

Földtudományi Doktori Iskola

**Töréses vetőzónák szerkezete és hidraulikai jelentősége a Pannon-  
medence metamorf aljzatában**

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**Szerző**

**Molnár László**

**Témavezetők**

**Dr. M. Tóth Tivadar**

**Dr. Schubert Félix**

**Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék  
Természettudományi és Informatikai Kar  
Szegedi Tudományegyetem**

**Szeged  
2015**

## I. Bevezetés és célok

A töréses vetőzónák rendkívül heterogén szerkezeti egységek, melyek jelentős hatással bírnak a felső kéreg hidrogeológiai rendszerére. Ezen zónák fő szerkezeti és hidraulikai vonása, hogy rendkívül jelentős idő- és térbeli változékonyságot mutatnak: például egyes, fejlődésük korai szakaszában permeábilis nyírási zónák, későbbi, „érett” fázisukban zárótestként viselkedhetnek. A vetőzónák gyakran jól meghatározható belső szerkezettel rendelkeznek, melynek legfontosabb részegységei elsősorban a Caine et al. (1996) és Evans et al. (1997) munkái alapján definiált „magzóna” illetve a kapcsolódó „kárzóna”.

A Pannon-medence kristályos aljzatában számos repedezett, metamorf szénhidrogén tározó található, melyek hidrogeológiai rendszerében a töréses vetőzónák kulcsszerepet játszanak. A terület legmélyebb süllyedékének, a Békés-medencének peremén számos ilyen repedezett aljzati tározó található, melyekben jelentős mennyiségű szénhidrogén halmozódott fel (például Dévaványa, Endrőd, Sarkadkeresztúr mezők). Közülük az egyik legjelentősebb a Szeghalom-dóm, mely a medence északi peremén helyezkedik el és javarészt különböző metamorf fokú variszkuszi gneiszekből és amfibolitokból épül fel. Ezen inkompatibilis kőzetblokkok a túlnyomórészt az alpi és neogén szerkezeti hatások eredményeként kerültek szomszédos helyzetbe, mely folyamat együtt járt széles töréses zónák kialakulásával. A gyakran jelentős porozitás növekedéssel járó folyamatnak eredményeként ezen zónák a metamorf háta hidraulikai rendszerében migrációs útvonalat alkothatnak.

A Szeghalom-dóm felépítését M. Tóth (2008) összegezte, definiálva a terület legjellegzetesebb litológiai típusait (különböző gneisz, amfibolit és gránit típusok) illetve a kristályos-hát ideális kőzetoszlopát. Ezen túlmenően, Juhász et al. (2003) és Schubert et al. (2007) munkái összefoglalták a poszt-metamorf fluidum-evolúció főbb eseményeit, többek között meghatározva a szénhidrogén-migráció szakaszait és részletezve az aljzat és a szomszédos üledékes

testek hidraulikai kapcsolatát. Mindazonáltal, bár ezen munkák kiemelték a töréses zónák jelentőségét a terület szerkezeti alakulásában és fluidum-migrációjában, nem definiálták ezen síkok pontos térbeli elrendeződését.

A dolgozat célja a metamorf kőzettestekben kialakult aljzati töréses zónák jellegzetességeinek meghatározása, különös tekintettel a mikroszerkezeti, klasztometriai és kőzetmechanikai tulajdonságokra. Ezeken túl, a rendelkezésre álló maganyag és lyukgeofizikai adatsorok részletes elemzésének célja a vizsgált terület vetőzónáinak azonosítása volt, mely lehetőséget teremtett a Szeghalom környéki aljzat kiemelkedés poszt-metamorf szerkezeti fejlődésének részleges rekonstruálására. Végül, de nem utolsó sorban a dolgozat vizsgálja a főbb nyírási zónák szerepét a kristályos aljzat szénhidrogén rendszerében.

## **II. Alkalmazott módszerek**

A Szeghalom-dóm A-180-as fúrása által feltárt vetőzóna tektonit típusainak pontos meghatározásához a rendelkezésre álló magminták és vékonycsiszolatok alapos petrográfiai, makro- és mikroszerkezeti vizsgálatát végeztem el.

