

BRZA KALIBRACIJA 3D MATEMATIČKOG MODELA STRUJANJA PODZEMNE VODE U SEMBERIJI UZ POMOC PARALELNOG PROCESINGA (BEOPEST)

Dr Dragan KALUĐEROVIĆ, dipl.ing.hidrogeologije
Centar za primenjena naučna istraživanja u vodosnabdevanju i remedijaciji
www.advancegwt.com

REZIME

Kalibracija matematičkih modela podzemnih voda je najkomplicovaniji i najzahtevniji deo u izradi modela. U praksi se relativno malo pažnje posvećuje ovom delu procesa modeliranja i smatra se da je kalibracija gotova kad se istarira jedna varijanta. Sa pojavom brzih kompjutera i inverznih modela kao što je PEST moguće je znatno unaprediti brzinu i kvalitet kalibracije. Jedna od varijanti iz PEST program je pilot point metoda kalibracije koja pored vrhunske kalibracije daje i oblik zona u modelu što je veliki pomak napred u nauci modeliranja. Međutim, pilot point metoda kalibracije je kompjuterski zahtevna, a kao odgovor na taj nedostatak pojavio se program BEOPEST koji omogućava paralelno korišćenje procesora sa jednog ili više kompjutera. U ovom radu data je primena BEOPEST programa u kalibraciji regionalnog modela Semberije.

Ključne reči: PEST, BEOPEST, kalibracija modela, pilot point metoda, MODFLOW, izdan

1. UVOD

Jedna od najkomplicovanijih faza u modeliranju kretanja podzemnih voda je faza kalibracije. Ispitivanje raznih varijanti i konceptualnih modela sa promenama velikog broja parametara je često iscrpljivala modelara, što je kao rezultat imalo da modelar nije bio u mogućnosti da u potpunosti sagleda hidrogeološki sistem kroz koji struji podzemna voda. Nakon obično dugotrajnog rada na kalibraciji davana je samo jedna varijanta hidrogeološkog sistema i zaboravljalo se na nejednoznačnost dobijenog rešenja i njegovog uticaja na prognozne rezultate.

Sistem koji je i danas često u upotrebi prilikom kalibracije modela je sistem "pokušaja i grešaka" i on se praktično koristi od početka numeričkog modeliranja

krajem 60ih godina. Mora se napomenuti da tadašnji računari nisu dozvoljavali formiranje komplikovanijih konceptualnih modela kao i kalibraciju većeg broja parametara. Krajem 90-ih godina, u praksu se uvodi automatska kalibracija i to najviše zahvaljujući programu PEST. Postupak prilikom automatske kalibracije modela je bio da se model izdela na zone sa jednakim vrednostima parametara, da se startuje model PEST, koji preuzima kontrolu na programom (najčešće MODFLOW) i koji uradi automatsko podešavanje računskih i merenih vrednosti. Ukoliko rezultat nije zadovoljavajući dodaje se još nekoliko zona i postupak se ponavlja sve dok se ne postigne zadovoljavajuće slaganje merenih i računskih podataka. I pored toga što je automatska kalibracija brža od metode "pokušaja i grešaka" i dalje je zahtevna i spora. Pored toga, praktično je nemoguće da se odredi da položaj zona koeficijenta filtracije npr. odgovara heterogenostima sistema, već se zone dodaju uglavnom na osnovu intuicije.

Trenutno je u programu PEST implementirana nova metoda, 'pilot point' metoda sa regularizacijom (Doherty 2003, 2012) koja bi trebalo da nadomesti sve nedostatke prethodnih metoda kalibracije. Tehnika ove nove metode kalibracije je da se u modelu postavi više 'pilot' tačaka kojima je dodeljena početna vrednost koeficijenta filtracije i da se onda startuje nova opcija u programu PEST koja određuje vrednosti tih parametara u 'pilot' tačkama na osnovu merenih vrednosti nivoa podzemnih voda npr.. Nakon toga, interpolacijom između pilot tačaka se dodeljuje vrednost koeficijenta filtracije ostalim poljima u modelu. Na ovaj način se određuje i oblik zona hidrauličkih parametara.

