 1. Šematski prikaz graničnog uslova reka

ZAMKE HIDRAULIČKIH MODELA

Gore prikazane teorijske osnove koje se mogu naći u uputstvu softvera, ne daju odgovore na sledeća važna pitanja:

- Gde zadati reku ako se nivo vode i kota dna ne nalaze u istom HD sloju modela.
- Da li se uticaj reke prenosi samo u vertikalnom smeru, preko razmene sa poljem (slojem) ispod (saglasno jednačini 1), odnosno kako je rešen uticaj polja sa rekom u horizontalnoj ravni- u okviru sloja?;
- Šta se dešava sa poljima iznad reke?;
- Na koji način se uzimaju u obzir karakteristike sloja u kom je zadata reka?

Sve ove odgovore potrebno je znati da bi se na pravilan način izvršilo zadavanje ovog graničnog uslova, omogućilo brže etaloniranje modela i konačno, a što je i najvažnije, obezbedio model kojim će se u prognoznim proračunima dobiti pouzdaniji rezultati.

Vredno je napomenuti da se potreba za detaljnijom diskretizacijom u zoni reke, u cilju što preciznijeg zadavanje geometrije vodotoka, uspešno rešava. Ranije je to rađeno progušćenjem mreže u x i y pravcu (po svim redovima i kolonama modela). U savremenim opcijama MODFLOW –USG (USG je oznaka za UnStructured Grids, podržan u opciji Groundwater Vistas Version 6.39 Build 2) progušćena diskretizacija može se primeniti samo u željenoj zoni koja prati konfiguraciju vodotoka. Uslov „reka“ definisan je kao „grid dependent boundary“. To znači da se sa progušćenjem mreže neće javiti problem povećanja površine dna reke, što olakšava rad na modelu.

ANALIZA UTICAJA SIMULACIJE NA REZULTATE- PRIMER

Da bi se dali odgovori na postavljena pitanja, pored detaljne analize uputstava vezanih za ovaj, inače izuzetno dokumentovan softver, odlučeno je da se izvrši niz numerički simulacija- proračuna. Bilo je potrebno izraditi adekvatan konceptualni model koji bi omogućio dobijanje kvalitativnih i kvantitativnih odgovora na postavljena pitanja. Parametri modela odabrani su iskustveno.

Modelom je simuliran uticaj vodotoka na čijim su obalama izgrađeni drenažni objekti koji održavaju konstantan nivo („Constant head“) u izdani. Kao kontrolna veličina koja opisuje uticaj izvršenih intervencija na modelu odabran je dotok u drenažne objekte.

Hidrogeološki model prenet je u inicijalni hidrodinamički model, koji je sadržao tri sloja iste debljine (10m), a različitih koeficijenata filtracije. Inicijalni hidrodinamički model je potom modifikovan kako po pitanju diskretizacije tako i po načinu

simulacije uticaja vodotoka preko odgovarajućih unutrašnjih graničnih uslova.

Karakteristike varijanti proračuna opisane su u tabeli 1, a vertikalni presek inicijalnog modela dat je na slici 3. Kao što je napomenuto, praćen je efekat iskazan preko veličine infiltracije vode iz vodotoka odnosno, zahvatanja vode „drenažnim linijama“. Proračuni su rađeni za ustaljene uslove strujanja vode.

Hidrogeološki model kao podloga HD modela u dobroj meri reprezentuje uslove sa kojima se često susrećemo (u aluvionima naših reka). Ovi uslovi u najkraćem mogu se opisati izdvajanjem tri hidrogeološka sloja različitih filtracionih karakteristika i to:

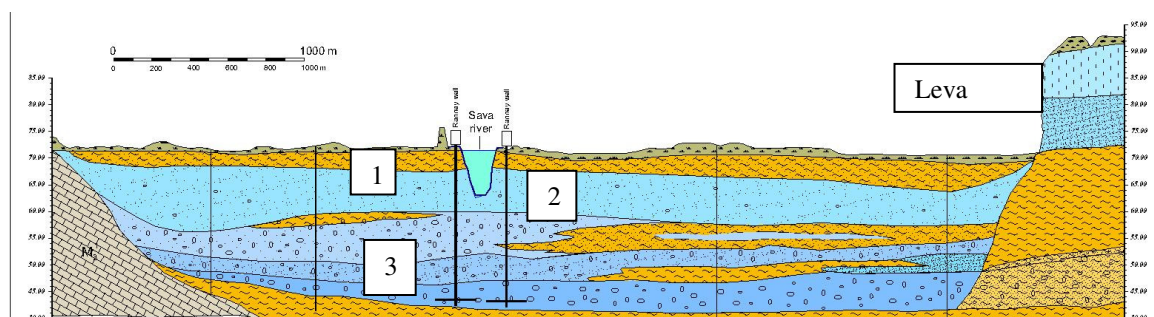
- polupropusnog povlatnog sloja (propusnost oko 0,01k)
- finije poroznog peskovitog sloja (propusnost k)
- grublje porozan vodonosni sloj (propusnost do 10k).

Najčešće je korito reke usećeno u šematizovani sloj 2 (ili 3), a obalni deo u slojeve 1 i 2, dok se oscilacije nivoa najčešće u domenu kota sloja 1.

Karakteristike šematizovanih slojeva

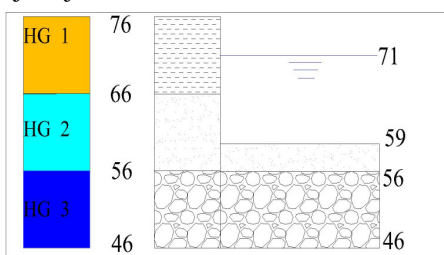
Izbor slojeva hidrodinamičkog modela vrši se saglasno usvojenom hidrogeološkom modelu, tj. hidrogeološkoj šematizaciji. Za svako polje modela, svakog od šematizovanih slojeva potrebno je definisati geometriju i hidrogeološke parametre (za isključivo hidrodinamičke modele to su kote slojeva, koeficijente filtracije u zasićenoj sredini za ustaljene odnosno efektivna poroznost i specifična izdašnost za nestacionarne proračune).

Iskustveno je izvršen izbor parametara modela na sledeći način:



Slika 2. Šematski prikaz hidrogeološkog preseka terena –primer Beogradskog izvorišta [6].

- povlatni polupropusni sloj (layer 1)- koeficijent filtracije reda 10^{-7} do 10^{-6} [m/s], u numeričkom primeru usvojeno 1×10^{-6} [m/s];
- peskoviti -slabije propustan deo vodonosnog sloja (layer 2)- koeficijent filtracije reda 3×10^{-5} do 3×10^{-4} [m/s], u numeričkom primeru usvojeno 1×10^{-4} [m/s]; Kod tanjih aluviona, debljine do 10m, prisustvo peskovitog kompleksa je manje izraženo.
- šljunkovito-peskoviti deo vodonosnog kompleksa (dublji grublje porozan) sa koeficijentima filtracije reda 3×10^{-4} do 3×10^{-3} [m/s], u numeričkom primeru usvojeno 1×10^{-3} [m/s];
- Dno reke formirano je na koti 59mm, a kota nivoa usvojena je na 71mm.



Slika 3. Hidrogeološka šematizacija i geometrija HG slojeva i korita vodotoka

Analizirane varijante

Analiza postavljenog problema izvršena je proračunima sa softverom MODFLOW 2000, izrađenih hidrodinamičkih modela. Inicijalni hidrodinamički model urađen je sa sledećim karakterističnim veličinama, geometrijom (Grid), graničnim uslovima (BCs) i parametrima:

- oblast strujanja 200x200m,
- $dX=dY=5m$
- reka širine 100m zahvata centralni deo,
- na udaljenju od po 25 m, sa obe strane vodotoka nalazi se drenažni rov u kom se održava konstantan nivo na koti 65,
- hidrogeološka šematizacija: povlata 76 do 66mm (HG 1; $k=1E-6$ m/s), pesak od 66 do 56mm (HG 2; $k=1E-4$ m/s), šljunak od 56 do 46mm (HG 3; $k=1E-3$ m/s);
- reka: dno na koti 59mm, nivo na koti 71mm, kolmirajući sloj na dnu reke je debljine 10cm i koeficijent filtracije $k=1E-6$ m/s.
- reka je zadata u sloju 2 saglasno kotama dna vodotoka.

Tabela 1. Usvojena geometrija inicijalnog modela-primer a i ispitivanih varijanti

No	Broj slojeva	Broj podela sloja 2	Sloj sa nivoom reke	Sloj sa dnom reke	Pojašnjenje varijante
1	3	1	2	2	Inicijalni model- primer
2	3	1	1	1	Opcija koju nudi softver – automatska , saglasno nivou reke
3	4	2	3	3	Kota dna u saglasnosti sa centrom polja odabranog sloja
4	5	2	2 i 3*	3	Varijanta 3 uz dodat uticaja bočne filtracije. * - U sloju 3 zadat GHB, po konturi obale reke.

REZULTATI

Hidraulički kontakt reke i izdani nije moguće direktno izmeriti na terenu. Otpor koji se registruje, posledica je veličine infiltracije i hidrauličke provodnosti rečnog dna. Da bi sistem (model) bio osetljiv na ovaj granini uslov neophodno je da postoji izraženi poremećaj, tj. intenzivna infiltracija koja je u konkretnom slučaju obezbeđena preko uticaja drenažnog rova.

Inicijalna varijanta predstavlja primer, odnosno način, na koji bi se najčešće izradio hidrodinamički model, koji reprezentuje opisani problem. Iz tog razloga veličine

infiltracije vode iz vodotoka, odnosno veličina zahvatanja vode „drenažnim linijama“, sračunata u ovoj varijanti, usvojena je kao jedinična vrednost-veličina.

Varijanta 2 pretpostavlja da modelar prihvati opciju koju nudi softver tj. preporuku da se reka zada u sloju u kom se nalazi zadati nivo –vodostaj reke. U nasem slučaju to bi bio sloj1. Opcija automatskog izbora sloja nudi se u slučaju zadavanja graničnog uslova reka preko opcije „digitize polyline“ ili „ digitize poligon“. U takvoj šematizaciji proticaj je drastično manji (tabela 2.).

Varijanta 3 pretpostavlja šematizaciju u kojoj je zadovoljen uslov da kota rečnog dna odgovara centru polja kome se pripisuje proticaj uslovljen ovim graničnim uslovom (vidi jednačinu 1). U ovoj varijanti proračuna sloj 2 je podeljen na dva sloja od po 5m debljine.

Konačno, varijanta 4 uzima u obzir i bočni uticaj reke, tj. činjenicu da se infiltracija deša i kroz obale. Za vodotoke kod kojih je širina vodotoka mala, a dubina izražena, bočni uticaj može biti i dominantniji od filtracije kroz dno. Značaj bočnog uticaja potencira i uobičajeno prisutna uslojenost aluvijalnih naslaga, odnosno pojava cm proslojaka male propusnosti (gline,

fragmenti glinaca, lapora, peščara i sl) koji izazivaju dopuske otpore strujanja podzemn evode u vertikalnom pravcu.

Sa smanjenjem hidrauličkog otpora na dnu i obalama reke za 10 puta (otpor definisan sa 10cm prašinstog peska koeficijenata filtracije reda 10-5 m/s), uticaj šematizacije je još više izražen. Rezultati izvršenih analiza dati su tabelarno, pri čemu Q_1 odgovara većem a Q_2 manjem otporu na dnu i bokovima vodotoka. Varijanta Q_3 odgovara postavci kao kod proračuna Q_1 , pri čemu je uveden uticaj anizotropije iskazan preko odnosa $K_x:K_z= 10:1$ u hidorgeološkim slojevima 2 i 3.