A töréses deformáció hatására kialakult klasztok geometriai jellemzőinek méréséhez kőzettani képanalízist (Petrographic Image Analysis, PIA) alkalmaztam, mag és csiszolat léptékben egyaránt. A magminták feldolgozása magszkenner felvételek alapján történt, melyek a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Imageo magszkennerével készültek. A mikroléptékű elemzéshez a vizsgált vékonycsiszolatok szerkezetileg reprezentatív részeiről készült felvételeket használtam fel. A klasztometriai vizsgálatokhoz az ImageJ keretprogram alábbi paramétereit használtam fel: szemcseméret-eloszlás (Particle Size Distribution, *PSD*), szemce bonyolultság (Clast Complexity,  $D^R$ ), megnyúltság (Aspect Ratio, *AR*), cirkularitás (Circularity, *Circ*), konvexitás (Convexity, *Conv*) és szemcse-irányítottság (Clast Orientation, *Angle*).

A szemcsegeometriai eredmények nagyméretű adatbázisa lehetővé tette az adatok többváltozós statisztikai feldolgozását, melynek elsődleges célja a töréses deformáció során domináns mechanizmusok meghatározása volt. Az adatok IBM SPSS 20.0 Statistics szoftverrel történő elemzésével a következő kérdésekre igyekeztem választ keresni:

- 1) milyen biztonsággal különíthetők el a tektonit típusok geometriai jellegzetességeik alapján?
- 2) mely paraméterek alkalmasak leginkább az egyes csoportok jellemzésére?
- 3) miként jelennek meg a különböző deformációs fázisok a paraméter értékek változásaiban?

Hogy megállapítást nyerjen, mely paraméterek és milyen mértékben vesznek részt a különböző tektonitok elkülönítésében, diszkriminancia függvényeket generáltam, mind csoport páronként, mind az összes csoportra együttesen. A többdimenziós skálázás célja a minták elhelyezése a mért paraméterek elméleti, hat dimenziós terében és a szemcsék geometriai fejlődésének ábrázolása volt.

A domináns kőzettípusok kőzetmechanikai jellegzetességeit egytengelyű töréskereszt eredményei alapján vizsgáltam, mely tesztek összhangban álltak a Nemzetközi Kőzetmechanikai Szövetség ajánlásaival (ISRM, 2006). A kísérletek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Kőzetmechanikai Laboratóriumában zajlottak.

A rendelkezésre álló hét, Szeghalom-dóm központi részéről származó kút lyukgeofizikai kalibrálása a maggal mintázott mélységintervallumok kőzettani értelmezése alapján történt, melyben kulcsfontossággal bírt az aljzatot közel 100%-os magnyereséggel harántolt A-180-as fúrás. A karotázs adatsorok statisztikai alapú feldolgozásához ismételt IBM SPSS 20.0 Statistics szoftvert alkalmaztam. A diszkriminancia-függvény alapú litológiai elkülönítéshez a potenciál, lyukátmérő, ellenállás, sűrűség, neutron porozitás, akusztikus és természetes gamma szelvényeket használtam fel. Ennek első lépéseként a mért lyukgeofizikai paraméterek megfelelő lineáris kombinációjából számított függvényekkel elkülönítettem a deformálatlan falkőzet és deformált

testek mélységszakaszait. Ezt követően az előző lépésben deformáltak minősített intervallumok osztályozását végeztem el, különböző tektonitokhoz való hasonlóságuk alapján (breccsa, kataklázit, vetőagyag), meghatározva töréses zónák belső szerkezetét. A számított függvények a vizsgált kutak maggal nem ismert szakaszain történő alkalmazásával minden egyes kútra egy 1D-s litológiai oszlopot kaptam. A kutak közötti térbeli korreláció alapján meghatározhatóvá váltak az Szeghalom-dóm vizsgált területének fő szerkezeti elemei.

### III. Új tudományos eredmények

1. A Szeghalom-dóm A-180-as fúrása által feltárt széles nyírási zónában alapvetően három uralkodó tektonit típust különítettem el: vetőbreccsákat, kataklázitokat és vetőagyagokat. A minták jelentős hányada durva vetőbreccsa volt, melyek kismértékű elmozdulásra utaló kevéssé zúzott szerkezettel és uralkodóan centiméteres nagyságrendű szemcsemérettel rendelkeztek. Számos mintában a kataklázos deformáció jellegzetes mikroléptékű nyomait lehetett felfedezni, mint például az erőteljes szemcseméret csökkenés, a mátrixanyag arányának jelentős növekedése illetve a változó mértékű nyírási irányítottság megjelenése. A leginkább tektonizált közettípust a vetőagyagok alkották, melyek vékony szalagokként, elszórtan megjelenve a főbb elmozdulási síkokat alkotják.

