

Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar
Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék
Környezettudományi Doktori Iskola
Környezetföldtan Program

A GYÓDI SZERPENTINIT TEST FEJLŐDÉSTÖRTÉNETE ÉS KÖRNYEZETFÖLDTANI VONATKOZÁSAI

Doktori (PhD) értekezés tézisei

KOVÁCS GÁBOR

Témavezető:
DR. M. TÓTH TIVADAR

DR. SZEDERKÉNYI TIBOR

Szeged
2007

A KUTATÁS INDOKOLTSÁGA

A Paksi Atomerőműben termelődő radioaktív hulladékok elhelyezése bizonytalanná vált a '90-es években kialakult politikai–gazdasági helyzet kapcsán. Magyarországnak újra kellett gondolnia a fűtőelem ciklus végleges lezárásához vezető lépések stratégiáját. A Püspökszilágyiban működő tároló kapacitása nem elegendő az elhasznált fűtőelemek tárolására. A Paksi Atomerőmű kiégett kazettáinak, valamint egyéb kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékoknak – a nemzetközi normák figyelembe vételével – meg kell oldani az országhatáron belül, mély geológiai formációba történő végleges elhelyezését. A fűtőelemek jelenleg az erőmű területén létesült tárolóban pihennek, mely 50 évre szóló működési engedéllyel rendelkezik. A pihentetés után a hulladékok véglegesen átkerülnek a földtani közegbe.

1997-ben a Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Intézete – a nemzetközi gyakorlat alapján – megjelölt néhány számításba vehető formációt az addig több szakaszban alaposan megkutatott (és az uránbányászat során feltárt) Bodai Aleurolit Formáció (BAF) mellett. A tanulmány a Gyódi Szerpentinit testet erre a célra potenciálisan alkalmas közettömegnek nyilvánította.

A doktori dolgozat annak az eldöntése céljából jött létre, hogy lehet-e megfelelő biztonsággal radioaktív hulladékot tárolni a földtani képződményben.

CÉLKITŰZÉS

A radioaktív hulladék tároló kialakításánál fontos tényező, hogy olyan geológiai formációban történjen a tároló kialakítása, ami – a hulladék aktivitásától függően – évszázadokra, évezredekre magába zárja a sugárzó anyagot anélkül, hogy abból bármi szennyezés a környezetbe jutna. A radioaktív hulladék lerakás kritériumrendszerében tételesen felsorolták a szűrés (screening) során kötelezően elvégzendő vizsgálatok körét, melyek messze meghaladják egy doktori dolgozat terjedelmét. Ezért az elvégzendő feladatoknak csak egy szűkebb területét választottuk. Céлом az volt, hogy megállapítsam: a szerpentinit test közettani értelemben megfelel-e radioaktív hulladék elhelyezésére. Ennek megvalósítása érdekében elvégeztem a közettest petrográfiai, szerkezetföldtani jellemzőinek a vizsgálatát. Nem foglalkoztam a hidrogeológia, a radioaktív migrációs jellemzők, a tektonikai és szeizmicitás témakörével.

A kitűzött cél megvalósításához az alábbi lépések során jutottam el:

1. A kőzettest heterogenitásának feltérképezése céljából vizsgáltam a szerpentinít ásványos összetételét, a kőzetalkotó ásványok geometriai viszonyait. A szöveti, mikroszvzeti vizsgálatokkal az ásványtársulások generációit különítettem el. Osztályoztam a testet alkotó kőzettípusokat.
2. Az ásványkémiai és analitikai vizsgálatokkal pontosítottam a kőzetalkotók típusát. Geotermométerek alkalmazásával meghatároztam az ásvány paragenezisek kialakulásának egyensúlyi hőmérsékletét.
3. Mezo– és mikroléptékben leírtam és osztályoztam a plasztikus és töréses deformációs bélyegeket. Az eredményeket a termometriai számításokkal ötvözve rekonstruáltam a kőzettest deformáció történetét.
4. A kőzetkémiai elemzéseknél vizsgáltam a fluidum–kőzet kölcsönhatása során létrejött ásványtani és kémiai változásokat, az átalakuláshoz kapcsolható elem–mobilizációs folyamatokat.
5. Az elkülönített kőzettípusok kőzetfizikai jellemzőinek a vizsgálata során megállapítottam a kőzetben lévő gyengeségi zónákat és potenciális fluidum áramlási pályákat.
6. Elkészítettem a Gyódi Szerpentinít test kőzetváz modelljét, mely reprezentálja a test anizotrópiáját az azt kialakító folyamatok tükrében. Ez alkalmas lehet arra, hogy a későbbiekben hidrogeológiai, áramlási modelleket építsenek rá.

ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A **petrográfiai vizsgálatok** során minden saját gyűjtésű mintáról makroszkópos leírást és összesen mintegy száz vékonycsiszolatot készítettem. Továbbá újravizsgáltam a tanszéki csiszolatgyűjtemény (80 db) és Papp Gábor anyagát (20 db).

Az **ásványos összetétel analitikai meghatározását** röntgendiffrakcióval, elektron–mikroszondával, elektronmikroszkóppal és Raman–mikrospektroszkópiával végeztük el.

A karbonát ásványokat az Evamy (1963) által kidolgozott *festési* eljárással különítettem el.

A **röntgendiffrakciós vizsgálatok** (XRD) a Szegedi Tudományegyetem TTK Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén és a Veszprémi Egyetem Föld- és Környezettudományi Tanszékén készültek részben szeparált, részben teljes kőzetmintákon és a <2 µm-es frakciókon.

A mikroszondás *ásványkémi*ai vizsgálatok a Magyar Tudományos Akadémia Geokémiai Kutatóintézetében és a Torontói Egyetemen készültek.

A *Raman-mikrospektroszkópia* mérések a leobeni egyetemen (Montanuniversität Leoben, Ausztria) történtek.

Az *elektronmikroszkópos* vizsgálatok a Szegedi Tudományegyetem TTK téremissziós pásztázó elektronmikroszkópján készültek.

A minták **kémiai összetételének** meghatározása az alábbi módszerekkel történt:

A *főelem összetétel* meghatározások (9 minta) a Magyar Állami Földtani Intézetben ICP-OES módszerrel, illetve a Veszprémi Egyetemen 5 minta fő- és nyomelem összetételének meghatározása XRF módszerrel történt. 8 minta *nyomelem* tartalmát az MTA Talajtani-Agrokémiai Kutatóintézetében ICP-AES módszerrel határozták meg.

5 minta nyomelem összetételének meghatározására került sor a kanadai (Torontó) XRAL Laboratóriumban röntgenfluoreszcens és tömegspektrometria (MS) módszerrel.

A **kőzetfizikai** jellemzők meghatározása a JPTE Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar Geotechnikai Laboratóriumában, a szilárdsági vizsgálatok az ÉMI Rt. Pécsi MÁ. laboratóriumában készültek. A *komputer tomográfiai* (röntgen CT) vizsgálatok a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében történtek

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kimutattam a Gyódi Szerpentinit testen belül a szerpentinit típusok térbeli változását a nyírási zónák távolságának függvényében.

A teljes fűrási kőzetoszlop maganyagának átvizsgálása során reprezentatív minták alapján tipizáltam a szerpentinitet. Elkülönítettem a típusos szerpentinit palás és basztitos változatát, valamint az ultrabázit tartalmú szerpentinitet. Az egyes típusok elhelyezkedése alapján megállapítottam, hogy azok az O'Hanley és Offler (1992) által leírt „kernel” szerkezethez hasonlítanak. A nyírási és egyben a fluidum mozgási pályáktól való távolság függvényében kimutatható az infiltráció-vezette metamorfózis hatásának csökkenése. A fűrási rétegsorban 105 m mélységben jelölhető ki egy amfibol-talk összetételű nyírási zóna, melynek közvetlen környezetében a palás szerpentinit, majd a basztitos szerpentinit és legtávolabb az ultrabázit tartalmú szerpentinit található.

