

3D-MODEL TRANSPORTA TOPLOTE PRILIKOM KORIŠĆENJA TERMALNIH VODA U MAĐARSKOJ

Dr Christoph M. KÖNIG, Mr Željka RUDIĆ
Delta-h, Dortmund

REZIME

Za bolje razumevanje uslova tečenja podzemnih voda i transfera toplote, napravljen je model za procenu. Za pravljenje numeričkog modela koji uključuje vezani proračun transporta toplote i tečenja podzemne vode, korišćen je programski paket SPRING[®]. Za proračun su uzete u obzir nelinearnosti zbog toka promenljive gustine i viskoznosti, vezanog proračuna saturisanog i nesaturisanog toka i nelinearno isticanje.

Ključne reči: konačni elementi, transfer toplote, zavisian od gustine, regionalna razmera

1. UVOD

Veliki deo Republike Mađarske, zemlje u centralnoj Evropi je smešten u Panonskoj niziji. Sadašnjoj niziji je prethodilo plitko more koje je dostiglo svoje najveće prostiranje u Pliocenu. Zemljina kora ispod Panonske nizije je tanja nego prosečna i zato je magma omotača jezgra bliža površini. Ova činjenica uzrokuje veoma visoke geotermalne gradijente za ne-vulkansko područje, u unutrašnjosti nizije. Shodno tome sledi da je Mađarska zemlja sa povoljnim geotermalnim uslovima.

Trenutno najznačajnije polje za korišćenje geotermalne energije u Mađarskoj, osim balneologije, je poljoprivreda, gde termalna voda obezbeđuje grejanje za staklenike i farme.

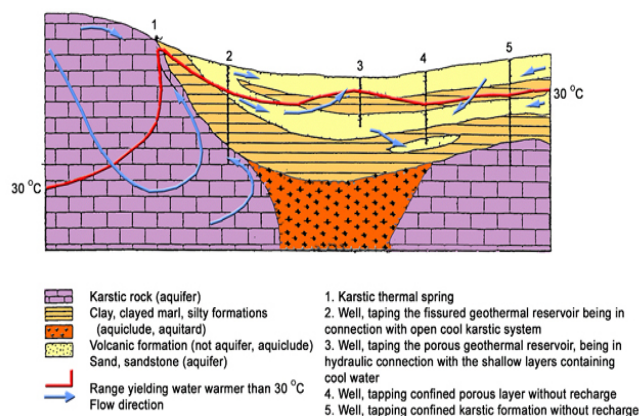
Problem vezan za upotrebu termalnih voda je tretman iskorišćenih voda. Korišćene termalne vode se najčešće ispustaju u drenažne kanale ili odvodne cevovode. Termalna voda, ispuštena u otvorene tokove može izazvati niz negativnih efekata na životnu sredinu. Dva glavna uzroka za remećenje prirodne ravnoteže ekosistema su: i dalje visoka temperatura ispuštene vode, u poređenju sa okolinom, i visoka koncentracija geogenih hemijskih elemenata.

Ova studija obuhvata aspekte geotermalnih uslova na Bükk planini, korišćenja i re-injekcije, kao i ispustanja termalnih voda u površinske tokove na lokaciji Mezökövesd u Panonskoj niziji.

2. GEOLOGIJA, HIDROGEOLOGIJA I GEOTERMALNI USLOVI

Geotermalni “rezervoari” u Mađarskoj mogu da se klasifikuju u dve glavne grupe (slika 1):

- karstni tip ;
- klastični nizijski tip.



Slika 1. Različiti tipovi geotermalnih “rezervoara”,
(Liebe 2001.)

Termalna voda potiče od karstnih planina i teče kroz pukotine karstnih stena ispod nepropusnih slojeva prema granicama planinskog masiva. Delom pojavljivanje izdani je obeleženo linijom prostiranja odavno poznatih termalnih izvora. Karstni vodonosni slojevi sačinjeni su uglavnom od krečnjaka i dolomita iz Triasa i čine veliki deo pomenutog “rezervoara”.

U samoj Panonskoj niziji dominiraju klastični depoziti, kao na primer većinom u gornjem delu Panonske nizije, sa tragovima slojeva peska i peščara iz Pleistocena. Ovakvu osnovu prekrivaju marinski i fluvijalni depoziti. U južnim delovima Panonske nizije ukupna moćnost depozita dostiže 5 km.

Prosečni geotermalni gradijent u Mađarskoj je 5 °C/100 m, što je više od 1.5 put veće od svetskog proseka. To je zahvaljujući činjenici da je Zemljina kora u oblasti Panonske nizije tanja od prosečne debljine: (lokalna moćnost varira od 24 do 26 km, što je otprilike 10 km manje nego u susednim regijama). Prosečna temperatura na površini je oko 10 °C, temperatura stene i fluida koji sadrži na dubini od oko 1 km iznosi do 60 °C i čak do 110 °C na dubini od 2 km. Najveća dubina na kojoj je još uvek dobra provodljivost za proučavane vodonosne slojeve je 2.5 km. Ovde temperature dostižu 130 - 150 °C.

