

Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola

Alkalmazott földtani és geofizikai kutatások program

Alkalmazott földtani és hidrogeológiai kutatások alprogram

Alkalmazott ásvány- és kőzettani kutatások részprogram

***Mészkövek szövetfejlődése a kőzettéválást
követően a Bükk hegység keleti részében és ennek
hatása a kőzetfelület odlódására***

Ph.D. értekezés tézisei

MÁDAI FERENC

Miskolc, 2003

I. Tudományos előzmények, célkitűzések

A kőzetek mechanikai viselkedésének kutatásában az utóbbi évtizedben jelentős előrelépés történt, mely leginkább a modern vizsgálati eszközök alkalmazásának köszönhető. E kutatások nagyrésze a kőzetek deformált szövetének jellemzésére irányul, amit modern eljárásokkal – mint digitális képelemzés, röntgendiffrakciós textúraelemzés, deformációs kísérletek – egyre pontosabban lehet kvantitatív módon is leírni. E paraméterek részletes elemzésével rekonstruálható a kőzet szövetének fejlődése, az egyes szövetelemek kialakulásának körülményei (nyomás, hőmérséklet, feszültség) és sorrendje. E szövetfejlődés természetesen kapcsolatban van az adott földtani egység fejlődéstörténetével. Ugyanakkor a kifejlődött szövetelemek, szöveti jellemzők – mint például az irányított szövetszerkezet, vagy a mikrorepedések – bizonyos mértékig meghatározzák azt is, hogy az adott kőzetest hogyan reagál a jelenkori környezeti (földtani) hatásokra.

A karbonátkőzetestek kitüntetett objektumai e szövetfejlődési vizsgálatoknak, mivel e jobbára monomineralikus kőzetek felszíni elterjedtségük nagy és már aránylag kis intenzitású feszültségmezőben és alacsony hőmérsékleten képlékeny alakváltozás játszódik le bennük. A vizsgálatok eredményeit főként a szerkezeti földtanban és a kőzetmechanikában hasznosítják. Érdekes módon, a kőzetre vonatkozó szöveti információ a bontódási (oldódási) folyamatok vizsgálatánál elvétve, vagy csak érintőlegesen kerül említésre, a kutatások ott döntően a kőzettelületek bontódásának (oldódásának) kinetikájával foglalkoznak, a kérdések megfogalmazásában és kísérleti módszereikben – még a földtani szakcikkekben is – a kémiai szemlélet dominál.

A disszertációban arra kerestem választ, hogy a mészkövek kőzetszöveti tulajdonságai mennyiben és hogyan befolyásolják a kőzettelületén lejátszódó bontódási folyamatokat. A vizsgálatok tárgyául a Bükk hegység keleti része karbonáttartalmú rétegeinek mészköveit választottam, melyek között több karsztosodó összlet is megtalálható. E kőzetek szövete igen összetett: a kőzettelválást követően többségük teljesen átkristályosodott és képlékenyen deformálódott, majd több szakaszban repedések szabdalják.

E dolgozatban első részében azt vizsgáltam, hogy a kelet-bükki mészkövekben milyen kőzetszöveti elemek jelentek meg a kőzettelválást követően, ezek milyen sorrendben, milyen deformációs mechanizmusok hatására alakultak ki, illetve e mechanizmusok működéséhez milyen állapothatározóknak kellett fennállniuk. A jelenségek értelmezéséhez fontos kérdés, hogy a képlékeny deformáció során kialakult szövetelemek, szöveti paraméterek a vizsgált területen kimutatott anchi-, epizónás regionális metamorfózis (ÁRKAI *et al.* 1995) során képződtek-e? Máshogy fogalmazva, jogosan lehet-e ezeket az erősen deformált mészköveket

metamorfizáltak tekinteni? Ebből következő további kérdés – mely a Bükk fejlődéstörténetéhez kapcsolódik – hogy a deformáltság mértéke, stílusa kötődik-e a litológiához, litosztatigráfiai pozícióhoz, vagy szerkezeti pozícióhoz? Ehhez meg kell vizsgálni, hogy a környező, befoglaló kőzeteken meghatározott metamorf fok hogyan párhuzamosítható a mészkő szövetfejlődéssel.