2. Ásványtani, szöveti és geokémiai vizsgálatok alapján a Gyódi Szerpentinit protolitját kimerült felsőköpeny eredetű, harzburgitos összetételű peridotittal azonosítottam.

A szerpentin protolitjának megállapítása irodalmanként változó. Szederkényi (1974a, 1976b, 1977a, b) piroxenitnek, illetve dunitnak határozta meg. Ghoneim & Ravasz Baranyai (1969), Ghoneim (1978, 1979) szerint a kiindulási kőzet lherzolit, piroxenit lehetett. Végül Balla (1983, 1985) a kiindulási kőzetet olivin-ensztaít tartalmú ultrabázitnak, harzburgitnak határozta meg.

Az ásványtani és geokémiai vizsgálatok alapján a Gyódi Szerpentin homogén, protolitját kimerült felsőköpeny eredetű, harzburgitos összetételű peridotittal azonosítottam. A harzburgit primer magmás ásványegyüttesét klintoensztatit–ensztatit–olivin–krómit alkotja. A korábban aplitnak vélt minta ultrabázisos kumulátum (SiO_2 tartalma <42 tömeg%).

A geokémiai jellegzetességek alapján a protolit bazaltos összetevőkben elszegényedett parciális olvadás reziduuma. A kőzet magas 89–91 Mg#, az olivinek 0,06-0,3 tömeg% NiO tartalma egyértelműen bizonyítja köpeny eredetét és különbözőségét a kumulátumoktól.

3. Termometriai számításokkal igazoltam a protolit felsőköpeny körülmények közt történt kialakulását és többszakaszos retrográd metamorfózist.

A termometriai számítások és modellezés alapján a protolit 1030-1080°C és kb. 8,5 kbar PT viszonyok között alakult ki. A felsőköpenyben több deformációs esemény és átalakulás érte a harzburgitot. Az ásványos összetételben az első kimutatható változás a klintoensztatit ensztatittá történő átalakulása. Felsőköpeny PT viszonyok mellett végbement plasztikus deformációra utalnak a kihengerelt olivin porfiroklasztok és a deformált krómit szemcsék. Magas hőmérsékleten végbement átalakulás nyomát őrzik az ensztatitok átkristályosodásával kialakult poligonális szövetű, kis méretű ensztatit szemcsék (En₂).

A protolit felsőköpeny körülményekből történő fokozatos felemelkedését bizonyítja az ensztatitból kialakuló antofillit. A termometriai számítások alapján az ensztatit porfiroklasztok szegély zónájának összetétele alapján egy 630-680 °C közötti esemény mutatható ki, ami egybeesik az amfibolok kialakulási hőmérsékletével. Az antofillit in-out reakciója alapján a nyomás 4 kbar alatti és valószínűleg 2 kbar feletti. Kialakulásuk során az S₀ foliáció mentén orientáltan rendeződtek el az amfibolok.

A további emelkedés során a fokozódó hidratációt bizonyítja a 400–500 °C körül, a piroxének-amfibolok átalakulása során megjelenő talk.

4. Igazoltam a protolit óceáni kéreg magasságba történt felemelkedését és az óceánaljzati metamorfózis hatására bekövetkezett statikus hidratációját.

A protolit fejlődésének következő szakaszát az óceánaljzati metamorfózis zónájába emelkedett peridotit hidratációja jelenti. A kialakult pszeudomorf szövetű szerpentinit bizonyítja, hogy a szerpentinitesedés statikus körülmények között játszódott le. A protolit két kőzettani egységének: az olivin és a piroxén-amfibol tartalmú doménnek a hidratációja szövetileg eltérő. Az olivin doménből pszeudomorf szövetű szerpentinit fejlődik, a piroxénekből basztitok képződnek. A primer alkotókból lizardit–krizotil–klinoklór–magnetit paragenézis jött létre. A klorit termometriai számítási eredmények alapján a szerpentinitesedés 230-250 °C között játszódott le.