Tabela 2. Vrednosti veličine infiltracije za razmatrane varijante šematizacije

Varijanta	1-inicijalna	Varijanta 2	Varijanta 3	Varijanta 4
$Q_{1,i}$ (m ³ /s)	0,359	0,04	0,379	0,402
Relativno $Q_{1,i}/Q_{1,1}$	1	0,11	1,06	1,12
$Q_{2,i}$ (m ³ /s)	0,525	0,04	0,571	0,585
Rel. $Q_{2,i}/Q_{2,1}$	1	0,08	1,09	1,12
Sa anizotropijom $Q_{3,i}$ (m ³ /s)	0,195	0,036	0,242	0,272
Anizotropno $Q_{3,i}/Q_{3,1}$	1,0	0,18	1,24	1,40

DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Granični uslov reka je veoma značajan u hidrauličkoj praksi. Hidraulički kontakt reke i izdani nije moguće direktno izmeriti na terenu. Otpor koji se registruje, posledica je veličine infiltracije i hidrauličke provodnosti rečnog dna. Da bi sistem (model) bio osetljiv na ovaj granini uslov neophodno je da postoji izraženi poremećaj, tj. intenzivna infiltracija koja je u konkretnom slučaju obezbeđena preko uticaja drenažnog rova.

Konzervativni pristup pretpostavlja zadavanje uslova $H=\text{const}$ koji po položaju odgovara položaju vodotoka. Ovakav pristup se samo izuzetno može smatrati opravdanim ako se radi o problemima projektovanja performansi drenažnih sistem izuzetno značajnih lokaliteta, dok se pri projektovanja izvorišta on najčešće ne može prihvatiti.

Najčešće se kod simulacije uticaja vodotoka koristi opcija „river“-reka.

Izrađeni polazni model-primer prikazan u radu, odnosio se na pojednostavljenu šematizaciju i diskretizaciju područja razmatranja u vertikalnoj ravni. U analiziranim varijantama uvedena je složenija šematizacija i diskretizacija. Uticaj razmatranih izmena na rezultat,

analiziran je preko bilansa voda. Pokazano je da se on može kretati u širokom domenu i da veoma zavisi od numeričkih vrednosti parametara modela i odnosa ovih veličine.

Šematizovani granični uslov „river“ suštinski znači da je polje sa rekom povezano sa „rezervoarom“ zadatog nivoa, pri čemu se strujanje između rezervoara i polja odvija po zakonitosti definisanom jednačinom 1. To suštinski znači da opcija „reka“ ne šematizuje vodotok (sa dnom i obalama, poroznosti $n=1$ i beskrajno velike provodnosti). Opcija „river“ pretpostavlja nepresušni izvor vode dok granični uslov „stream“ je ograničeni izvor vode, jer se tokom proračuna vodi računa o količini vode u vodotoku (odgovara manjim vodotocima, kod kojih se prisutna problematika vezana za ukupne količine vode u vodotoku i izdani).

Kod digitalizacije graničnog uslova reke opcijom „polyline“ softver preporučuje izbor opcije za automatsku selekciju sloja u kom se šematizuje reka. Pri korišćenju ove opcije treba imati u vidu da se izbor sloja vrši na osnovu podatka o koti nivoa vode u reci, a ne na bazi podatka o koti dna vodotoka. Ovo može biti izvor velikih grešaka. Zavisno od cilja modela, može se još preporučiti da se po potrebi izvrši i dodatna vertikalna diskretizacija prostora na način kojim će kote dna vodotoka približno odgovarati položaju-koti centra polja

sloja u kom je reka zadata. Time se najispravnije uzimaju u obzir karakteristike dna (taloga na dnu reke) i vodonosnih sedimenata u koje je rečno korito usečeno.