Nedostatak 'pilot point' metode je što model treba da se startuje i po nekoliko stotina puta što ako je vreme trajanja računa modela duže može da traje neprihvatljivo dugo. Upravo ovaj nedostatak je razumeo

autor PEST-a, John Doherty, koji je napravio verziju PEST-a koji se zove BEOPEST i koji uz pomoć metode SVD Assist kao i paralelnog procesinga omogućava znatno skraćanje vremena trajanja kalibracije. Paralelni processing podrazumeva paralelno korišćenje jezgara na kompjuteru i ubrzavanje rada sa PEST modelom.

2. PRAKTIČAN PRIMER PRIMENE PROGRAMA GROUNDWATER VISTAS U KALIBRACIJI REGIONALNOG 3D MODELA METODOM PILOT POINT SA REGULARIZACIJOM

Osnovni podaci o izvorištu

Vodovodni sistem grada Bijeljine i okolnih naselja snabdeva se pijaćom vodom sa izvorišta 'Grmić', lociranog u aluvionu reke Drine na levoj obali, neposredno uz gradsku zonu. Izvorište 'Grmić' je u eksploataciji od 1961. godine. Tada je izgrađeno deset bunara sa crpnom stanicom kapaciteta 105 L/s i rezervom od 80 L/s. Kasnije je taj kapacitet dodavanjem novih bunara povećan na 335 L/s. U periodu od 1991-1995. god., zbog ratnih dejstava, u gradu Bijeljina i njegovoj okolini naglo se povećao broj stanovnika i procenjuje se da je 1995. godine taj broj iznosio oko 80.000, što je duplo više nego u predašnjem periodu. Eksploatacija na izvorištu 1995. godine (470 L/s + 50 L/s rezerve) dovela je do promene režima podzemne vode i do povećanja rizika zagađenja od potencijalnih zagađivača lociranih neposredno uz izvorište i uzvodno

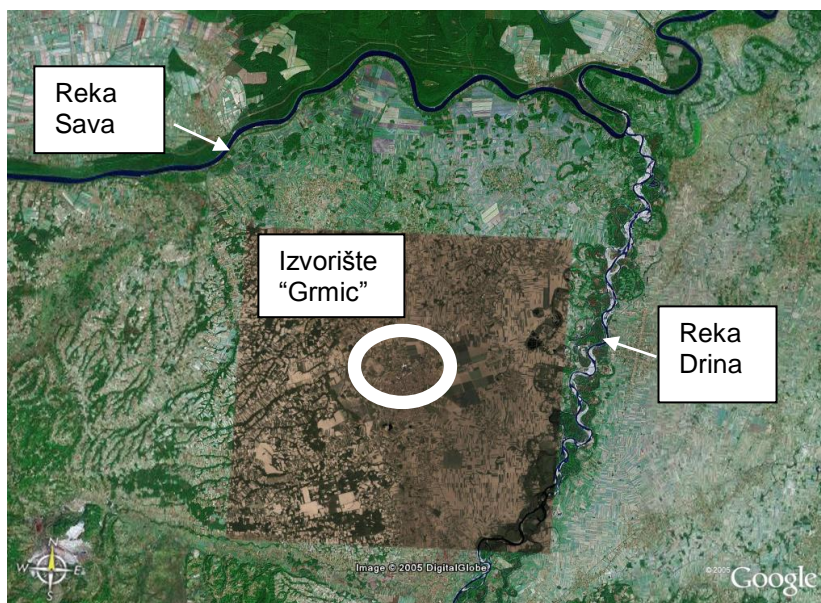
od njega (septičke jame, groblje, divlje deponije, bolnički otpad i dr.)

U vodovodu Bijeljina, početkom 1995. godine, iz preventivnih razloga, isključuje se prvih pet bunara iz natege (zapadni deo natege najbliži naseljenoj zoni grada), te se ovim gubi oko 130 L/s od ukupnog kapaciteta. Po poslednjim podacima koje je autor imao (2006), izvorište radi sa kapacitetom od oko 520 L/s.