Az elem-mobilizációs vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a szerpentinitesedés geokémiaileg izokémikus folyamat a SiO_2 , MgO , CaO , TiO_2 , NiO oxidokra nézve. Gazdagodást mutattam ki a Fe_2O_3 , Al_2O_3 és elszegényedést a FeO , MnO , Na_2O mennyiségében.

5. A deformációtörténet vizsgálata alapján igazoltam a protolit szerkezetfejlődésének és hidratációjának kapcsolatát.

Elsőként vizsgáltam a szerpentinit deformációs bélyegeit, érkitöltéseit. A szerpentin erek négy generációját és a poszttektonikus karbonát ereket különítettem el. A szerpentinit erek a szerpentinitesedés különböző szakaszaikhoz kapcsolódnak. Az első generációjú (E1) erek a szerpentinitesedés korai szakaszában alakultak ki. A feszültségtér eltérő volt a többi szakaszhoz képest, a magnetit előfordulása az ér mentén az olivin átalakulására utal. A második generációjú (E2) krizotil erek a szerpentinitesedés hatására létrejött térfogatnövekedés eredményei. Behálózzák a teljesen szerpentinitesedett mintákat, ám a részlegesen szerpentinitesedett mintákból hiányoznak. Nyírás hatására kialakult kulisszás (en échelon) szerkezetet mutatnak. Az erek harmadik generációját (E3) a „crack-seal” rétegzett erek alkotják, melyek kialakulása a peridotit fokozatos lenyíródásához („unroofing”) kapcsolódik. Az érszerkezetben tükröződik a tektonikus mozgásra jellemző periodicitás. Kialakulásuk alatt nyírási deformáció működött, ami szigmoidális antitaxiális mikroszövetet eredményezett. Az S1 foliáció kialakulása a szerpentinitesedés fő szakaszához köthető. A nyírás hatására végbement milonitosodást mutathattam ki a szerpentinitben. Az erek negyedik generációját szimmetrikus, összetett, legyező alakú szerpentin erek képviselik. Környezetükben túszerpentinit (antigorit) jelenik meg, ami a korábbi hidratációs folyamatokhoz képest változást jelent, mivel dehidratációra utal.

6. Igazoltam a szerpentinit szubdukciója során bekövetkezett progresszív metamorfózis hatását mind a szerpentinitben, mind az S1 foliációt átszelő S2 zónákban.

A szerpentinitesedés során kialakult S1 fő foliációt meredeken átszeli az S2. Benne talkot és antigoritot mutattam ki, ami a hőmérséklet emelkedésére, valamint a szerpentinit dehidratációjára utal. A szerpentinit test késői fejlődése a megelőző folyamatos retrográd metamorfózissal szemben a PT növekedésére utal.

Az ereken kívül a szerpentinitben is kimutattam a progresszív metamorfózis hatását. A pszeudomorf szövetet felülírja a PT emelkedés következtében kialakult átkristályosodás. Nem pszeudomorf, antigoritból felépülő „interpenetrating” és „interlocking” szövetek alakultak ki.

A geotektonikai környezetek közül a PT növekedés szubdukcióval azonosítható esemény, melynek során az 500 °C-os izotermát a szerpentinit test nem lépte át.

7. Kimutattam, hogy a Gyódi Szerpentinit nem mutat rokonságot a Dél-Dunántúl kristályos aljzatának metamorf fejlődéstörténetével.

