

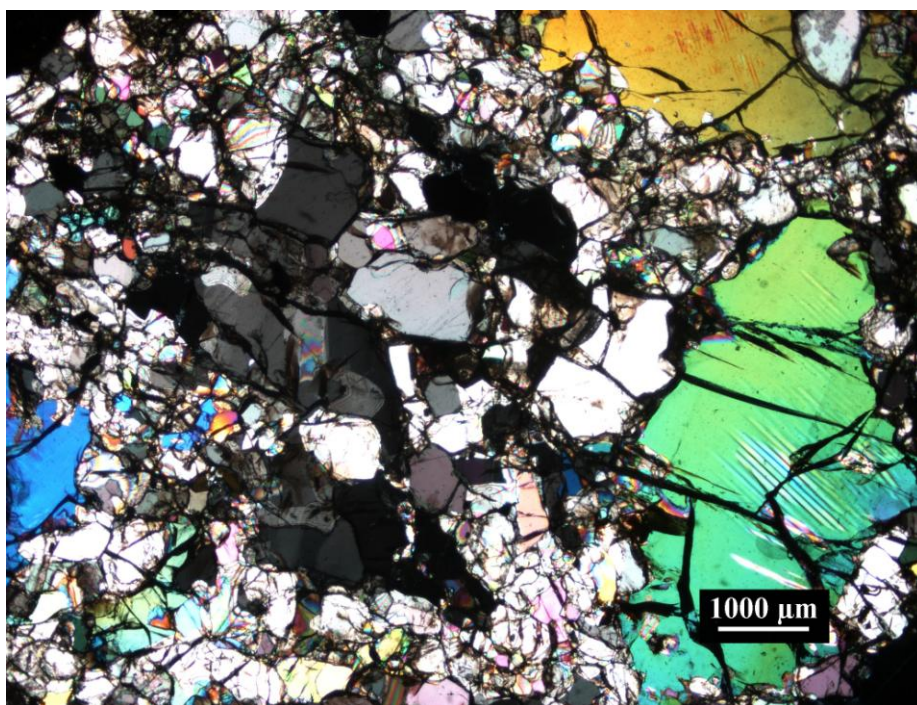
# Deformációs vizsgálatok a Nógrád-Gömör Vulkáni Terület felsőköpeny eredetű ultramafikus xenolitjain

Liptai Nóra, Patkó Levente

Geológus MSc. II. évfolyam

**Témavezetők:** Szabó Csaba, Ph.D. (ELTE TTK, FFI, KGT,  
Litoszféra Fluidum Kutató Labor)  
Kovács István, Ph.D. (Magyar Földtani és Geofizikai Intézet)

**Konzulens:** Falus György, Ph.D. (Magyar Földtani és Geofizikai Intézet)



Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Természettudományi Kar  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Kőzettani és Geokémiai Tanszék  
Litoszféra Fluidum Kutató Labor

Budapest, 2012



## Tartalomjegyzék

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 1. Bevezetés.....                          | 3  |
| 2. Geológiai háttér .....                  | 4  |
| 3. Alkalmazott vizsgálati módszerek .....  | 7  |
| 4. A vizsgált xenolitok bemutatása .....   | 9  |
| 4.1. Mintagyűjtés – mintakiválasztás ..... | 9  |
| 4.2. Petrográfia .....                     | 10 |
| 4.3. Modális összetétel .....              | 10 |
| 4.4. Szövet.....                           | 12 |
| 5. Ásvány főelemgeokémia .....             | 16 |
| 6. EBSD-elemzések eredményei .....         | 28 |
| 7. Diskusszió.....                         | 33 |
| 7.1. Geokémiai jellemvonások .....         | 33 |
| 7.2. EBSD elemzések értelmezése .....      | 35 |
| 7.3. Összevetés .....                      | 39 |
| 8. Összefoglalás.....                      | 44 |
| 9. Irodalomjegyzék.....                    | 45 |

## Ábrajegyzék

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ábra. A KPR neogén vulkanizmusa.....                                                        | 5  |
| 2. ábra. A Nógrád-Gömör Vulkáni Terület alkáli bazalt előfordulásai.....                       | 6  |
| 3. ábra. Az "xz" viszonyítási sík elhelyezkedése a foliációhoz és a lineációhoz képest.....    | 8  |
| 4. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok Streckeisen (1975) - diagramon .....                        | 11 |
| 5. ábra. Szövettípusok és jellegzetes szöveti bélyegek .....                                   | 15 |
| 6. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok eloszlása az OSMA-diagramon. ....                           | 17 |
| 7. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok ortopiroxénjének $mg\#-Al_2O_3$ diagramja.....              | 17 |
| 8. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok klinopiroxénjeinek Na-Al diagramja.....                     | 18 |
| 9. ábra. A maskófalvi és központi területről származó xenolitok olivinjeinek pólusfigurái..... | 29 |
| 10. ábra. A bárna-nagykői xenolitok olivinjeinek pólusfigurái .....                            | 30 |
| 11. ábra. A maskófalvi és a központi területről származó xenolitok pólusfigurái .....          | 31 |
| 12. ábra. A bárna-nagykői xenolitok ortopiroxénjeinek pólusfigurái .....                       | 32 |
| 13. ábra. Porfiroklastos szövetű xenolit EBSD-vel készült fázistérképe .....                   | 37 |
| 14. ábra. Ekvigranuláris szövetű xenolit EBSD-vel készült fázistérképe .....                   | 38 |
| 15. ábra. A nógrád-gömöri felsőköpeny xenolitok származási mélységének becslése.....           | 41 |
| 16. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok olivin J-index - $T(^{\circ}C)$ diagramja .....            | 42 |
| 17. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok olivin J-index - ortopiroxén Ca-tartalom diagramja.....    | 42 |