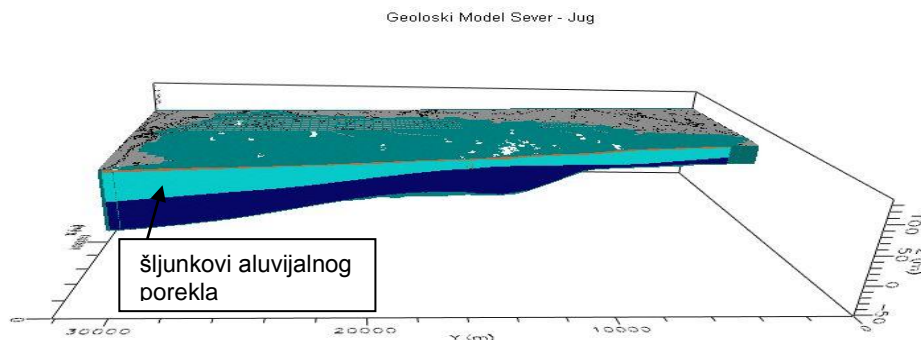
3D Geološki model Semberijske izdani

U generalnom hidrogeološkom profilu Semberije mogu se izdvojiti tri celine:

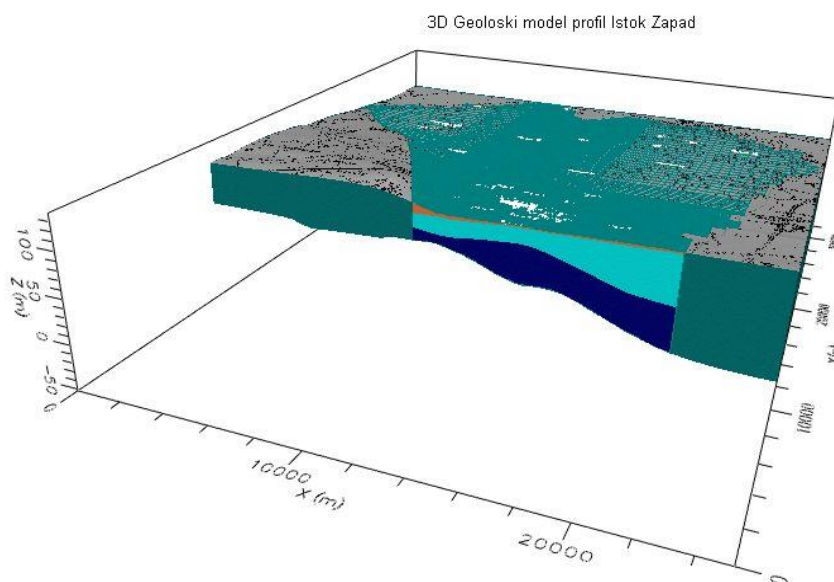
- 1) *površinski povlatni horizont*, slabe provodljivosti, sastoji se od glina ili peskovitih glina, debljine 5-7 m u južnom, jugoistočnom i severnom delu Semberije, a 0,5 – 2,5 m centralnom delu.
- 2) *Vodonosni sloj*, veoma dobrih filtracionih karakteristika sastoji se iz dva sloja:
 - šljunkovi, aluvijalnog porekla, debljine 10 -15 m u južnom i jugozapadnom delu Semberije, a 30 – 35 m u severnom, severoistočnom i istočnom delu.
 - šljunkovito – peskoviti kompleks sedimenata kvartarne starosti, verovatno jezerskog porekla. U zapadnom i južnom delu terena debljina je od 10 – 40 m, a u severnom i istočnom 60 – 90m
- 3) *Podina*, izgrađena od glinovito - peskovitih sedimenata pliocenske starosti



Slika 1. Satelitski snimak izvorišta "Grmić" i šire okoline



Slika 2. Kompjuterski generisan geološki profil sever – jug semberske izdani



Slika 3. Kompjuterski generisan geološki profil istok zapad semberske izdani

Nakon detaljne analize svih dostupnih studija i projekata napravljen je geološki model za regionalnu izdan Semberije, koji je dat na slikama 2 i 3. Ovaj model je kompjuterski generisan, a ne nacrtan.