Hemijska kompozicija karstnih termalnih voda je uglavnom određena karbonatnim stenama i voda dobija kalcijum-magnezijum-hidrokarbonatni karakter. Termalne vode u klastičnom "rezervoaru" su uglavnom alkalno-hidrokarbonatnog karaktera.

3. NUMERIČKI RAČUN TRANSPORTNIH PROCESA

Numerički model za posmatrano područje je napravljen pomoću programskog paketa za hidrogeološko modeliranje SPRING[®], koji je ustanovljen za pouzdanu osnovu za modeliranje podzemnih voda. Kao model za procenu služi kao adekvatno oruđe za bolje razumevanje predašnjih i sadašnjih uslova tečenja podzemnih voda. Takođe je dizajniran da pruži čvrstu osnovu za prognozu budućih promena ovih uslova.

Jednačine za tečenje i transport rastvorenih materija i energije su fizička osnova za numerički hidrogeološki model. Sledeće poglavlje prezentovaće vodeće jednačine na kojima je zasnovan model.

Proračun tečenja je esencijalna osnova za račun transportnih procesa u poroznoj sredini. Kombinujući Darcy-jev zakon:

$$\vec{v} = -\frac{k_r}{\mu} \mathbf{k} (\nabla p - \rho \vec{g})$$

sa jednačinom kontinuiteta

$$\frac{\partial(nS_r \rho)}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = q$$

dobija se osnovna jednačina tečenja:

$$\left(S_r \rho S_{op} + n \rho \frac{dS_r}{dp} \right) \frac{\partial p}{\partial t} + n S_r \frac{\partial \rho}{\partial t} - \nabla \left(\frac{\rho \mathbf{k} k_r}{\mu} (\nabla p - \rho \vec{g}) \right) = q$$

Opšta jednačina transporta za rastvor koncentracije C se zasniva na sledećim elementima:

1. advekcija, tj. transport brzinom \vec{v}

$$\vec{j}_k = \vec{v} C$$

2. hidromehanička disperzija

$$\vec{j}_m = -\mathbf{D} \nabla C$$

3. molekularna difuzija (u ovom slučaju Fick-ov prvi zakon):

$$\vec{j}_d = -d_m \nabla C$$

Postavljajući konzervaciju mase, ovi procesi se objedinjavaju u jednu transportnu jednačinu:

$$\frac{\partial(n \rho S_r C)}{\partial t} + \nabla(n \rho S_r (\vec{j}_k + \vec{j}_d + \vec{j}_m)) = q(C_{in} - C) + R_c + q_c$$

Transport toplote u saturisanom akviferu se bazira na sledećim elementima:

1. advekcija:

$$\vec{j}_k = \vec{v} T$$

2. hidromehanička disperzija

$$\vec{j}_m = -\mathbf{D} \nabla T$$

Ovde, molekularna difuzija u rastvoru je zamenjena kondukcijom toplote. Treba uzeti u obzir sledeće:

1. kondukciju toplote u fluidu

$$\vec{j}_{m,w} = -\lambda_w \nabla T$$

2. kondukciju toplote u čvrstoj fazi:

$$\vec{j}_{m,s} = -\lambda_s \nabla T$$

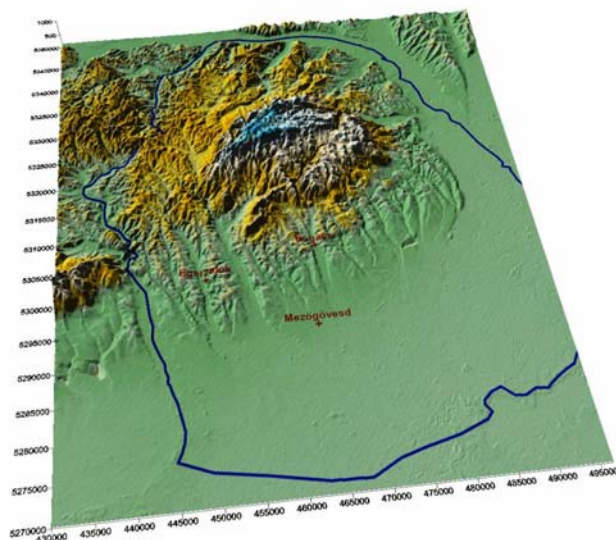
gde je T temperatura fluida. Sada, jednačina transporta energije uključujući toplotni "rezervoar" u fluidu i čvrstoj fazi može biti izvedena:

$$\frac{\partial(n\rho S_r c_w T)}{\partial t} + \frac{\partial((1-n)\rho_s c_s T)}{\partial t} + \nabla(n\rho S_r c_w (\vec{J}_k + \vec{J}_d + \vec{J}_{m,w})) + (1-n)\rho_s c_s \vec{J}_{m,s} = q(T_{in} - T) + R_T$$

Jednačine tečenja i transporta su spojene za proračun transporta energije (imajući u vidu zavisnost gustine i viskoznosti od temperature) i transportnih procesa zavisnih od gustine (imajući u vidu gustinu rastvora).