## Táblajegyzék

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. táblázat. A nógrád-gömöri xenolitok petrográfiai tulajdonságai .....                                                                                        | 13 |
| 2-5. táblázat. Ásvány főelemkémiai táblázatok .....                                                                                                            | 26 |
| 6. táblázat. A nógrád-gömöri xenolitok tengelyeloszlás típusai, maximális denzitásai, J-indexei, egyensúlyi hőmérsékletei, ortopiroxénjeinek Ca-tartalma ..... | 43 |

## 1. Bevezetés

A földköpeny különböző folyamatainak részletes megismeréséhez elengedhetetlen annak fizikai és kémiai vizsgálata, amelyeket legközvetlenebbül köpenyközetek (masszív peridotitok, xenolitok) tanulmányozásával lehet megvalósítani. Peridotit masszívumok - például a franciaországi Lherz-hegység (Woodland et al., 1996), a spanyolországi Ronda masszívum (Vauchez és Garrido, 2001), az olaszországi Lanzo (Piccardo et al., 2007) vagy Finero – Balmuccia – Baldissero térsége (Mazzucchelli et al., 2010) - a nagy térbeli kiterjedésük miatt, míg a xenolitok - pl. Massif Central (Lenoir et al., 2000), DK-Ausztrália (Chen et al., 1989), Rajna Masszívum (Witt-Eickschen, 1993), DNY-USA (Kil és Wendlandt, 2004) - kisebb mértékű átalakultságuk miatt nyújtanak kiváló alapot a köpeny kutatásához. A Kárpát-Pannon régióban (KPR) a felsőköpeny eredetű kőzetanyagot uralkodóan spinell lherzolit összetételű xenolitként fiatal (plio-pleisztocén) alkáli bazaltokban találhatunk öt ismert területen: Stájer-medence, Kisalföld, Bakony–Balaton-felvidék, Nógrád-Gömör és Persány-hegység (1. ábra). Ezek közül a legtöbb tanulmány a Bakony–Balaton-felvidék vizsgálatával foglalkozik (pl. Embey-Isztin et al., 1989; 2001; Downes et al., 1992; Szabó et al., 1995a; 2004; Falus et al., 2000; 2007; Bali et al., 2002; 2008a; Hidas et al., 2007; 2010; Dobosi et al., 2010; Berkesi et al., 2012), míg Nógrád-Gömörről jóval kevesebb információ áll rendelkezésünkre (Embey-Isztin, 1978; Szabó és Taylor, 1994; Szabó és Bodnar, 1995; Konečný et al., 1995; Kovács et al., 2004; Zajacz et al., 2007). Ez utóbbi közlemények elsősorban szöveti és geokémiai adatokat közölnek, azonban igen kevés az olyan információ, amelyből a terület alatt elhelyezkedő felsőköpeny reológiájára, fizikai változásaira, deformációs mechanizmusaira lehetne következtetni. E folyamatok megismerését EBSD (visszaszórt elektron diffrakció) segítségével nyert kristályorientációs, úgynevezett CPO (crystal preferred orientation) elemzések teszik lehetővé. A CPO-vizsgálatok az anizotróp köpenyásványoknak, elsősorban az olivinnek és az ortopiroxénnek a kristálytani tengelyeiben mutatkozó irányítottságról adnak információt (Karato et al., 2008). Az olivin szerepe nem csak a köpenyben való nagy részaránya miatt kiemelkedő, hanem azért is, mert az ortopiroxénhez képest viszonylag könnyen reagál a köpenyt deformáló hatásokra, így kevésbé intenzív deformáció esetén is a mozgások jó indikátorának tekinthető (Christensen, 1984; Tommasi et al., 1999).