3D Hidrodinamički model Semberske izdani

Kao osnova za 3D hidrodinamički model izdani poslužio je 3D geološki model. Da bi model bio potpun, treba da se uradi diskretizacija modela, odrede granični uslovi, unesu vrednosti bilansa i merene vrednosti nivoa podzemne vode i da se model istarira.

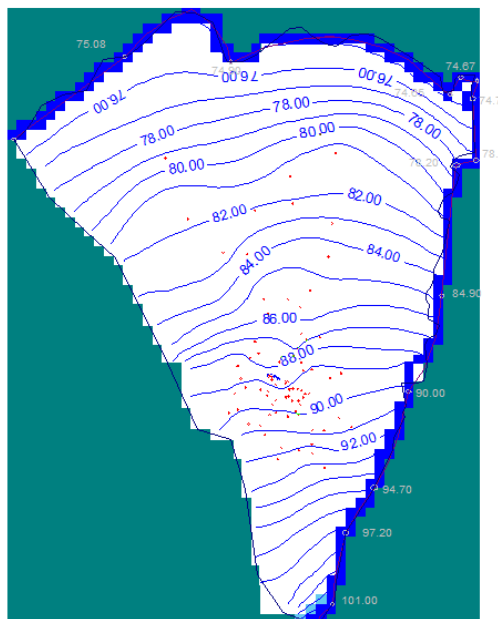
Diskretizacija izdani urađene je po uobičajenim principima, sa sve gušćom mrežom u zoni izvorišta (Kaluderović, 2012). Površina modela obuhvata

približno 32×25 km, a diskretizacija je urađena sa različitim veličinom polja, na obodu modela je 500×500 metara a u zoni izvorišta oko 20 x 20 metara. Po vertikali, model je podeljen u tri hidrostratigrafske jedinice kao što je opisano u prethodnom poglavlju.

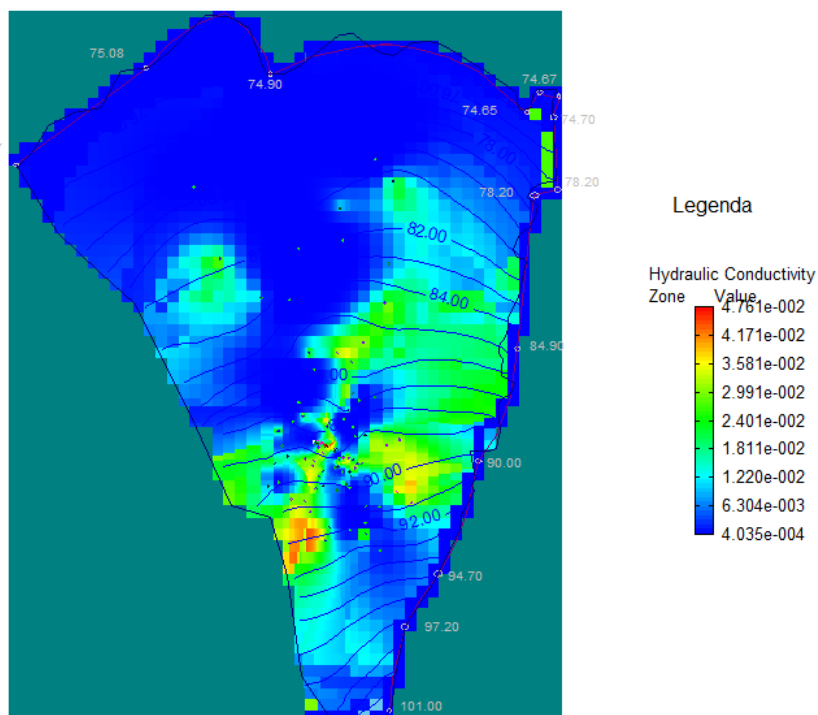
Kao granice regionalnog modela strujanja podzemne vode u Semberiji uzete su:

- reka Drina na istoku, granica sa konstantnim potencijalom i zadatim gradijentom,
- reka Sava na severu, granica sa konstantnim potencijalom i zadatim gradijentom,
- granica prostiranja šljunkovito peskovitog sloja na jugozapadu (kontakt sa pliocenom) kao “no flow” ili nepropusna granica.