4. OPIS MODELA

Prvi korak ka generisanju modela je određivanje oblasti za modeliranje tako da ona predstavlja prirodni hidraulički sistem.

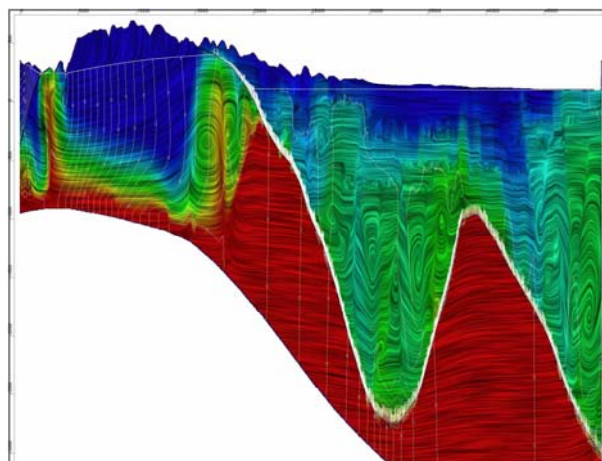
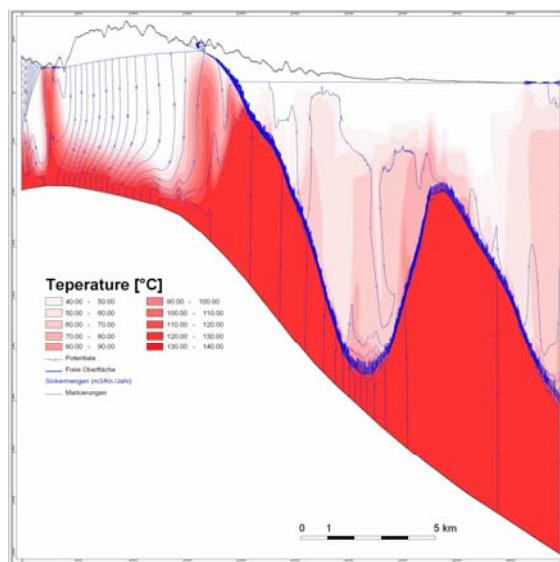


Slika 2. Digitalni model terena proučavanog područja

Proučavano područje obuhvata karstnu zonu Bükk planina i severni deo Panonske nizije uključujući „oglednu lokaciju“ Mesökövesd. Jasno je odeljeno prirodnim nagibom terena, kao što je prikazano na slici 2, i obuhvata ukupnu površinu od oko 4,000 km².

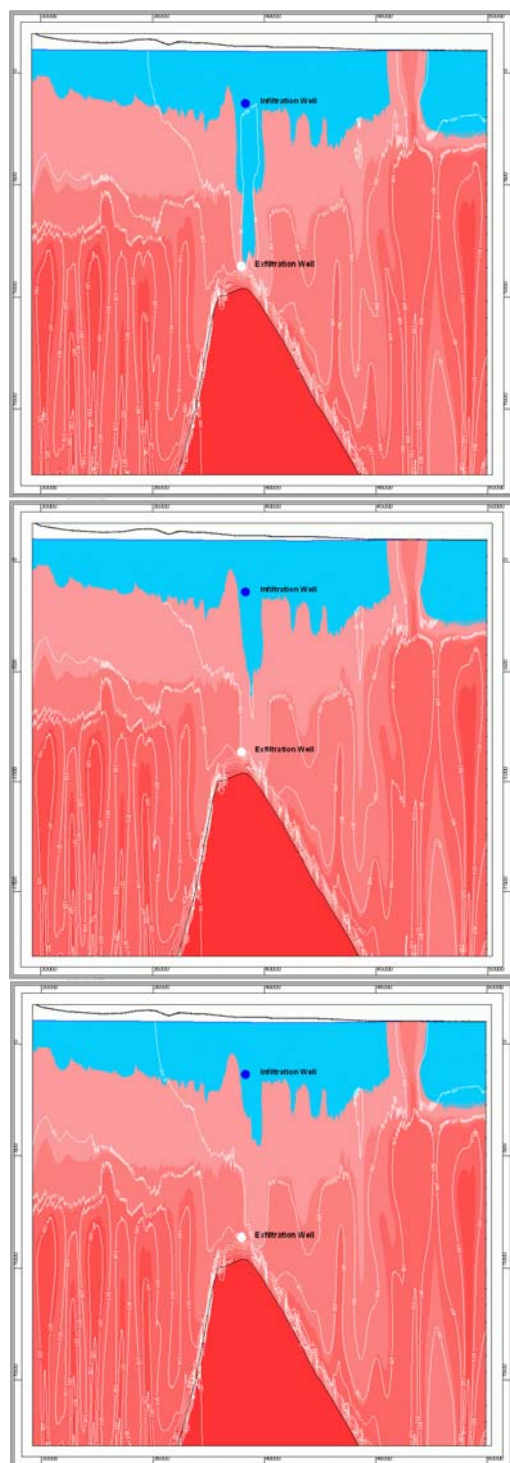
Proučavano područje je pokriveno 3D mrežom konačnih elemenata, koja je sastavljena od 3 miliona elemenata. Osnova vodonosnog sloja je brežuljkasta i dubina varira po proučavanom području.