2. A szemcsegeometriai PIA paraméterek többváltozós statisztikai feldolgozása rámutatott a szemcseméret-eloszlás (*PSD*), szemcse-irányítottság (*Angle*), megnyúltság (*AR*), és cirkularitás (*Circ*) paraméterek fontosságára az egyes tektonit típusok osztályozásában. A csoportokat az azokra páronként és együttesen számított diszkriminancia függvények tisztán elkülönítették, mégpedig a fenti paraméterek felhasználásával. A függvények mindezek mellett hangsúlyozták a vetőbreccsa és kataklázit minták viszonylagos geometriai hasonlóságát, szemben a vetőagyagoknak definiált mintákkal.

3. A többdimenziós skálázás módszerével bizonyítottam, hogy a kevésbé deformált mintáktól a leginkább zúzottakig egy háromosztatú klaszt-fejlődési pálya határozható meg. A statisztikai módszer szintén rávilágított a vetőagyag minták egyedi morfológiai sajátosságaira. A vizsgálat első fejlődési szakaszaként a kezdeti deformációt határozta meg, ahol a kaotikus, irányítatlan szöveti képpel jellemezhető enyhén zúzott vetőbreccsák alakulnak ki. Az átmeneti fázisban a kataklázos folyás folyamata az uralkodó, míg a fejlődési pálya a vetőagyag minták esetén csúcsosodik ki, ahol az erős szemcseaprózódás, kerekítődés és az orientált szövet kialakulása jellemző.

4. A töréses vetőzónák fő szerkezeti elemeinek kőzetmechanikai tulajdonságait egytengelyű töréstesztek eredményei alapján határoztam meg. Ezek szerint a kárzóna extrém rideg testként jellemezhető az alacsony egytengelyű nyomószilárdság és breccsa-domináns összetétel mellett. Ezzel szemben a vetőagyagban gazdag magzóna rendkívül plasztikusan viselkedik, melyhez gyakran félképlékeny mikroszerkezeti bélyegek társulnak. Továbbá megállapítást nyert, hogy ebben a zónában gyakori jelenség volt a deformáció diszkrét síkokon történő koncentrálódása is, melyet az agyagos szalagok gyakori megjelenése is alátámaszt.

5. Az egytengelyű töréstesztek alapján egy jelentősen felkeményedő, magas nyomószilárdsággal és alacsony ridegségi mutatóval jellemezhető egységet határoztam meg a magzóna és a kárzóna határán. Ez az átmeneti szakasz feltehetően a töréses illetve képlékeny viselkedés kombinációjából alakulhatott ki és ennek eredményeként a nyírási zóna kőzetmechanikailag legellenállóbb zónájaként jellemezhető.

6. A felhasználható magminták illetve azok mélységintervallumaihoz kapcsolódó lyukgeofizikai paraméterek összehangolását követően meghatároztam a tektonizált szakaszok kőzetfizikai tulajdonságait. A jelenleg vizsgált metamorf litológiai környezetben legjellegzetesebb eltérés a deformálatlan mellékkőzet és töréses szakaszok között utóbbiak magas gamma illetve viszonylag

alacsonyabb ellenállás és sűrűség értékeiben mutatkozott meg. Az eredmények rámutattak, hogy a legintenzívebben zúzott magzóna még alacsonyabb sűrűség és ellenállás, illetve magas természetes gamma és neutron porozitás értékekkel jellemezhető. Ezzel szemben a kárzóna kevésbé zúzott szakaszain magasabb sűrűség és ellenállás illetve alacsonyabb gamma és neutron porozitás értékek dominálnak. Következő lépésben, a kapott eredményeket kiterjesztettem a magmintákkal le nem fedett egydimenziós kútoszlopokra, a vizsgált kutak korrelációjának céljából.

7. A Szeghalom-dóm kőzettani blokkjait elválasztó tektonikus határok meghatározása a kutak 1D-s litológiai oszlopainak korrelációja alapján történt. A szomszédos területek szerkezeti fejlődése és a kialakított kőzetváz modell alapján a definiált vetősíkokat alacsony szögű ( $<15^\circ$ ) feltolódásokként értelmeztem. Ezen töréses zónák kialakulása és így az eltérő metamorf fejlődéstörténetű blokkok szomszédos pozícióba kerülése legnagyobb valószínűséggel a késő krétában lezajlott, észak-északnyugati irányú, eoalpi kompressziós mozgásokhoz köthető. A Szeghalom környéki aljzat kiemelkedés szerkezetét tovább bonyolította a 100-150 méteres vertikális elmozdulással jellemezhető meredek normál vetők sorozata, melyek keletkezése feltehetően a középső-miocén extenziós tektonikai rezsimhez kapcsolódik. A Pannon-medence geodinamikai fejlődésének ezen szakasza okozhatta a vizsgált területen megfigyelhető árok-sasbérc szerkezetek kialakulását.