A dolgozat második részében azt vizsgáltam, hogy a kialakult szövet egyes jellemzői milyen módon és mértékben hatnak e mészkövek kőzetfizikai paramétereire és a kőzet felszínének oldódására.

II. Elvégzett vizsgálatok, módszerek

A téma kifejtésében elsőként a kelet-bükki perm és triász korú karbonát-tartalmú rétegek mészköveinek részletes szövetvizsgálatát végeztem el. Mivel e kőzetek döntő részéből az elsődleges szövetelemek gyakorlatilag teljesen törlődtek és helyüket “átkristályosodási mikropátit és pátit” vette át, ezért a vizsgálatok tárgyául a kőzettéválást követően képződött szövetelemeket választottam. A valószínűsíthető primér szövetelemekre az átkristályosodási termék jellemzőiből következtettem, így a DUNHAM (1962) rendszernek megfelelő mikrofácies-megjelölésen túl az eredeti kőzetszövet jellemzőit nem vizsgáltam.

A kőzetszöveti vizsgálatok alapvetően vékonycsiszolatokon alapultak többféle mikroszkópos és kvantitatív képelemzési módszer alkalmazásával. Ezek során kétféle szövetalkotóra koncentráltam:

- A kalcitmátrixra, ahová a $d \sim 30-40 \mu\text{m}$ -nél kisebb szemcseméretű, általában alaki anizometriával rendelkező szemcsékből álló, többé-kevésbé irányított szövetű halmazokat soroltam. A mátrix esetében vizsgáltam átlagos szemcseméretet, a kitüntetett szemcsealaki irányítottságot (SPO), valamint a szemcsehatárok morfológiáját.
- A nagyméretű ($d > 80-150 \mu\text{m}$), tektonizált, deformáltságuk alapján a legképlékenyebb deformációs fázis – továbbiakban korai deformációs fázis (NÉMETH & MÁDAI 2003) – előtti keletkezésű kalcitszemcsék, szemcsehalmozatok intrakristallin szövetelemeire, a nyomási ikekre, illetve e szemcsék szegélyzónájában kialakult “mag és burok” szerkezetekre.

A mikroszkópos vizsgálat alá vett minták kiválasztását a feltárás-léptékű szerkezeti bélyegek és a makroszerkezeti jellemzők (palásság, hasadozottság, redőzöttség) értelmezése előzte meg, figyelembe véve a rétegtani környezetet és a kőzettípust is.

A vizsgált mészkőmintákról általában három egymásra merőleges síkban vett csiszolat készült:

- a makroszkóposan megfigyelhető foliációval (palássággal) párhuzamos felületről (S_{\parallel}),
- a palásságra merőleges és a makroszkóposan megfigyelhető (megnyúlási, és/vagy metszési) vonalassággal (lineációval) párhuzamos ($S_{\perp L_{\parallel}}$) felületről,
- a palásságra és lineációra egyaránt merőleges ($S_{\perp L_{\parallel}}$) felületről.

A mátrix esetében a mikroszkópos vizsgálatokon túl 40, több szempont szerint kiválasztott mintán az SPO mértékét kvantitatív képelemzési módszerrel is meghatároztam.

E kvantitatíve is részletesen megvizsgált minták közül különböző szempontok figyelembe vételével nyolc minta esetében a kitüntetett kristálytani irányítottságot (LPO) is jellemeztem röntgendiffrakciós módszerrel. E minták három, egymásra kölcsönösen merőleges felületeiről (S_{\parallel} ; $S_{\perp L_{\perp}}$; $S_{\perp L_{\parallel}}$) inverz pólusábrák készültek.

