

Szegedi Tudományegyetem  
Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék  
Földtudományok Doktori Iskola

**ALJZATI FLUIDUM-TÁROLÓK  
KOMPLEX REPEDÉSHÁLÓZAT VIZSGÁLATI MÓDSZEREN ALAPULÓ  
HIDRODINAMIKAI ÉS HŐTRANSZPORT MODELLEZÉSE**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Vass István

Témavezetők:

Dr. M. Tóth Tivadar  
tanszékvezető, egyetemi tanár

Dr. Szanyi János  
tudományos főmunkatárs

Szeged  
2013

## **I. Bevezetés, célkitűzések**

Az Alföld alatt nagy kiterjedésű gravitációs áramlási rendszer húzódik, melyet helyenként vékonyabb, hol kivastagodó üledékes zóna választ el a mély, sok helyen túlnyomásos, repedezett kristályos és karbonátos aljzati rezsim által tárolt fluidum-rendszerektől.

Az aljzati komplexum nagy mélysége ellenére nem impermeábilis, másodlagos porozitása és tektonizáltsága révén különböző korú és összetételű fluidumok tárolódnak benne. Ahol kvázi impermeábilis fedőüledékek rakódtak le nagy vastagságban, a túlnyomás általában megőrződött és az áramlási rendszer elszigetelődött a felette elhelyezkedő hidrosztatikus rezsimtől. Azokban a nem ritkán előforduló geológiai-hidrogeológiai szituációkban azonban, ahol az aljzat morfológiája miatt a szigetelő üledékes réteg elvékonyodott vagy hiányzik, a hidraulikai kapcsolat ki tudott alakulni a két zóna között. A mélyebb, túlnyomásos rendszer magas oldott anyag tartalmú, idősebb vizeinek jelenlétét a pannóniai és pleisztocén üledékekben geofizikai és geokémiai módszerekkel több helyen is kimutatták. Ezeknek a területeknek a vizsgálata mind szénhidrogén bányászat, mind geotermikus energia kutatás szempontjából kiemelkedő jelentőségű.

A disszertációm első része a repedezett közettestek töréshálózatának matematikai jellegű vizsgálatára épül. Adott törérendszer valóságghú leírásához szükséges független tulajdonságok a repedés hosszúság eloszlás, a töréssűrűség és a repedéscsoportok relatív dőlése, melyek ismeretében az összefüggő, perkolációs klaszterek nagysága megadható. A reprezentatív elemi térfogat származtatása e három alapparaméter függvényében szintén származtatható.

Az értekezés második része a két alapvetően eltérő viselkedésű áramlási rendszer hidrodinamikai és hőterjedési folyamatainak komplex leírásával foglalkozik, melyet numerikus modellezési vizsgálatok elvégzésével valósítottam meg, és alapjául a diszkrét repedéshálózatokon végzett módszertani elemzések (perkoláció és reprezentatív elemi térfogat) eredményeit használtam fel. Célom a következő feltevésekre, kérdésekre való magyarázatok és válaszok megtalálása volt:

- A repedéshálózatok – összefüggőségi viszonyainak feltérképezése hogyan valósítható meg a legfontosabb geometriai paraméterek alapján; hogyan függ az összefüggőség az input paraméterektől?
- Ezek a származtatott paraméterek egyértelműen meghatározhatók-e, vagyis előrejelezhető-e biztonsággal a törésrendszerek térbeli megjelenése, viselkedése a kőzetmintákon mérhető repedésparaméterek alapján?
- Milyen minimális homogén elemi térfogat választható repedezett kőzetek esetén, mennyire változik ez a térfogat a törések térbeli sűrűségének, hosszúságának és orientációjának függvényében?
- Milyen módszer alkalmazható olyan esetben, amikor porózus és repedezett képződmények fluidum-áramlási tulajdonságait akarjuk vizsgálni egy rendszerben?
- Az aljzatban tárolt fluidum milyen irányokból kaphat utánpótlást, milyen áramlási pályák lehetségesek?
- Milyen hidraulikai kapcsolat van a repedezett aljzati tároló és az üledékes fedőképződmények között?
- Hogyan befolyásolja az aljzati litológia és geometria az áramlást, változik-e a szivárgás az azonos összetételű kőzetblokkok helyzetének megváltozása következtében?
- Hogyan módosul az áramlási kép a szerkezeti, tektonikai változatosság hatására?

- Hogyan kapcsolódhatnak be az aljzati fluidumok a fiatalabb, felső-pannóniai – pleisztocén rétegek gravitációs áramlási rendszerébe?
- Mennyire érzékeny a modell az egyes hidrodinamikai paraméterek, elsősorban a szivárgási tényező változására?
- Milyen mértékű anomáliát okoznak az aljzati metamorf dómok a hőmérsékleti mezőben?
- Milyen szerepe van a konvektív, illetve konduktív hőterjedésnek a hőmérsékleti viszonyok kialakulásában?