8. A szerkezetfejlődési eredmények illetve a rendelkezésre álló paleofluidum, termelési és repedésgeometriai adatok együttes értékelése rámutatott a töréses vetők megkerülhetetlen szerepére a szénhidrogén szomszédos mélymedencékből az aljzati háton keresztül a fedő üledékek felé történő migrációjában. Ezen túlmenően a deformált zónák szintén jelentős súllyal bírnak a metamorf háton belüli jól repedezett, elsősorban amfibolit testekbe történő áramlásban. A vázolt modell alapján, a vetők kárzónája korlátozott kiterjedése és térbeli előfordulása miatt elsősorban migrációs útvonalként viselkedik a jól repedezett kőzettestek irányába, mintsem aljzaton belüli tárolóként. A Szeghalom-dómon belüli szeparált hidrodinamikai alegységek kialakulása elsősorban

a többfázisú neogén szerkezetfejlődésre (M. Tóth et al., 2009) és a töréses zónák okozta jelentős permeabilitás anizotrópiára (Evans et al., 1997) vezethető vissza.



#### **IV. Publikációs lista**

Molnár L., Schubert F., M. Tóth T. (2012): Töréses tektonitok osztályozása geometriai paraméterek alapján. In: Török Á., Vásárhelyi B., (eds.) Mérnökgeológia-Közetmechanika 2011, 199- 211 p. Budapest, Hantken Kiadó

Molnár L., M. Tóth T., Schubert F. (2014): Statistical characterization of brittle and semi-brittle fault rocks: a clast geometry approach. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 49/4, 527-550 p.

Molnár L., Vásárhelyi B., M. Tóth T., Schubert F. (2014): Integrated petrographic - rock mechanic borecore study from the metamorphic basement of the Pannonian Basin, Hungary. In press, *Open Geosciences*, elfogadva 2014. október 13.-án.

#### **V. Konferencia közlemények**

Molnár L., M. Tóth T., Schubert F. (2013): Discrimination of brittle and semi-brittle tectonite types at borecore scale using geometric parametres. *A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet alkalmi kiadványa*, 1,; 11th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group (CETeG) (2013), Várgesztes, Hungary. 47.

Molnár L., M. Tóth T., Schubert F. (2013): Töréses szerkezetfejlődés a Szeghalom-dóm területén. 15. Székelyföldi Geológus találkozó, 53-56

Molnár L., M. Tóth T., Schubert F. (2013): Geometric classification of brittle and semi-brittle tectonites in borecore-scale. XVI. Congress of Hungarian Geomathematics and the V. Congress of

Croatian and Hungarian Geomathematics, 49-53 p., (ISBN 978-963-8221-49-0)

Molnár L., M. Tóth T., Schubert F. (2014): Post-metamorphic structural evolution of a Variscan basement high in the Pannonian Basin, SE High, *Geologia Sudetica*, 42., 61-65., 2014

## **VI. Hivatkozások**

Caine, J.S., Evans, J.P., Forster, C.B., 1996: Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24, 1025–1028.

Evans, J.P., Forster, C.B., Goddard, J.V., 1997: Permeability of fault-related rocks and implications for fault-zone hydraulic structure. *Journal of Structural Geology*, 19, 1393–1404.

ISRM, 2006: The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. International Society for Rock Mechanics, 628.

Juhász, A., M. Tóth, T., Ramseyer, K., Matter, A., 2002: Connected fluid evolution in fractured crystalline basement and overlying sediments, Pannonian Basin, SE Hungary. *Chemical Geology*, 182, 91-120.

M. Tóth, T., 2008: Repedezett, metamorf fluidumtárolók az Alföld aljzatában. MTA Doktori dolgozat.

M. Tóth, T., Redlerné, T.M., Kummer, I., 2009: Szeghalom környéki aljzat kiemelkedés szerkezetfejlődése és felépítése közettani adatok alapján, *Magyar Geofizika*, 29, 143-151.

Schubert, F., Diamond, L.W., M. Tóth, T., 2007: Fluid-inclusion evidence of petroleum migration through a buried metamorphic dome in the Pannonian Basin, Hungary. *Chemical Geology* , 244, 357–381.