Király (1996) a polimetamorf kristályos aljzatot ért első metamorfózist a Szederkényi (1974) által leírttal azonosította: a Görcsönyi-háton 5-7 kbar, 552-648 °C, és feltételezhetően a Nyugat-Mecsekben is 6-8 kbar, 519-603°C PT viszonyokkal jellemezhető. A második fázis a gránitosodással egyidejű közepes fokú, kis nyomású metamorfózis a resztitekben (<2 kbar, 416-560°C). A harmadik esemény, a biotit és mikroklin képződéssel járó káli-metaszomatózis a Mórággyi gránit előfordulásaihoz köthető. A negyedik és egyben utolsó esemény retrográd, alacsony hőmérsékletű fázis, amely az egész területet érintette. A Gyódi Szerpentinit test metamorf fejlődéstörténete nem rokonítható a Dél-Dunántúl kristályos aljzatának fejlődéstörténetével. A szerpentinit tektonikusan ékelődik a környezetébe, hasonlóan a legtöbb alpi-típusú ultrabázithoz.

8. Kőzetfizikai vizsgálatokkal kimutattam, hogy a gyódi szerpentinit fejlődése során létrejött szerkezetek a kőzetek vízrekesztő tulajdonsága ellenére fluidum áramlási pályaként működhetnek. A jelen vizsgálatok fényében a Gyódi Szerpentinit radioaktív hulladék izolálására feltehetően nem alkalmas.

A kőzetfizikai vizsgálatok során megállapítottam, hogy a tipizált szerpentinitek reológiai tulajdonságai különbözőek. Az ultrabázit tartalmú szerpentinit a foliációja ellenére is a legnagyobb törőszilárdsággal rendelkező kőzet. Az S1, S2 foliációt mutató minták nehezebben törnek, mint az S1 mentén sűrűn foliált szerpentinitek. A foliáció mentén deformáció hatására felújulhatnak a szerkezetek. Kimutattam, hogy a reliktt ultrabázit a

legalacsonyabb porozitású kőzettípus a serpentinít testben, ezért vízrekesztő kőzetnek tekinthető, ahogy a serpentinít mátrix is.

A feltöltéses CT vizsgálatok során mind az S1, mind az S2 foliációs síkok mentén áramlást mutattam ki. A két irány eltérő genetikájú és összetételű. Az S2 foliáció mentén az áramlás erősebb, mivel a zóna felépítésében a talk is jelentős szerepet játszik. A serpentinítben a talk tartalmú zónák permeabilitása és deformációval szembeni viselkedése eltérő a környezetükhöz viszonyítva (Boschi és mtsai, 2006, Escartín és mtsai, 2001, 2004, Searle & Escartín 2004). Ennek oka, hogy a talk – reológiai tulajdonságait tekintve – különösen puha ásvány.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

1. **Kovács, G.** & M. Tóth, T. (2000): Serpentinization of Gyód ultramafic body - a low temperature partial hydration story. Acta Miner. Petr. Supplementum, Szeged, *XLI*. 64.
2. **Kovács, G.** (2000): Petrographical characteristics of the Gyód Serpentinite Body, South-eastern Transdanubia, Acta Miner. Petr., Szeged, *XLI*, 79-91.
3. Horváth, P., **Kovács, G.**, Szakmány, Gy. (2001): Eclogite and garnetiferous amphibolite gravels from Miocene conglomerates: new results for the Variscan metamorphic evolution of the Tisza Unit (Pannonian Basin, Hungary). Mineralogical Society of Poland, Special Papers, 67-70.
4. **Kovács, G.** Raucsik, B., Horváth, P. (2003): Minerals of Gyód serpentinite body, Hungary. Acta Miner. Petr., Szeged, Abstract series 1. 54.
5. Horváth, P., **Kovács, G.**, Szakmány, Gy. (2003): Eclogite and garnetiferous amphibolite gravels from Miocene conglomerates: new results for the Variscan metamorphic evolution of the Tisza Unit (Pannonian Basin, Hungary). Geologica Carpathica, 54, 6, 1-12.