Eszerint a köpenyközeteket felépítő ásványokban a kristálytani tengelyek irányítottságának vizsgálata a nagyléptékű geofizikai módszerek mellett egy másik lehetséges módja annak, hogy a felsőköpeny xenolitot tartalmazó területek geodinamikai viszonyairól és a különböző

deformációs hatásokról lényeges ismereteket szerezzünk. A KPR-n belül a Bakony–Balaton-felvidék (Hidas et al., 2006) és a Persány-hegység (Falus et al., 2008) xenolitjain már végeztek EBSD-méréseket, a nógrád-gömöri terület azonban e tekintetben is lemaradásban van. Munkánk során a nógrád-gömöri vulkáni terület különböző lelőhelyeiről származó xenolit petrográfiai vizsgálatát, ásványkémi és visszaszórt elektron diffrakciós (EBSD-) elemzését mutatjuk be. Célunk a Nógrád-Gömör központi (Medves-fennsík, Bábi-hegy) és peremi részét (Maskófalva és Bárna-Nagykö) egyaránt képviselő peridotit xenolitok deformációs tulajdonságainak meghatározása és bemutatása a hozzájuk tartozó szöveti, ásványtani és főelem-geokémiai háttérrel, valamint következtetni a terület felsőköpenyében működő deformációs hatótényezőkre és ezek alapján beilleszteni a Pannon-medencéről eddig megszerzett ismeretanyag által kijelölt keretbe.

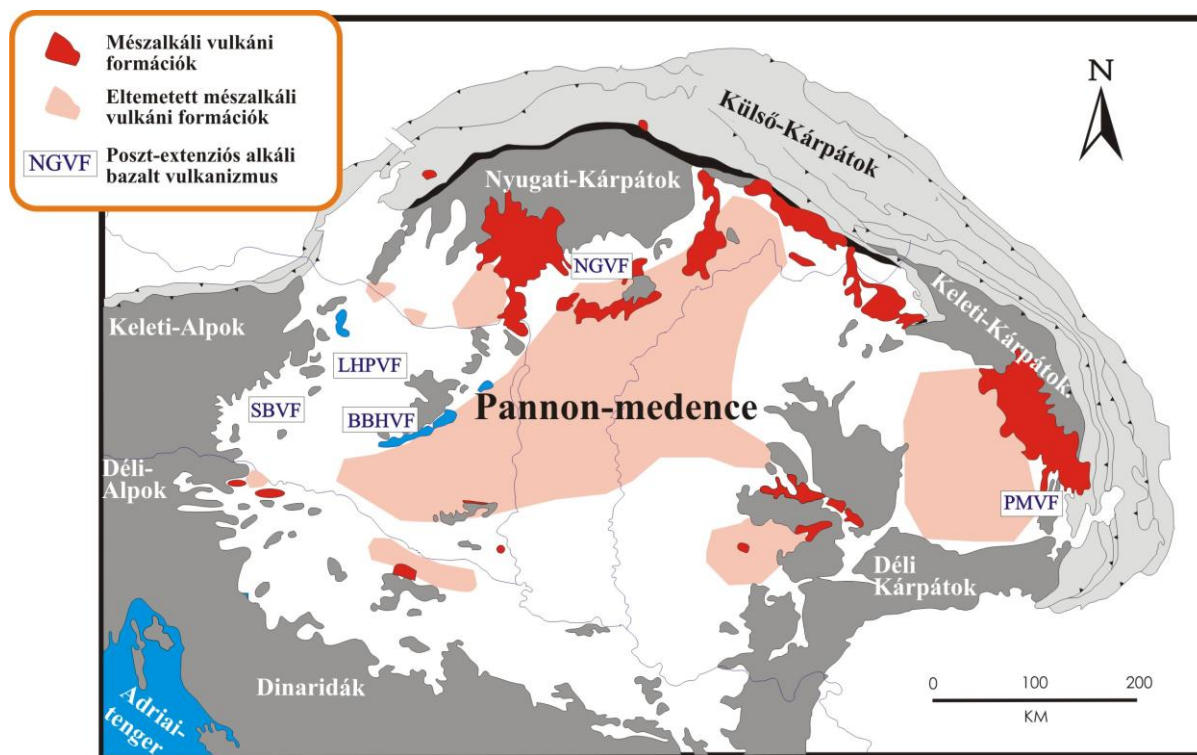
## **2. Geológiai háttér**

Az Alpok, Kárpátok és Dinaridák által határolt Pannon-medence aljzatát két mikrolemez alkotja, az északnyugaton elhelyezkedő ALCAPA, és a délkeleten elhelyezkedő Tisza-Dácia, amelyeket a Közép-Magyarországi Zóna választ el egymástól (Csontos, 1995).