Za tariranje modela upotrebljeno je stanje sa najviše merenja u piježometrima (38 na celom modelu), a to je bila prva polovina novembra 1985. godine. Na osnovu višemesečnih merenja izabran je ovaj vremenski period, jer je strujanje stacionarno, a uzet je i sušni period da bi vertikalni bilans zanemarljivo uticao na strujanje podzemne vode. Samim tim, dobijeni parametri tariranja su pouzdaniji pošto ih ima manje. Nakon tariranja pilot point metodom (sa SVD Assist i BEOPEST modelom) dobijeni su nivoi podzemne vode regionalne izdani u Semberiji (slika 4). Za ukupni kapacitet izvorišta za 1985. god. ne postoje precizni podaci ali je procenjeno da je oko 270 L/s. Cilj izrade ovog 3D modela je dobijanje reprezentativnih karakteristika zona koeficijenta filtracije koji bi mogli da se koriste za prognozu strujanja u sadašnjim uslovima za koje ne postoje ni približno toliki broj merenja nivoa podzemne vode u piježometrima. Na slici 4 date su izolacije nivoa podzemne vode, a na slici 5 dat je raspored koeficijenata filtracije u modelu za drugi sloj, aluvijalni šljunkoviti sloj dobijen metodom pilot point sa regularizacijom.



Slika 4. Izolinije nivoa podzemne vode za novembar 1985. godine sa lokacijama pilot pointa za kalibraciju (crvena boja)

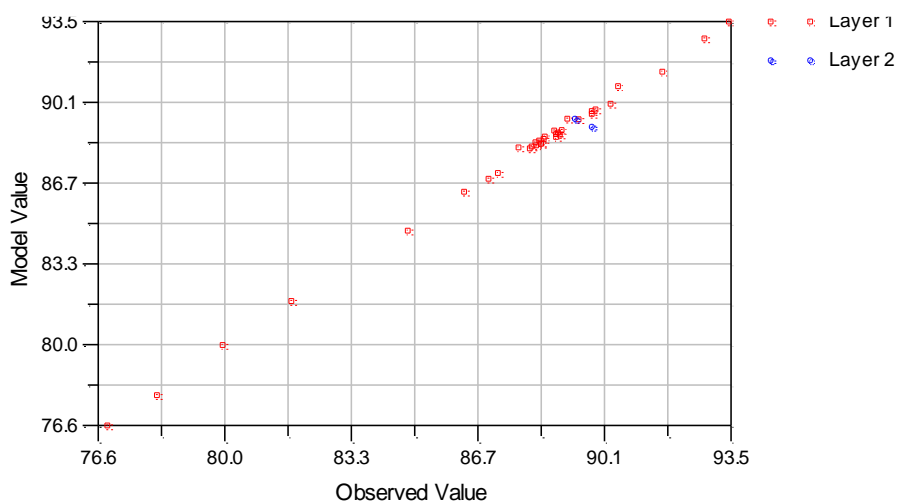


Slika 5. Raspored koeficijenata filtracije za drugi sloj, aluvijalni šljunkovi

3. KOMENTAR KALIBRACIJE MODELA METODOM PILOT POINT, SVD ASSIST I BEOPEST-A

Na slici 6 vidi se veoma malo odstupanje računskih od merenih podataka i linija je praktično pod 45 stepeni. Naravno za ovo je zaslužana pilot point metoda sa regularizacijom. Mora se dodati da je u ovom slučaju u cilju smanjenja parametara korištena metoda SVD Assistu kojoj se formiraju super parametri čime se znatno redukuje broj parametara (pilot point) i skraćuje vreme izvršavanje simulacije. U programu Groundwater