JELENTÉSEK

1. A Gyódi Serpentinít Formáció földtani viszonyai a jelenlegi ismeretek alapján, 1997.
2. A Gyódi Serpentinít Formáció Ásványtani és Kőzettani Viszonyai, 1998.

3. A Gyódi Szerpentinit Formáció Ásványtani és Kőzettani Viszonyai II., 1999.
4. A Gyódi Szerpentinit Test Alkalmassága Radioaktív Hulladék Tárolására a Jelenlegi Ismeretség Tükrében, 2000.
5. A Gyódi Szerpentinit Formációban Előforduló Kőzetrepedések Kitöltő anyagának Vizsgálata, 2001.

KONFERENCIÁK:

1. Minerals of the Carpathians International Conference, Miskolc, 2000.
2. Ifjú Szakemberek Ankétja – MGE, Győr, 2001.
3. 8th Meeting of Petrology Group of the Polish Mineralogical Society, Ladek Zdroj, 2001.
4. 2nd Mineral Sciences in the Carpathians International Conference, 2003. Hungary. Acta Miner. Petr., Szeged, Abstract series 1. 54.

EGYÉB PUBLIKÁCIÓK

1. **Kovács, G.** & Pál Molnár, E. (1998): Petrographical characteristics of Ditró (Orotva) granites, Eastern Carpathians, Transylvania (Romania) a preliminary description. Acta Miner. Petr., Szeged, XXXIX, 35-48.
2. **Kovács, G.** & M. Tóth, T. (1999): Zircon typology in granitoid rocks of the Ditró Massif, Transylvania, Romania. Acta Miner. Petr., Szeged, XL, 45-55.
3. Kedves, M., Szónoky, M., Madarász, M., **Kovács, G.** (2000): LM and TEM investigations on the Upper Cretaceous Ajkait of Hungary I. Plant Cell Biology and Development, Szeged, 12, 8-17.
4. Pál-Molnár, E., **Kovács, G.**, Batki, A. (2001): Petrological characteristics of Algyő-Ferencszállás-Makó area granitoids (SE Hungary). Acta Miner. Petr., Szeged, 42, 51-58.
5. Pál-Molnár, E., **Kovács, G.**, Batki, A. (2001): Petrological characteristics of Variscan granitoids of Battonya unit boreholes (SE Hungary). Acta Miner. Petr., Szeged, 42, 21-31.

6. **Kovács, G.**, Szalay, I., Lovrity, B., Szeles, B., Gyapjas, J. (2002): Environmental effects of a natural gas well eruption. *Central European Journal Of Occupational and Environmental Medicine*, 8 (2-3), 90-98.
7. Pál-Molnár, E. & **Kovács, G.** (2002): Petrology of Variscan granitoids in Tisia Composite Terrane (Békésia Terrane – SE Hungary). *Geologica Carpathica*, Bratislava, 53, special issue, (IF: 0,167).
8. Pál-Molnár, E. & **Kovács, G.** (2002): Geochemistry and origin of the Battonya Unit granite, SE Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica.*, Szeged, 43, 65-69.
9. **Kovács, G.** & Pál-Molnár, E. (2002): Petrology of granitoid rocks of the Ditró Syenite Massif, Transylvania, Romania. *Geologica Carpathica*, Bratislava, 53, special issue, (IF: 0,167).
10. Pál-Molnár, E., **Kovács, G.**, Benő, É. (2003): Origin of granitoid rocks of the Ditrau alkaline massif, Transylvania, Romania. *Acta Miner. Petr.*, Szeged, Abstract series 1, 83.
11. **Kovács, G.** & Pál-Molnár, E. (2005): A Ditrói Alkáli Masszívum granitoid kőzeteinek petrogenézise. *Földtani Közlöny*, 135/1, 121-143.
12. M. Tóth T., **Kovács G.**, Schubert F., Dályay V. (2006): Az Ófalui “migmatit” eredete és deformációtörténete. *Földtani Közlöny*, 135/3, 331-352.