## **II. Alkalmazott módszerek**

A bevezetésben feltárt hidrogeológiai rendszerek hidrodinamikai és hőtranszport folyamatainak vizsgálata a hagyományos módszerekkel igen nehézkes, ugyanis a porózus közeg áramlási viszonyainak numerikus modellezésére alkalmas szoftver rendszerek nem képesek megfelelően kezelni a repedezett tárolókra jellemző szerkezeti elemeket. Ennek megoldását olyan összetett repedéshálózat vizsgálati módszer és modellezési eljárás alapján végeztem, ami egyúttal eszközt nyújt azokra a problémákra, melyek elsősorban kristályos kőzettestek által felépített rezervoárok fluidum-áramlási sajátosságaira kívánnak megoldást találni.

A módszer lényege, hogy a numerikus modell struktúrájába szisztematikusan beépítjük a repedezett kőzetestről nyert információkat. Először a repedezett kőzetest egyedi töréseinek és töréshálózatának legfontosabb paramétereit (repedéssűrűség, töréshosszúság-, nyitottság eloszlás, orientáció) adjuk be egy alkalmas diszkrét töréshálózat szimulátorba. A sztochasztikusan generált töréshálózatokon ezután további hidrodinamikai paramétereket számítunk, ezen kívül reprezentatív elemi térfogat és perkolációs vizsgálatot készítünk. Ezek az információk végül

egy ekvivalens kontinuum modellben fognak szerepelni a hidrodinamikai és hőtranszport számítások bemeneti paramétereiként. A folyamat egészét tekintve valójában egy hibrid típusú modellezés valósul meg a diszkrét repedések és homogenizált áramlási tér összekapcsolásával.

Az egységesített repedésparaméterek (REV – cellaméret, összefüggő repedés csoportok – effektív porozitás, permeabilitás tenzor – szivárgási tényezők), valamint a porózus közetek paramétereinek importálása már a szokásos módon történik a véges elemes és véges differencia elven működő numerikus modellező rendszerekbe.

### **III. Eredmények tézisszerű összefoglalása**

1., A repedéshálózatok – fluidum-átjárhatóság szempontjából kritikus – perkolációs viszonyai meghatározhatók a legfontosabb geometriai törétparaméterek, mint repedéshosszúság eloszlás, repedésorientáció és repedéssűrűség alapján. Az említett geometriai paraméterek és a repedéshálózat összefüggősége közötti matematikai kapcsolat explicit függvénnyel nem írható le. A kapcsolat meghatározására egy DFN modellezési módszer felhasználásával olyan nomogram sorozatot készítettem, amely segítségével bármely ismert paraméterekkel rendelkező töréshálózat perkolációs jellemzői meghatározhatók.

2., A nomogramok segítségével az egyes közettípusokra jellemző repedéshálózatokat  $E-D-\alpha$  ( $E$ : hosszúságeloszlás hatványkitevője,  $D$ : fraktál dimenzió,  $\alpha$ : relatív dőlés) paramétereik alapján 3 fő perkolációs csoportba soroltam. Az első típus esetében, alacsony paraméter értékeknél az összefüggő rendszerek mérete elenyésző, az összes repedésnek csak maximum 10 százaléka alkot kommunikáló hálózatot. A második esetben,

magas paraméter értékeknel a törések több mint 80 százaléka összefüggő hálózatot alkot. Mindezekkel ellentétes tulajdonságú a középső zóna jellemző töréshálózata, ahol az összefüggő rendszer mérete lényegében nem megjósolható. Ez a rendszer reagál legérzékenyebben az alapparaméterek mérési bizonytalanságaira is.

A második legnagyobb egymással kommunikáló törésekből álló csoport az input paraméterek ( $E$ ,  $D$  és  $\alpha$ ) értékeitől függően akkor éri el maximumát, ha a szóban forgó repedéscsoport a perkolációs küszöb környezetébe esik – ez alatt és felett a kimaradó törésekből összeállt csoportok mérete a paraméterek növekedésével egyre jobban elmarad a legnagyobb klaszter méretétől.

3., Adott  $E$ - $D$ - $\alpha$  paraméterhármassal rendelkező töréshálózat reprezentatív elemi térfogatának meghatározására modellezési eljárást dolgoztam ki. A módszer lényege, hogy ezeket a paramétereket meghatározott intervallumon változtatva, minden paraméterhármassal azonosan valószínű porozitás értékeket generálunk egyre növekvő felbontású rácshálók esetén. Ezután a porozítások átlagát és szórását feljegyezve, a variációs koefficiens számításával határozzuk meg a reprezentatív elemi térfogatot.