Polja iznad sloja sa rekom, ukoliko su aktivna, softver računa saglasno zadatim karakteristikama sloja. U proračunu pijezometarskog nivoa uopšte se ne vodi računa o činjenici da je to u prirodi prostor ispunjen vodom (površinskom) i vazduhom. To znači da se nivoi u ovim poljima računaju na osnovu filtracionih karakteristika i rasporeda pijezometarskih nivoa u okolnim poljima. Pijezometarski nivoi u poljima ispod ovih polja (polja sa rekom) sračunati su suštinski kao polja u kojima se nalazi izvor (infiltracija iz reke) ili ponor vode (dreniranje u reku).

Ukoliko ima potrebe da se simulira bočna infiltracija iz vodotoka (kroz kosinu obale) onda se to mora dopunski zadati na hidrodinamičkom modelu (opcijom GHB- „Generaln Head Boundary“ ili sl.). Da bi se ovo uradilo potrebno je uvesti i dodatnu vertikalnu diskretizaciju.

Kod uskih kanala korišćenje opcije „GHB“ je opravdanije od korišćenja opcije „River“.

Hidraulička uloga reke je kompleksan granični uslov, koji se ne može direktno izmeriti u prirodi. Kako bi se njegova vrednost definisala sa većom tačnošću tj. u užem opsegu vrednosti parametra procurivanja, potrebno je da u prirodi postoji izražen poremećaj tj. intezivna vodorazmena između reke i izdani. Kompleksnosti uslova vodorazmene između površinskih voda i akvifera prisutnih u prirodi, zahteva njihovo značajno pojednostavljenje prilikom izrade modela. Uz dobro razumevanjem opcija koje nudi softver moguće je odabrati karakteristike modela koje će na najbolji način oponašati uslove iz prirode, saglasno raspoloživim podlogama i tipu zadatka tj. problemu koji se rešava.

U eri savremenih i moćnih softvera i računara mogućnost grešaka se povećava umesto da se smanjuje. Najčešći razlozi su:

- široka prisutnost modela (formiranih u različitim softverima), čime se cena i vreme za izradu hidrogeoloških i hidrodinamičkih modela snižava na neodrživi nivo,
- nedostatak terenskih istražnih radova, kao posledica opšte prisutne ekonomske situacije, ali i neznanja i želje za povećanim profitom,
- nedostatkom sistematskih osmatranja kao i
- nedovoljne upućenosti korisnika softvera u karakteristike korišćenih softvera.

Ovo poslednje potvrđuje činjenicu da se za različite softvere kao i njihove uprade mogu naći brojni (skupi) kursevi i treninzi, kao i „disclaimer“ kojim se proizvođač softvera oslobađa odgovornosti od svih šteta koje eventualno mogu nastati korišćenjem njegovog softvera, a koju smo obavezni da prihvatimo kod korišćenja svakog softvera.

Kada se govori o apsolutnoj vrednosti hidrauličkog otpora ili o njegovoj promeni kroz vreme [4] ili se analiziraju i upoređuju podaci o parametru procurivanja „k/d“ sa dva HD modela, treba imati u vidu da parametar procurivanja najčešće opisuje ukupan otpor pri kvazi vertikalnoj filtraciji. To znači da je potrebno raspolagati sa dopunskim informacijama vezanim za primenjenu diskretizaciju i način zadavanja vodotoka u konkretnom modelu izdani. Pored ovoga, veoma je značajno vršiti povremene reetaloniranje i verifikaciju modela u različitim hidrološkim uslovima. Takođe, hidrološke uslove pri etalinaranju važno je uskladiti sa hidrološkim uslovima merodavnim kod prognoznih proračuna. Tako se recimo, ako se radi o efektima drenažnih sistema pri pojavi velikih voda, težina etaloniranja modela mora usmeriti upravo na takve hidrološke uslove u fazi etaloniranja. Svakako je neophodno izvršiti i analizu osetljivosti opservacija na parametre modela, kako bi se definisali mogući opsezi parametra procurivanja u kojima je rezultat (nivo koji se kalibriše) osetljiv. U tom smislu značajne opcije daju nam savremeni softverski dodaci kao što je PEST (Parametar Estimation Softver) [6].