A térség szerkezeti fejlődését a terciérben három tektonikai szakaszra lehet osztani (Csontos et al., 1992). Az első szakaszt az afrikai eredetű ALCAPA mikrolemez Periadriai vonal menti jobbos elmozdulása jellemzi, amely az eocénben indult meg, és az oligocénben teljesedett ki (Kázmér és Kovács, 1985). A második szakaszban az alpi kollízió hatására a kollíziós zónából kiszökő ALCAPA keleti irányú mozgása zajlott a késő oligocén – kora miocén során. A legújabb eredmények szerint (Kovács et al., 2011; 2012) a mikrolemez mozgását feltehetően egy kelet-nyugat irányú asztenoszféra áramlás is elősegítette. A kiszökés (extrúzió) ideje alatt az ALCAPA és a Tisza-Dácia mikrolemezek egymással ellentétes irányú rotációt végeztek. A harmadik szakaszt jellemző kiterjedt medence extenzió két alfázisra osztható (Bada és Horváth, 2001; Huismans et al., 2001): a középső miocénben (17-14 millió éve) zajlott aktív extenziós fázist a szubdukciós lemez visszagördülése segíthette elő (Horváth, 1993; Csontos, 1995), amelynek hatására a litoszféra erőteljesen kivékonyodott a Pannon-medencében. A litoszféra elvékonyodása az asztenoszféra felboltozódásával járt együtt (Horváth, 1993). Az extenziós szakasz második, passzív fázisa a késő miocénben (12-8 millió éve) zajlott, amely a litoszféra termális eróziójával jellemezhető (Huismans et al., 2001), és a medence középső részén fejtette

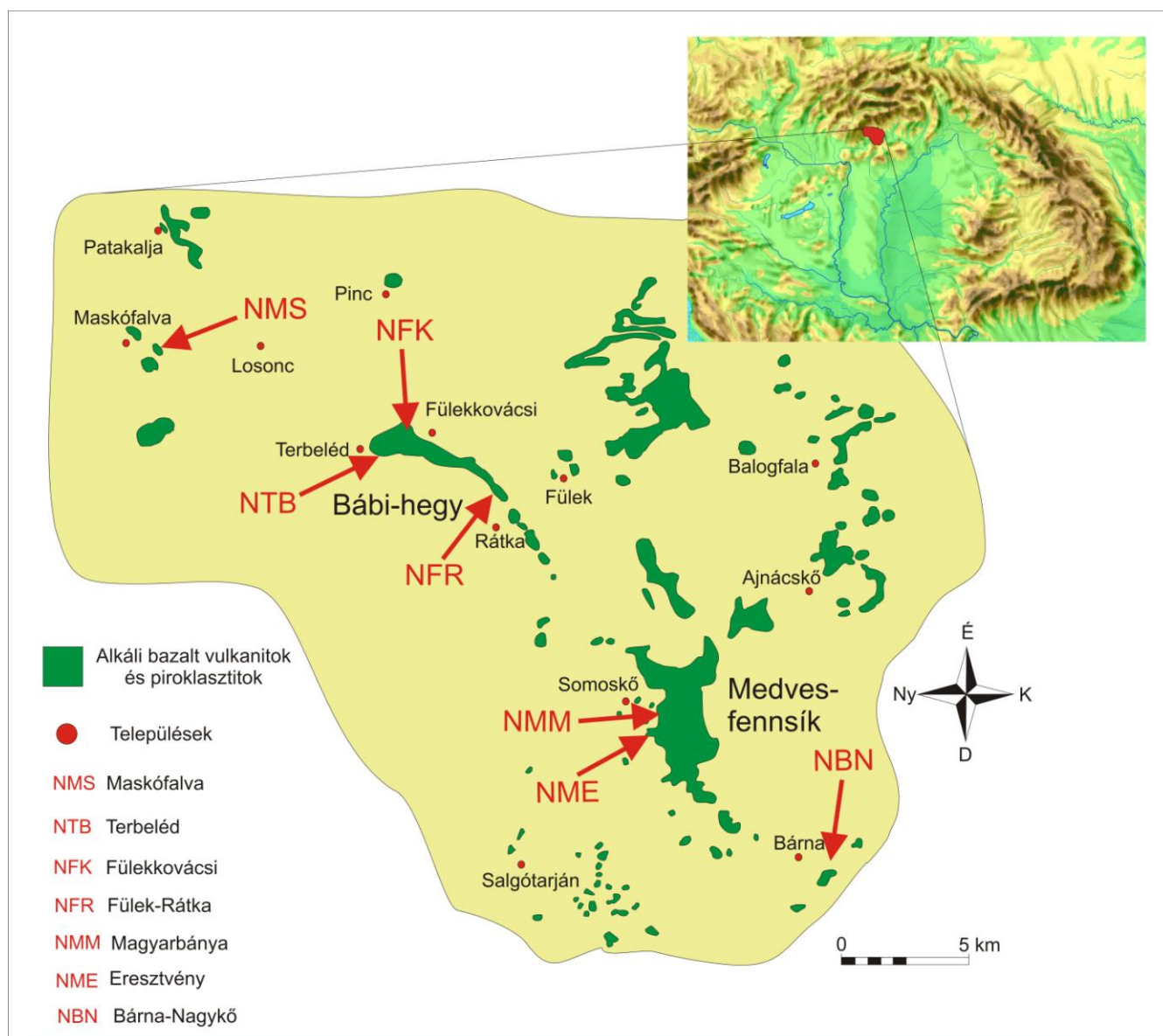
ki leginkább hatását, mintegy ~40 km-re vékonyítva ki a litoszférát (Horváth, 1993, Lenkey, 1999).