A minták között szerepelt:

- olyan, melyen mikroszkópban erős képlékeny deformációra utaló, milonitos szövetet észleltem,
- melyen a képlékeny deformáció nem hagyott nyomot,
- mely zömmel sík határfelületekkel érintkező szemcsékből álló, irányított szövetű (SPO) minta,
- mely egyenetlen határfelületekkel érintkező szemcsékből álló, irányított szövetű (SPO) minta,
- olyan minta, melyen makroszkóposan, vagy mikroszkópban jelentkezett egy második palásság.

E nyolc, legrészletesebben vizsgált minta esetében tanulmányoztam, hogy a szöveti jellemzők mennyiben határozzák meg a kőzetfizikai paramétereket és az oldódási tulajdonságokat. Mivel a kőzet szerkezeti anizotrópiája – mint az alaki, vagy kristályszerkezeti irányítottság – befolyásolja a hőtágulás, vagy a hullámterjedési sebesség anizotrópiáját, ezért meghatároztam a makroszerkezeti főirányokban jelentkező akusztikus hullámterjedési sebességeket. Ez az oldódási tulajdonságok értelmezéséhez volt szükséges, mivel e kőzetfizikai tulajdonságok befolyásolják a kőzet mállását is.

E mintákból öt esetében – melyek tiszta, tűzköves, illetve agyagkövel váltakozó mészkövek – forgókorongos módszerrel oldási kísérletet végeztem. A kísérletek egyik célja volt meghatározni azonos, jól ellenőrzött körülmények között a különböző szöveti, összetételi jellemzőkkel rendelkező mészkövek oldódási sebességét. A másik célom volt ellenőrzött körülmények között oldott felületet elő-

állítani annak érdekében, hogy a képződött felület mikromorfológiáját tudjam jellemezni. A felületi egyenetlenséget optikai és elektronmikroszkópos módszerrel vizsgáltam. Ezen túl lézeres mikroördességmérő berendezéssel a felületekről vonalmenti felvételeket készítettem. A vonalprofilok segítségével a felületi egyenetlenséget Fourier-analízissel vizsgáltam.

III. Új tudományos eredmények

Az elvégzett vizsgálatok sorrendjében az eredményeket az alábbi pontokban összegzem.

1. RÉTI & CZINEGE (1984) módszerének felhasználásával kidolgoztam egy képelemzési eljárást a mikrokristályos karbonátmátrix kitüntetett szemcsealaki irányítottságának (SPO) jellemzésére. E módszer egyaránt figyelembe veszi az SPO két, egymástól eltérően jelentkező jellemzőjét: a szemcsék lapultsági anizotropiáját és a szemcsék hossz tengelyeinek irány-eloszlását. A mátrix SPO-jának mértékét kifejező értéket összevetve a vizuálisan megállapítható SPO-val jó egyezést kaptam. Így kvantitatíve is kimutatható lett, hogy a foliált mészkövekben a leg erősebb SPO a metszési lineációval párhuzamos, foliációra merőleges ($S_{L_{L\parallel}}$) metszeten jelentkezik. Ennél többé-kevésbé gyengébb SPO mutatható ki a foliációra és lineációra egyaránt merőleges metszeten ($S_{L_{L\perp}}$) és igen gyenge, változékony SPO található a foliációval párhuzamos metszeten (S_{\parallel}). Ezzel szemben a makroszkóposan irányítottsággal nem rendelkező mészkövekben az SPO a három, egymásra merőleges metszet mindegyikén gyenge volt. Az SPO mértéke és a közet sztratigráfiai pozíciója között nem találtam összefüggést, ami azt erősíti meg, hogy az SPO nem a betemetődés eredményeként, hanem dinamotermális hatásra alakult ki.