4., A Pannon-medence kristályos aljzati kiemelkedései és neogén fedőképződményei között lejátszódó fluidum-áramlási és hőterjedési folyamatok vizsgálatára modellezési módszert dolgoztam ki. Eszerint a diszkrét repedéshálózat szimulátorral elvégzett perkolációs és REV számítások eredményei numerikus hidrodinamikai és hőtranszport modellbe kerülnek beépítésre, ahol a számszerűsítés a következőképpen zajlik:

- DFN szimulátorral számolt permeabilitás tenzor konvertálása horizontális és vertikális szivárgási tényezőkké;
- REV vizsgálat elvégzése a DFN szimulátorral számolt porozitás alapján, REV megfeleltetése, mint homogén cellaméret;
- perkolációs vizsgálat elvégzése a DFN szimulátor használatával, majd az összefüggő és nem összefüggő repedéscsoportokból effektív porozitás becslése.

5., Az Alföld egyes kiemelt helyzetben lévő aljzati kőzetblokkjaiban jelentős mennyiségű fluidum van jelen, melynek eredete eddig nem teljesen tisztázott. A disszertációmban részletezett numerikus modellezés a preneogén repedezett tárolók feltöltődési mechanizmusát mutatja be. Számításaim szerint a helyenként észlelhető extrém túlnyomás ellenére az aljzati magaslatok fluidum utánpótlása mindvégig biztosított a lejtőre települő fiatalabb üledékes képződmények felől. Ez az áramlási pálya magyarázatot ad az aljzati képződmények szénhidrogén tárolóvá válásáról, illetve igazolja a geotermikus energia kutatás szempontjából értékesnek nyilvánítható speciális területek jelenlétét.

6., A hidrodinamikai modell bizonyítékkal szolgál arra, hogy a túlnyomásos aljzati magaslatokba oldalirányból beszivárgó fluidum felfelé továbbáramlik a pannóniai üledékes kőzetekbe, ahol az aljzati komplexumok teteje felett jellemzően szétseprűződő nyomvonalak mentén vagy közvetlenül a sekély gravitációs vízáramlási rendszerek regionális megcsapolási zónáit táplálja, vagy azok beszivárgási pályái által eltérítve folytatja útját a felszín felé.

7., Az 5. és 6. pontban említett folyamatok geotermikus vonatkozásának ismertetésére numerikus hidrodinamikai és hőtranszport modellt készítettem. A szimuláció eredménye arra szolgáltat bizonyítékot, hogy a geotermikus és hidrogeológiai folyamatok az aljzati kristályos magaslatok csúcsának környezetében pozitív hőanomáliát indukálnak. A modellezett területen, az üledékes fedőképződmények alsó szakaszán ennek értéke kb. 20 °C, mely hatás felfelé fokozatosan csökken és a magaslatok felett mintegy 2-300 méterrel gyakorlatilag megszűnik, kiegyenlítődik.

8., A túlnyomásos aljzati magaslatok csúcsán, ahol az üledékes impermeábilis fedőképződmények hiányoznak, a központi zóna feletti üledékekben jelentkező pozitív hőmérsékleti anomália kialakulásában mind a konduktív, mind a konvektív hőterjedés szerepet játszik. A két tényező egyéni hatására analitikus és numerikus számításokkal következtettem, amit a Peclet-szám meghatározásával is sikerült alátámasztani. Eszerint a konduktív és konvektív hőterjedés közel egyforma hatást fejt ki a vizsgált földtani-hidrodinamikai rendszerben, ami nagyrészt az extrém aljzati túlnyomásnak köszönhető.



#### **IV. Publikációs lista**

**M. Tóth, T., Vass, I., Schubert, F. (2006).** Repedéshálózat szimuláció és paleofluidum rekonstrukció szerepe kommunikáló törésrendszerek vizsgálatában. In: Török Ákos, Vásárhelyi Balázs (ed.) Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2006. Budapest, Hungary, Műegyetemi Kiadó, p. 163-184.

**M. Tóth, T., Vass, I., Szanyi, J., Kovács, B. (2007).** Water and heat flow through uplifted metamorphic highs in the basement of the Pannonian Basin. In: Groundwater and Ecosystems. Lisbon, Portugal, 17-21/Sep/2007, p. 503-512.

**M. Tóth, T., Vass, I. (2011).** Relationship between the geometric parameters of rock fractures, the size of percolation clusters and REV. J. Mathematical Geosciences, 43, p. 75-97.

**Vass, I., M. Tóth, T. (2007).** A Reprezentatív Elemi Térfogat (REV) meghatározása sztochasztikusan generált repedéshálózatok vizsgálatával. In: Török Á, Vásárhelyi B (ed.) Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2007. Budapest: Műegyetemi Kiadó, p. 53-62.

**Vass, I., M. Tóth, T., Szanyi, J., Kovács, B. (2009).** Az aljzati kristályos háta szerepe az Alföld fluidum áramlási és hőtranszport folyamataiban. In: M. Tóth Tivadar (ed.) Magmás és metamorf képződmények a Tiszai Egységben. Szeged, Geolitera SZTE Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, p. 325-339.