A Kárpát-Pannon régióban a miocéntől kezdődően változatos időbeli elterjedésű és kemizmusú vulkáni tevékenység zajlott (Harangi és Lenkey, 2007; Kovács és Szabó, 2008; Seghedi és Downes, 2012) (1. ábra). Ezek közül a legfiatalabbak a plio-pleisztocén alkáli bazaltok, amelyek elszórtnan jelentkezik a Pannon-medencében (Szabó et al., 1992; Embey-Isztin et al., 1993; Harangi, 2001). Keletkezésük az asztenoszféra felemelkedés által előidézett nyomáscsökkenés hatására történő olvadás eredménye, az azonos genetika ellenére mutatkozó változatos összetétel helyi sajátosságok és folyamatok következményének tudható be (Embey-Isztin et al., 1993).



1. ábra. A Kárpát-Pannon régió neogén vulkanizmusa (Harangi, 2001) SBVF – Stájer-medencei vulkáni terület, LHPVF – Kisalföldi vulkáni terület, BBHVF – Bakony—Balaton-felvidéki vulkáni terület, NGVF – Nógrád-Gömöri vulkáni terület, PMVF – Persány-hegységi vulkáni terület

A Nógrád-Gömör Vulkáni Területen elszórt kibukkanásokban Patakaljától Bárnáig (2. ábra) elsősorban bazanitok találhatók (Jugovics, 1968; Szabó et al., 1992), amelyek lávakőzet és piroklasztit formájában is megjelennek, ám Fülektől keletre nem tartalmaznak köpeny xenolitot. A terület legnagyobb kiterjedésű bazaltplatói a központi rész két egysége, a Bábi-hegy és a Medves-fennsík.



**2. ábra. A Nógrád-Gömör Vulkáni Terület alkáli bazalt előfordulásai és a dolgozatban vizsgált xenolitok lelőhelyeinek elhelyezkedése (Jugovits, 1971; Szabó és Taylor, 1994)**

### 3. Alkalmazott vizsgálati módszerek

A dolgozatban vizsgált 14 nógrád-gömöri xenolitból az ELTE-TTK-n működő Litoszféra Fluidum Kutató Laboratóriumban 100-150  $\mu\text{m}$  vastagságú, mindkét oldalán polírozott vékonycsiszolatok készültek. A petrográfiai vizsgálatokat ugyanitt, Nikon Eclipse LV100 POL típusú közettani polarizációs mikroszkópon végeztük, és az erre szerelt Nikon CoolPIX E950 digitális fényképezőgép segítségével készítettünk fényképeket a vékonycsiszolatokról. A modális összetétel meghatározásához a csiszolatokat HP Scanjet 2400 típusú scannerrel 1200 dpi felbontással digitalizáltuk. A képek kiértékeléséhez a Corel 14 szoftvercsomag Corel PhotoPaint 14 programját használtuk.

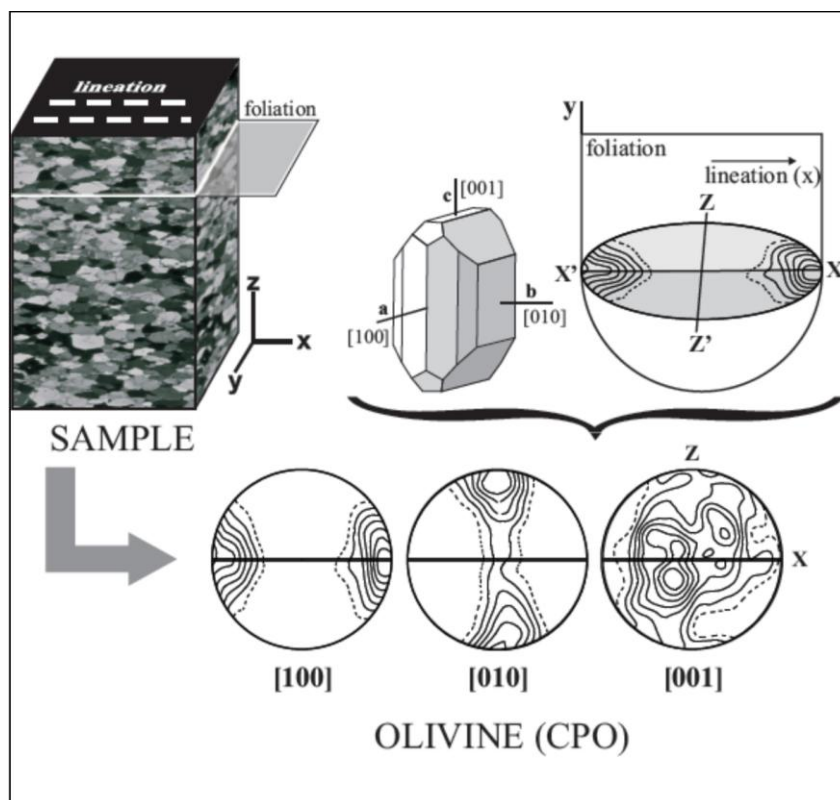
A xenolitok elektronmikroszkopos elemzését a Padovai Egyetem négy hullámhossz-diszperzív (WDX) detektorral felszerelt CAMECA SX-50 mikroszkop berendezésével végeztük Raúl Carampin és Anna Fiorelli közreműködésével. A szilikátok méréséhez természetes illetve mesterséges standareket használtunk. A vizsgált elemeket (Si, Ti, Al, Cr, Fe, Ni, Mn, Mg, Ca, Na, K) 15 és 40 másodperc közötti számlálási idővel mértük. A használt mintaáram 20 nA, a gyorsítófeszültség 20 kV volt a mérések során. Az eredményeket ZAF korrekciót követően, atomos formában, tömegszázalékban kaptuk meg.