2. 32 mintában a $S_{L_{L\perp}}$ metszeten kvantitatíve meghatározott SPO mértékét összehasonlítva megállapítottam, hogy a 20 μm -nél kisebb szemcseméretű mátrix esetében az SPO a szemcsemérettel nő. Ez gyengén jelentkezett az agyaggal közberétegzett mészköveknél (Ablakoskőölgyi Formáció; Vesszősi Formáció), viszont erősebben a tiszta (Bükkfensíki Mészkő Formáció) és tűzköves (Felsőtárkányi Mészkő Formáció) mészkövek mátrixában. Ez az eredmény indokolható az aggradációs neomorfózis elméletével, miszerint a mikrokristályos karbonátanyag szemcséközi diffúziós átrendeződéssel (nyomási oldódás), szemcseméret növekedéssel alakul át eredetileg mikritgazdag (mudstone, wackestone) mészkőből. Ezt erősíti meg a szemcsehatárok morfológiája is, mivel az ilyen mátrixban a szemcsék többnyire hullámos, vagy enyhén kisimult határokkal rendelkeznek.

3. Szöveti paraméterek alapján elkülönítettem egy másféle mátrixot, amely a li

tosztratigráfiai pozíciótól függetlenül gyakran jelentkeznek egyes sávokban, foltokban, vagy vastagabb rétegekben. Ezt a mátrixot durvább szemcseméret ($d \sim 25-40 \mu\text{m}$), gyenge SPO és poligonális szemcsehatárok jellemzik. E szöveti jelleg alapján úgy vélem, ez a mátrix durvaszemcsés, szemcsevázú mészkövek (packstone, grainstone), illetve repedéskitöltések átkristályosodásával alakult ki. Az itt fellépő fő deformációs mechanizmus szubszemcse-képződés volt, melyet szemcsehatár csúszás kísért, vagy követett.

4. A csiszolatokban megjelenő tektonizált, durvakristályos ($d > 80-150 \mu\text{m}$) szemcsék, szemcsehalmazok általános jellemzője volt a nyomási ikresedés. Ezek az ikrek intenzíven deformálódtak, a deformáció intrakristallin jelleget mutat és a palásssággal áll kapcsolatban: a palásssággal kis szöveget bezáró ikrek hullámosan gyűrődtek, a palásssággal nagy szöveget bezáró ikrek elnyíródtak, szubszemcsékké alakultak, melyek a deformáció előrehaladtával szubszemcse-forgással önálló szemcsékké váltak. A korai fázishoz kapcsolódó nyomási ikreken kimutattam, hogy ezek átlagos vastagsága $5 \mu\text{m}$ -nél nagyobb, ami 200°C -nál magasabb képződési hőmérsékletre utal (MÁDAI 1995). Ez összhangban van a kelet-bükki dinamotermális metamorfózisra megállapított $200-300^\circ\text{C}$ -os maximális hőmérséklettel (ÁRKAI *et al.* 1995). Figyelembe véve e kristályok $80-200 \mu\text{m}$ -es méretét, bennük az intrakristallin deformációs mechanizmusok megjelenését, valamint a 200°C -nál magasabb hőmérsékletet, a korai deformációs fázis során a redukált feszültség értéke $100-200 \text{MPa}$ közöttire becsülhető.

5. A durvakristályos szemcsehalmazokban a kristályok szegélyzónájában “mag és burok” szerkezet megjelenését azonosítottam. A dinamikus átkristályosodással keletkezett $d \sim 20-30 \mu\text{m}$ -es kalcitszemcsékből álló burok szélessége a kőzetet ért nyírási alakváltozás mértékétől függ. Kismértékű alakváltozásnál a durvakristályos szemcsék még csak ikresednek, burok nem alakul ki. A legerősebben deformált, milonitos szövetű mészkövekben viszont a durvakristályos szemcsék maradványait széles burok övezi. E szöveti paraméter alapján a nyírási alakváltozás a korai deformációs fázis során változó mértékű volt, értékét $\gamma=0,3-5$ közöttire becsülöm. A magas értékek a nyírási zónákra jellemzőek, ahol a kőzet döntő része dinamikusán átkristályosodott.