ZAHVALNOST

Publikovani rad je rezultat projekta TR37014 "Metodologija ocene, projektovanja i održavanja izvorista podzemnih voda u aluvijalnim sredinama u zavisnosti od stepena aerobnosti" koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnoloskog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Boreli-Zdravković Đ., Šotić A.: Održavanje izvorišta i izvorišnih objekata, Monografija: „Savremena eksploatacija i održavanje objekata i opreme vodovoda i kanalizacije“, Deo 2.2, Izdavač: Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, ISBN 978-86-82931-33-1, str. 115-133
- [2] Boreli M., Seminar Bilans podzemnih voda, Beograd, 1966 god., str. 142-152

- [3] The software used is widely applied in groundwater regime studies, is well documented and well known. In addition to the software manual, more information about this software is available at: <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow2000/Guide/index.html>
- [4] Dimkić M., „Prečišćavajući efekti filtracije podzemne vode“, Zadužbina Andrejević, ISBN 978-86-7244-650-0, COBISS.SR-ID 140328972
- [5] Boreli-Zdravković Đ., Jevtić G., Babić-Mladenović M.: Istraživanje hidrauličkog kontakta reke Save i izdani u zoni Beogradskog izvorišta, 14. srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, 17.-20. maj 2012., Zlatibor, ISBN 978-86-7352-236-4, str. 465-470, 2012
- [6] <http://www.pesthomepage.org/Downloads.php#hdr2>
- [7] Dimkić M., Taušanović V., Pušić M., Boreli-Zdravković Đ., Đurić D., Slimak T., Petković A., Obradović V., Babić R. (2007), "Belgrade groundwater source condition and possible development directions", Water Practice & Technology, volume 2, issue 3, ISSN 1820-6530
- [8] Đorđević, B. (2008): Realizacija razvoja vodoprivredne infrastrukture u skladu sa strategijom iz Prostornog plana Srbije, Vodoprivreda, N^o 234-236, str. 215-226
- [9] Pušić, M., Dimkić M., Vidović D., Dotlić M., Oparušić I. (2012): Analiza uticaja nekih hidrogeoloških parametara na početni kapacitet bunara sa horizontalnim drenovima, Vodoprivreda, vol. 44, br. 4-6, str. 175-180
- [10] Radenković Z., Boreli-Zdravković Đ., Dimkić M. (2007) „Određivanje zaštitnih zona izvorišta podzemnih voda“, Voda i sanitarna tehnika, 2007, vol. 37, br. 4-5, str. 65-79
- [11] Dimkić M., Pušić M., Vidović D., Đurić D., Boreli-Zdravković, Đ.,(2013) „Analiza transporta zagađenja kod određivanja zona sanitarne zaštite izvorišta podzemnih voda u aluvijalnim sredinama, Vodoprivreda, vol. 45, br. 264-266, str. 203-218

SOME SPECIFICS IN USING BOUNDARY CONDITION „RIVER“ IN THE GROUNDWATER SOFTWARE PACKAGE „MODFLOW”

by

Đulija BORELI – ZDRAVKOVIĆ

The Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, Belgrade

Summary

The most important investigation in the domain of water usage and protection from the ground water are performed in the connection zones of surface and groundwater bodies. That is the reason, why the accurate approach in the simulation of hydraulic role of the surface-ground water interaction is very important. Due to the years of experience in the field of ground water modelling with software „MODFLOW“, some important answers with this boundary condition are given. The paper consists of short theoretical basis,

numerical example for quantification differences, conclusions and recommendations. The topic is especially important when groundwater models are used for the calculation and design of the drainage systems or drinking water source, relies on the bank filtration method.

Key words: groundwater, surface-groundwater interaction, modflow

Redigovano 19.11.2014.