Az EBSD-elemzések elvégzéséhez a Montpellieri Egyetem II. JEOL JSM-5600 típusú, EBSD rendszerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópját használtuk, 17 kV gyorsítófeszültséggel, és 25 mm munkatávolsággal. A mérések lefuttatásához a HKL Channel 5 programcsomag Flamenco programját alkalmaztuk, a korrekciók végrehajtásához pedig ugyanezen csomag Tango programját. Az eredményül kapott tengelyirányok beforgatásához és a pólusábrák elkészítéséhez Mainprice (2005a; 2005d) szoftverjeit, a PFch5 és ROTctf programokat használtuk.

Az EBSD-vizsgálatokhoz a vékonycsiszolatokon a hagyományos polírozási eljárás mellett Si-kolloidos kezelést is alkalmaztunk. A vékonycsiszolatokat szénszalag („carbon tape”) segítségével rögzítettük a mintatartón, amivel a xenolit mérendő területét is körülhatároltuk. A szénszalag a rögzítésen kívül a minta felszínén felhalmozódó többlet töltések elvezetését is szolgálta. A mintatartó a műszeren belül 70 fokos szögben volt megdőntve. Elsőként a mintatartón elhelyezett szilíciumon kalibráltuk a műszert, úgy, hogy az MAD (Mean Angular Deviation, átlagos szögeltérés) érték, ami a referencia értékektől számított szögeltérést jelöli, megfelelő tartománya 0,1 és 0,3 közé essen, majd a minta felszínén néhány ponton ellenőriztük, hogy megfelelő-e az indexelés pontossága. A mérés lefutása az elektronnyaláb automatikus

mozgásával és pontonkénti adatfelvételével történt. A lemért adatpontok távolsága a lépéstávolság, amely a szemcsemérettől és a rendelkezésre álló időtől függően 20 és 70  $\mu\text{m}$  közé esett (minél kisebb a lépéstávolság, annál több időt vesz igénybe a mérés). A mérés lefutása után különböző korrekciókra volt szükség a kapott orientációs térkép hibáinak kiküszöböléséhez. Elsőként az extrapolálást hajtottuk végre, a kiugróan eltérő értékeket korrigálva, majd az önmagukban álló pontok adatait megváltoztattuk, ha legalább 5 szomszédos pont adatai megegyeztek. Ezután az esetleges indexelési hibákat javítottuk, majd a kis számú (legfeljebb 3) elemzési pontból álló csoportokat töröltük. Végül megismételtük az extrapolálás műveletét, hogy feltöltsük a keletkezett üres mérési pontokat. A korrekciók elvégzése után az adatsort .cpr illetve .ctf formában, valamint az elkészült orientációs térképeket egyesével, .jpg formátumban elmentettük, mind az összes adatra, mind pedig szemcsénként egy adatra (one point per grain - OPPG) nézve.

A pólusábrák elkészítéséhez Mainprice (2005a; 2005d) programjait, a PFch5 és ROTctf szoftvereket használtuk. Mivel a minták orientációja véletlenszerű volt, az eredmények kiértékelésekor szükség volt a kapott tengelyirányok „xz” viszonyítási síkba való beforgatására. Az  $x$  tengely a xenolitok esetében a foliáció síkjába esik és a lineációval párhuzamos, a  $z$  pedig merőleges a foliációra (3. ábra).



3. ábra. Az "xz" viszonyítási sík elhelyezkedése a foliációhoz és a lineációhoz képest az olivin példáján (Konc et al., 2011)

Elsőként a PFch5 program segítségével a .ctf fájlok alapján megkerestük a leggyakoribb tengelyirányokat, amelyekhez a program hozzárendelte azokat a szögeket, amelyekkel ezeket a tengelyirányokat a viszonyítási síkba be lehet forgatni. A beforgatást a ROTctf programmal hajtottuk végre, az így kapott adatokból a PFch5 ismételt alkalmazásával elkészítettük a pólusábrákat. Valamennyi mintára elkészítettük az összes mért adatpontot, illetve a szemcsénként egy adatpontot bemutató pólusábrákat olivinre és ortopiroxénre. A dolgozatban az összes mért pontot, valamint szemcsénként egy pontot ábrázoló pólusfigurákat mutatjuk be olivinre és ortopiroxénre, illetve ezek értelmezését és összehasonlítását végezzük el. Minden pólusábra-csoportban szerepel egy *a*- ('100'), egy *b*-('010'); és egy *c*- ('001') tengely szerinti ábrázolás (3. ábra).