6. A vizsgált terület mészköveire vonatkozóan elsőként végeztem méréseket e kőzetek kitüntetett kristályszerkezeti irányítottságát (LPO) illetően. Az inverz polarizáció igazolta, hogy a milonitos szövetű mészkő (Fennsíki Mészkő Formáció, kisgyőri kőfejtő) dinamikus átkristályosodással alakult át, mivel határozott, c -tengely szerint rendeződött LPO-val rendelkezik. Természetben deformálódott mészköveknél nyírási zónákban leggyakrabban ilyen LPO alakul ki.

Az inverz pólusábrákkal sikerült igazolni azt is, hogy a szöveti jellemzőik (SPO, szemcseméret, szemcsemorfológia) alapján gyenge képlékeny alakváltozást mutató mészkövek LPO-ja igen gyenge, vagy egyáltalán nem alakult ki. Ez megerősíti azt a szöveti jellemzők alapján tett megállapítást, hogy e mészkövek mikrokristályos mátrixa interkristallin átrendeződéssel (nyomási oldódás) alakult ki. Az igen gyenge LPO az irányított (SPO) szövetű mikrokristályos mészkőnél azt jelzi, hogy a nyomási oldódás során az újrakristályosodó kőzetanyag már irányított kristályszerkezetet vesz fel. Az LPO hiánya az irányítatlan, egyenetlen szemcsehatáru szövettel rendelkező mészkőben megerősítette azt a makroszerkezeti és szöveti jellegek alapján tett feltételezést, hogy e mészkövek a korai deformációs fázis során nyírási alakváltozástól megkímélt helyzetben voltak.

A durvább szemű ($d \sim 25-40 \mu\text{m}$), gyenge SPO-jú, poligonális szemcsékből álló mátrix (lásd 3. tézis) a vizsgált minták alapján a -tengely szerint rendeződött LPO-val rendelkezik. Ez megerősíti a 3. pontban tett következtetésemet, hogy itt szubszemcse-képződés és szemcsehatár csúszás játszódott le egymással párhuzamosan, vagy egymást követően.

7. Irodalomból származó adatok alapján (MERRIMAN & KEMP 1997; ÁRKAI *et al.* 2002; EVANS & DUNNE 1991; GROSHONG *et al.* 1984) összefoglaltam, hogy a durvaszemcsés mészkövek deformációs stílusát meghatározó jellemzők (domináns deformációs mechanizmusok, alakváltozás mértéke, ikertag-vastagság) hogyan állíthatók párhuzamba a kezdeti metamorfózis fokát jelző paraméterekkel (illit "kristályosság", vitrinitreflexió). Megállapítottam, hogy a durvaszemcsés halmazok deformációs jellege és a nyomási ikrek vastagsága a Keleti-Bükkben is jól korrelál a vizsgált területről rendelkezésre álló, metamorf fokra vonatkozó eredményekkel (ÁRKAI 1973, 1983; ÁRKAI *et al.* 1995). A mészkövekben kialakult képlékeny deformációs szövetelemekre így elfogadható, hogy azok a dinamotermális metamorfózis során képződtek.

8. A szövetvizsgálat összegzéseként megállapítottam, hogy a korai fázis során fellépett redukált feszültség maximális értéke 100-250 MPa-t lehetett az alacsonyabb rendű redők szárnyain, illetve nyírási zónákban. Erre TWISS (1977) módszere szerint a dinamikusán átkristályosodott szemcsék méretéből következtetem, valamint abból, hogy a szöveti jellemzők alapján megállapított deformációs mechanizmusok fellépése 200-300°C hőmérsékleten – mely a maximális paleohőmérséklet volt (ÁRKAI *et al.* 1995) – ekkora redukált feszültségnél reális.