Presek u pravcu sever-jug, na slici 3, pokazuje da su toplota i visoke temperature od 130 - 140°C skoro ravnomerno raspoređene u geološkoj podlozi. U oblastima gde postoji rashlađujući doticaj, postoji uticaj na temperature mešanjem i stvaranjem konvektivnih ćelija. Tako da se mogu definisati dva različita sistema: karstni i klastični sistem.



Slika 3. Tečenje podzemne vode i distribucija toplote – podužni presek sever-jug (gore: raspored temperatura; dole: konvektivne ćelije)

Sledeći rezultati pokazuju efekte različite količine vode koja se eksploatiše i vraća u sistem (po korišćenju), da bi se pokazala osetljivost sistema (slika 4).



Slika 4. Prognoza temperature podzemne vode usled ispumpavanja i reinjeksijske sledećih količina: 150 000, 60 000 i 30 000 m³/god. posle 200 meseci, respektivno

5. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir s jedne strane negativan uticaj na životnu sredinu usled ispuštanja korišćenih termalnih voda u površinske tokove i neželjene efekte gubitka hidrostatickog pritiska u akviferu na rad bunara, reinjeksijske nezagadjene korišćene termalne vode se pojavljuje kao rešenje bez alternative. Međutim, reinjeksijske korišćene vode može da utiče na osetljivi sistem, postepeno hladeći "rezervoar".

Kako prirodni sistemi konstantno teže minimumu energije koji može biti dostignut monotonim opadanjem unutrašnje energije, svaki poremećaj ravnoteže će prouzrokovati da sistem pokuša da izjednači ovaj poremećaj. U slučaju povlačenja ili dodavanja energije, konvekcijom ili kondukcijom će se izjednačiti toplotni deficit.

U datom primeru, velike količine vode koje se ispumpavaju mogu dovesti do iscrpljivanja izvora za relativno kratko vreme. Smanjenje proizvodnje dozvoljava duže trajanje izvora. Dakle, preporučuje se određivanje količine vode za ispumpavanje i reinjeksijsku u sistem, za svaku lokaciju pojedinačno. Poznavanje samog sistema i numeričko modeliranje najbolje konfiguracije daje tehničku osnovu za opravdane investicije.

LITERATURA

- [1] Liebe P.: Thermal Water Resources in Hungary, Their Utilization and Protection - Hydrological Institute of Vituki Plc., 2001
- [2] Liebe P.: Guide: Groundwaters in Hungary - Hydrological Institute of Vituki Plc., 2001
- [3] König Ch. & Linder N.: Sustainable Use of Thermal Water - Modelling Approach. – Thermal Innovation International Conference, Debrecen, Hungary, 2005
- [4] Miklós A. & György S.: Geothermal Development in Hungary-country update report 1995.-1999.- Hungarian Geothermal Association
- [5] Rudić Ž.: Environmental Pollution Prognosis after Utilization of Thermal Water in Hungary, Bochum, 2006
- [6] SPRING[®], User's Manual Version 3.0, delta h Ingenieurgesellschaft, Dortmund

A 3D HEAT TRANSPORT MODEL FOR THE SUSTAINABLE USE
OF THERMAL WATER IN HUNGARY

by

Dr Christoph M. KÖNIG, Mr Željka RUDIĆ
Delta-h, Dortmund

Summary

An evaluation model is created for the understanding of groundwater conditions and thermal transfer observation. For the numerical modeling the coupled heat transport and groundwater flow processes, the FEM based software package SPRING[®] has been used. Coupled modeling of saturated-unsaturated flow and

non-linear leakage has been considered in the view of non-linearity of the density and viscosity dependent flow.

Key words: finite elements, heat transport, density dependent, regional scale

Redigovano 21.08.2006.