## **4. A vizsgált xenolitok bemutatása**

### *4.1. Mintagyűjtés – mintakiválasztás*

A vizsgált xenolitok a Nógrád-Gömör Vulkáni Terület különböző kőfejtőiből származnak, amelyek elhelyezkedését a 2. ábra mutatja. A hét lelőhely ÉÉNy-ról DDK felé haladva a következő: Maskófalva (NMS), Terbeléd (NTB), Fülekkovácsi (NFK), Fülekk-Rátka (NFR), Magyarbánya (NMM), Eresztvény (NME), Bárna-Nagykő (NBN). A központi területen található bábi-hegyi (Terbeléd, Fülekkovácsi, Fülekk-Rátka) és medves-fennsíki (Magyarbánya, Eresztvény) lelőhelyeket képviselő xenolitok begyűjtését 2011-ben, korábbi diákköri munkánk (Liptai et al., 2011) keretében végeztük el, míg a maskófalvai és bárna-nagykői minták korábbi gyűjtésből származnak. A dolgozatban bemutatott kőzetzárványok kiválasztásakor fontos szempont volt, hogy a Nógrád-Gömör peremi (Maskófalva és Bárna-Nagykő) és központi területei is megfelelően képviselve legyenek. A legészakabbi, maskófalvai lelőhelyről két xenolitot választottunk, mert az innen származó xenolitok kőzettanilag és geokémiaiilag is rendkívül homogének (Szabó és Taylor, 1994). A két xenolit közül az egyik (NMS09) petrográfiai és főelemgeokémiai vizsgálatát Szabó és Taylor (1994) végezték el. A központi terület (Bábi-hegy és Medves-fennsík) xenolitjainak részletes vizsgálatával viszonylag kevés tudományos munka foglalkozik (Szabó és Taylor, 1994; Konečný et al., 1995, Fekete, 2009), ezért az innen kiválasztott hat xenolittal – legalább egy minta minden lelőhelyről - jelen dolgozatban is igyekszünk hozzájárulni a központi terület ismeretanyagának bővítéséhez. A Nógrád-Gömör

leginkább kutatott része a legdélebbi lelőhely, Bárna-Nagykő (pl. Szabó et al., 1996), ahonnan változatos összetételű és szövetű xenolitok kerültek elő. Erről a területről hat közetzárványt mutatunk be, amelyek a két leggyakoribb szövetípust képviselik.

A xenolitok kiválasztásakor tudatosan a lherzolitokat részesítettük előnyben, mivel célunk egy, összetételben viszonylag homogén, lehetőleg az eredeti, metasomatózist nem szenvedett köpenyt képviselő kőzetanyag geokémiai és deformációs vizsgálata. Az orto- vagy klinopiroxénben különösen gazdag xenolitok (harzburgitok, wehrlitok), mivel rendszerint későbbi, geokémiai kimerülési ill. gazdagodási folyamatok eredményei, nem képezték tárgyát diákköri munkánknak, bár ismert, hogy a Nógrád-Gömör változatos köpenyanyaga között bőven előfordulnak (pl. Kovács et al., 2004; Patkó és Aradi, 2012). A dolgozatban összesen 14 xenolit vizsgálati eredményeit és azok értékelését mutatjuk be, amelyek közül 13-ból készült EBSD-elemzés.