9. Megállapítottam, hogy deformációs stílusbeli különbségek észlelhetők egyazon litofaciesbe sorolt egységek között: gyakrabban alakultak ki tektonizált, durvaszemcsés repedéskitöltések a Bükk-szentkereszt-töréstől ÉK-re, mint e

szerkezeti vonaltól DNy-ra. Ugyancsak különbséget lehet felfedezni a mikrokristályos ($d < 20 \mu\text{m}$) mátrix SPO-jában: a törésvonaltól DNy-ra a mátrix irányított-sága közepes, vagy kifejezetten gyenge, ÉK-re a mátrix irányított-sága általában erős. Ezek arra utalnak, hogy a két terület nyomásviszonyai a késő-diagenézis és a metamorfózis során eltérőek lehettek, az ÉK-i oldalon a fluidumnyomás nagyobb lehetett, ami periodikus repedésképződéssel, majd azt követő feltöltődéssel járt. A nagyobb fluidumnyomás a mátrix deformációját is serkentette, ami az erősebb SPO-ban mutatkozik. Az eredmények azt mutatják, hogy a Bükk-szentkereszti-törés mentén egymástól távoli szerkezeti egységek kerültek egymás mellé, a törésvonal mentén jelentős vízszintes elmozdulás történt (NÉMETH & MÁDAI 2003).

10. A korai fázis után a mészkövek szövetét már töréses deformáció és sztilolitoidosodás alakította, szemcseméret-szinten képlékeny deformáció már csak a Bükk-szentkereszti-törés mentén jelentkezett helyenként, krenulációs palásságot okozva a mészkövekben. Ebből következően a korai fázis során kialakult szöveti jellemzőket a későbbi deformációs fázisok már nem írták felül. A későbbi fázisokhoz kötődő nyomási íkrek alapján még egy deformációs fázis történt – legalább is helyenként – 200°C -nál magasabb hőmérsékleten.

11. Az akusztikus hullámterjedési sebességek irányok szerinti változása azt mutatta, hogy a legkisebb értékek a foliációra merőlegesen adódnak. A hullámterjedési sebesség anizotrópiája elsősorban a mikrorepedések gyakoriságától és orientációjától függ, és csak kevésbé a kőzet szöveti irányítottságától. Ugyanakkor tömött, mikrorepedésektől mentes kőzeteknél a hullámterjedési sebesség anizotrópiája a foliáció síkjában kapcsolatban áll az LPO megjelenésével, rendezettségével. A c -tengely szerint rendezett LPO-jú mintán mért sebesség ebben a metszetben közel izotróp, az a -tengely szerint rendezett szövetű mintáknál viszont jelentős anizotrópia tapasztalható.

12. A mészkő kőzetfelületek oldódási sebességét az oldhatatlan felületrészek részaránya mellett elsősorban a mikrorepedések gyakorisága befolyásolta. Az egyaránt tiszta, gyengén repedezett mészkövek esetében viszont úgy találtam, hogy a képlékeny deformáció során kialakult deformációs stílusbeli különbségek is hatnak az oldódási sebességre. A vizsgált fehérkői és fennsíki mészkőminták esetében az oldódási sebesség a durvább átlagos szemcseméretű fehérkői mészkőnél volt nagyobb. Ez indokolható azzal, hogy a fennsíki minta milonitos szövetű mátrixa már dinamikus átkristályosodással kialakult, diszlokációkban szegény szemcsékből áll, míg a fehérkői minta mátrixát kialakító szemcsehatár csúszás a diszlokációkat nem csökkentette. Így a szemcsék felülete az utóbbi esetben oldódási szempontból több aktív pontot tartalmaz a durvább szemcseméret ellenére.