Vistas implementiran je i program BEOPEST koji omogućava paralelno procesiranje, tj. paralelno korišćenje jezgara procesora (u ovom slučaju 4) na kompjuteru što dodatno ubrzava kalibraciju modela. Ova vrsta kalibracije, sa pilot point metodom, SVD Assist i BEOPESTom, znatno skraćuje vreme kalibracije i omogućava modelaru da se skoncentriše na suštinske stvari, a ne na bezbroj ponavljanja varijanti kalibracije i veliki je doprinos matematičkom modeliranju u svetu. Kalibracija je bukvalno trajala 5-10 minuta ako se ne računa postavljanje modela.



Slika 6. Dijagram merenih i računskih nivoa podzme vode

LITERATURA

- [1] Environmental Simulation inc (2015): Groundwater Vistas 6, USA
- [2] Doherty, J. (2003): Ground water model calibration using pilot points and regularization, Ground Water, 41 (2), 170-177.
- [3] Doherty, J. (2012): PEST: Model independent parameter estimation, Watermark Numer. Comput., Corinda, Queensland, Australia. (Available at <http://www.pesthomepage.org>).
- [4] Doherty, J., R. J. Hunt, and M. J. Tonkin (2010): Approaches to highly parameter-ized inversion: A guide to using PEST for model-parameter and predictive-uncertainty analysis, Tech. rep., U.S. Geol. Surv. Scienti_c Investigations Report, 2010-5211, U.S. Geological Survey, Middleton, WI.
- [5] Kaluderovic D. (2006) Numericki eksperiment u cilju smanjenje neodredenosti 3D modela transporta zagađenja u podzemnim vodama, DIT, Beograd
- [6] Kaluderović D. (2008): Prirodno prečišćavanje izdani, Rudarsko Geoloski Fakultet, Doktorska disertacija, Beograd
- [7] Kaluderović D. (2008): 3D matematičko modeliranje kretanja podzemnih voda i transporta zagađenja u hidrogeologiji, Monografija, 190 strana A4 formata, Beograd
- [8] Kaluderović D. (2012a): Prilog kalibraciji i oceni parametara matematičkih modela podzemnih voda - poređenje manuelne, automatske i "pilot point" metode sa regularizacijom, Vodoprivreda, N^o 258-260, s.233-240

- [9] Kaluđerović D. (2012b): Uticaj neodređenosti parametara matematičkog modela na prognozni kapacitet izvorišta na potezu Trnovče – Miloševac - Lozovik, XIV Srpski simpozijum o hidrogeologiji, Zlatibor
- [10] Kaluđerović D. (2013): Prilog upravljanju podzemnim vodnim resursima bunarima dvojne namene - ASR (Aquifer Storage and Recovery), Vodoprivreda, N^o 264-266, s. 295-301

RAPID CALIBRATION OF 3D MATHEMATICAL MODEL OF GROUNDWATER FLOW IN AQUIFER IN SEMBERIJA WITH PARALLEL PROCESSING (BEOPEST)

Dr Dragan KALUĐEROVIĆ, Principal Hydrogeologist
Center for applied scientific research in water supply and remediation
www.advancegwt.com

Summary

Calibration of mathematical models of groundwater flow is the most complicated and the most demanding part in modeling work. Relatively small amount of time is dedicated to this process and it is consider that calibration is done when one variant is done. With advance of fast computers and inverse models like PEST it is possible to improve quality and speed of calibration. One of possibilities of PEST is pilot point calibration which besides possibility of calibration gives the shape of parameter zones which is great

improvement. However, pilot point method requires a lot of model executions and as answer to this issue BEOPEST was developed which allows parallel processing and use of several cores in the same In this paper BEOPEST application is shown in calibration of regional model of aquifer in Semberija.

Keywords: PEST, BEOPEST, calibration models, pilot point method, MODFLOW, alluvial aquifer

Redigovano 19.11.2015.