Szintén a képlékeny deformációval indokolható, hogy a tektonizált, nagyméretű kristályok oldódási sebessége nagyjából azonos a mikrokristályos mátrix oldódásával, ezzel szemben a fiatal, gyengén deformált repedések akár enyhe oldás után is kipreparálódnak. A tektonizált kristályok még nagy diszlokáció-sűrűséggel rendelkeznek, ez legalább annyi, sőt több aktív pontot jelent az oldódás számára, mint a mikrokristályos mátrix nagy fajlagos felülete. Ezzel szemben a fiatal repedések kalcitkristályai valóban kis fajlagos területet, kevés aktív pontot adnak.

Az eredmények gyakorlati hasznosítása

Az eredmények hozzájárulnak a Keleti Bükk szerkezetföldtani viszonyainak és fejlődéstörténetének részletezéséhez. Az itt alkalmazott közetszöveti vizsgálatok folytatásával szeretnénk igazolni, hogy a Bükkfennsíki-paraautochton egységnek tekintett, azonos litofációs kőzetei – legalábbis a korai fázisnál nem fiatalabb események szempontjából – további egységekre bonthatók.

A szövetvizsgálati módszerek alkalmazhatók a karbonátos szénhidrogén tárolókőzetek metamorfizáltságának megállapításához, porozitási és permeabilitási tulajdonságainak prognózisához.

Az oldódási sebesség és a mállási felszín vizsgálatának eredményei a karszt-kutatásban, illetve az építő- és díszítőköv iparban a kőzetállékonyság minősítésénél, a műemlékvédelemben hasznosíthatók.

IV. Az értekezés témaköréből készült publikációk jegyzéke

- MÁDAI, F. (1994): Determination of the degree of textural orientation in recrystallized carbonate rocks. *Acta Stereologica*, 13(2), pp. 485-490.
- MÁDAI F. (1994): Transzlációs ikresedés megjelenése átkristályosodott karbonátkőzetekben. *MicroCAD '94 Nemzetközi Számítástechnikai Konferencia, Anyagtudományi szekció*, Miskolc, pp. 85-91.
- MÁDAI, F. (1994): Untersuchung von Zwillings- und Kristallgleitung in Kalzitkörnern von Kalksteinbildungen des Bükk- und Szendrő-Gebirges. *Publications of the University of Miskolc, Series A; Mining*, 49, pp. 183-190.
- MÁDAI F. (1995): A bükki mészkövek szöveti fejlődése a nyomási ikresedés vizsgálata alapján. *A Miskolci Egyetem közleményei, A sorozat*, 50, pp. 201-212.
- MÁDAI F. (1995): Deformációs jelenségek vizsgálata Kelet-bükki karbonátkőzetek ásványszemcséiben. *Földtani Közöny*, 125. pp. 67-88.
- MÁDAI F. (2000): Strain estimation from twinning in calcite crystals of carbonate rocks from the Bükk Mountains. *Acta Mineralogica-Petrographica*

- Szegediensis* XLI. Supplementum. p. 68. (extended abstract)
- MÁDAI F. (2000): Dissolution rate of recrystallized carbonate rocks from the Bükk Mountains (NE Hungary): The effect of texture. *Acta Mineralogica-Petrographica Szegediensis* XLI. Supplementum. p. 45. (extended abstract)
- MÁDAI F. (2001): Digitális képelemzés ásvány- és kőzettani alkalmazása. In GÁCSI Z. (ed.) *Sztereológia és képelemzés* (egyetemi tankönyv, Well-Press Kiadó, Miskolc, 2001).
- MÁDAI F. & NÉMETH N. (2001): A Bükk-hegység kőzetei, mint lehetséges és alkalmazott díszítő- és építőkövek. *Földtani Kutatás* XXXVIII. (2), pp. 10-14.
- MÁDAI F. & NÉMETH N. (2003): Mechanisms and microstructural elements of the early, ductile deformation phase in limestones of the NE Bükk Mountains, Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica Szegediensis Abstract Series* Vol. 1. p. 66. (extended abstract)
- MÁDAI F. & NÉMETH N. (2003): Synmetamorphic deformation mechanisms in the fine-grained Triassic limestones of the Bükk Mts. *Annales Universitatis Scientiarum Budapestiensis de Rolando Eötvös nominatae, Sectio Geologica* XXXV. pp. 52-53.
- NÉMETH N. & MÁDAI F. (2003): Korai fázisú képlékeny deformációs elemek a Bükk hegység keleti részének mészköveiben I. *Földtani Közlöny*, megjelenés alatt
- NÉMETH N. & MÁDAI F. Korai fázisú képlékeny deformációs elemek a Bükk hegység keleti részének mészköveiben II. - mikroszerkezeti jellemzők. *Földtani Közlöny*, közlésre elfogadva.

Nemzetközi konferencia előadások

- Determination of the degree of textural orientation in recrystallized carbonate rocks. 6th European Congress for Stereology, Prague, 1993. szept. 7-10.
- Transzlációs ikresedés megjelenése átkristályosodott karbonátkőzetekben. MicroCAD '94 Nemzetközi Számítástechnikai Konferencia, Anyagtudományi szekció, Miskolc, 1994. március 3.
- Véges deformáció mértékének számítása kalcit nyomási ikrek segítségével a Keleti Bükkben. MicroCAD '96 Nemzetközi Számítástechnikai Konferencia, Geoinformatika, környezetvédelem szekció, Miskolc, 1996. február 29.
- Strain estimation from twinning in calcite crystals of carbonate rocks from the Bükk Mountains. Minerals of the Carpathians International Conference, Miskolc, 9-10 March, 2000.
- Dissolution rate of recrystallized carbonate rocks from the Bükk Mountains (NE Hungary): The effect of texture. Symposia on Environmental Mineralogy,

Budapest, 18-19 May, 2000.

Mechanisms and microstructural elements of the early, ductile deformation phase in limestones of the NE Bükk Mountains, Hungary. (társszerző: NÉMETH N.) 2nd Mineral Sciences in The Carpathians International Conference, Miskolci Egyetem, 2003. március 6.

Synmetamorphic deformation mechanisms in the fine-grained Triassic limestones of the Bükk Mts. (társszerző: NÉMETH N.) 6th Alpshop Workshop, Sopron, 2003. szeptember 14-16.

Hazai konferencia előadások

Transzlációs ikresedés és siklatás vizsgálata bükki és szendrői mészkövek kalcitszemcséiben. Magyarhoni Földtani Társulat, Ásványtan-Geokémiai Szakosztály 1994. október. 24.

A bükki mészkövek szöveti fejlődése a nyomási ikresedés vizsgálata alapján. A Miskolci Egyetem fennállásának 260. évfordulója alkalmából rendezett jubileumi tudományos konferencia. Bányászati és Műszaki földtudományi szekció, Miskolc, 1995. szeptember 7-8.

Alakváltozás mértékének meghatározása kalcit nyomási ikrek segítségével a Keleti Bükk karbonátközetekben. MGE Ifjú Szakemberek Ankétja, Balatonvilágos, 1996. április 25.

Bányafaltól a felhasználásig: néhány Bükk-hegységi díszítő- és építőkő bemutatása (társszerző NÉMETH N.) II. Díszítőkö Konferencia, Székesfehérvár, 2001. március 29.

Mikroszerkezeti vizsgálatok magyarországi karbonátos díszítőköveken. Kő az építészetben c. szakmai fórum, Magyar Kőszövetség, MFT Közép- és Észak-dunántúli Szervezete, Construma-Decorstone 2002. április 10.

A korai fázisú deformáció kelet-bükki mészkövekben észlelhető bélyegei. (társszerző: NÉMETH N.) Magyarhoni Földtani Társulat Általános Földtani Szakosztály 2003. március 12.