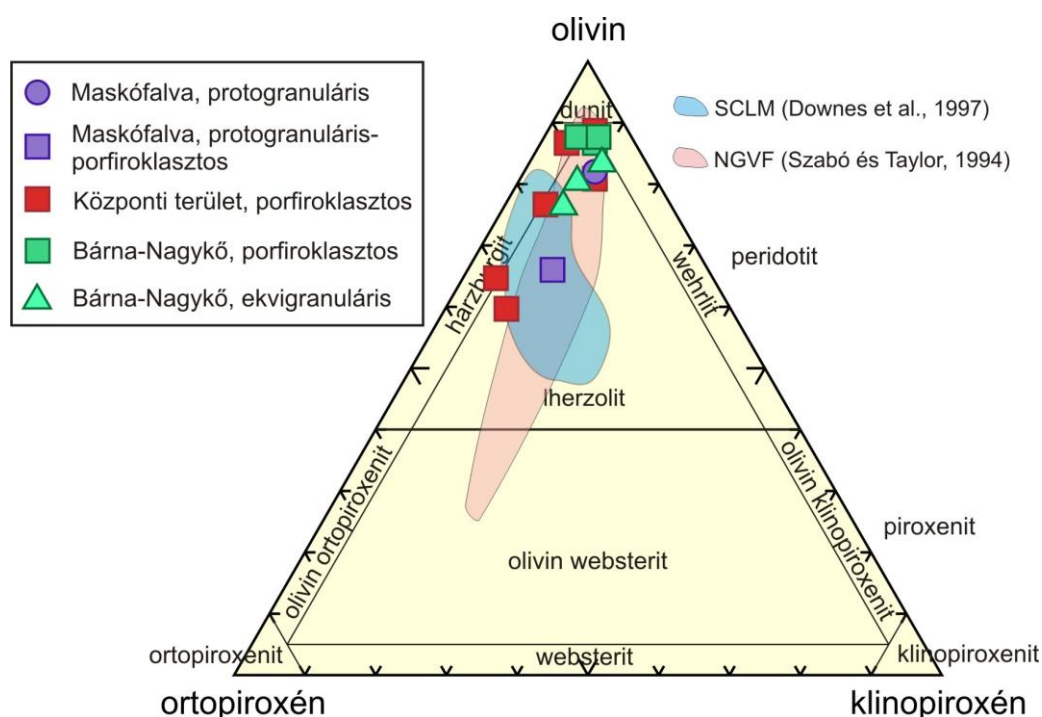
#### *4.2. Petrográfia*

Streckeisen (1975) rendszerében elhelyezve (4. ábra) látható, hogy valamennyi általunk bemutatott xenolit spinell lherzolit. A kőzetalkotó ásványok az olivin, ortopiroxén, klinopiroxén és spinell, valamint egy xenolit (NMS09) amfibolt is tartalmaz. A xenolitok éles határvonallal különülnek el a befogadó bazalttól, méretük max. 5 cm-ig terjed. Petrográfiai vizsgálatukkal elsősorban a modális összetétel és a szövet megállapítása, valamint a jellegzetes deformációs bélyegek észlelése volt a cél.

#### *4.3. Modális összetétel*

A vizsgált xenolitok modális összetételét az 1. táblázat tartalmazza. Az olivinek modális gyakorisága 54-88 % között változik, de a legtöbb xenolitban 75% feletti (1. táblázat), ezért a dolgozatban bemutatott minták alapvetően olivingazdagnak tekinthetők a területen végzett korábbi kutatásokhoz (Szabó és Taylor, 1994), illetve a Downes et al. (1992) által meghatározott szubkontinentális litoszférikus köpeny (SCLM) összetételhez képest (4. ábra). Az eltérés feltételezhetően a minták elégtelen reprezentativitásából származik, ugyanakkor felmerül az a lehetőség is, hogy a nógrád-gömöri vulkáni terület felsőköpenye az átlagosnál nagyobb olivin tartalommal rendelkezik. Ennek eldöntésére azonban diákköri dolgozatunk kereteiben nem nyílik lehetőség.

Az olivin szemcsemérete széles tartományban mozog, 0,1 mm-től 3,0 mm-ig terjed. A szemcsehatárok megjelenése a szövettől függ: nagyobb szemcsék (porfiroklasztok) esetében karéjos, a kisebb szemcseméretű populáció (neoblaszt) tagjai egyenesek. Gyakran tartalmaz spinell zárványt (5g. ábra), amely bizonyítja, hogy a xenolitok átkristályosodási folyamaton is keresztülmentek. Az olivinek zárványként is megjelenhetnek az ortopiroxénekben, ami poikilites szöveti jellegnek tekinthető, azonban nem fordult elő akkora mennyiségben, hogy önálló szövettípus elkülönítését indokolja. Valamennyi minta esetében megfigyelhető az olivinek hullámos, lépcsőzetes kioltása (5d. ábra), amely deformációs hatás eredményeként alakul ki. Mivel a felsőköpeny ásványai közül az olivin reagál a legkönnyebben a feszültségváltozásokra (Christensen, 1984), rajtuk lehet a legjobban észlelni a deformációs bélyegeket, valamint az EBSD-vizsgálatok során kapott tengelyirányok is az olivinek esetében a legegységesebbek (ld. 6. fejezet).



4. ábra. A nógrád-gömöri vulkáni terület xenolitjainak lelőhely és szövet szerinti megoszlása és elhelyezkedése Streckeisen (1975) - diagramon

Az ortopiroxének modális gyakorisága 5-31 % közé tehető. Méretük igen változatos, akár az 5,6 mm-t is elérheti, míg a kisebbek néhány tized mm méretűek. A porfiroklasztos szövetű xenolitokban a legnagyobb porfiroklasztok az ortopiroxének közül kerülnek ki, mivel az olivinnél jobban tűrik a stresszhatást és lassabban reagálnak a feszültségtérben bekövetkezett változásokra (Christensen, 1984). Majdnem minden tanulmányozott xenolitban megjelenik

bennük spinell zárvány, valamint a poikilites szöveti jelleget mutató xenolitokban a nagy ortopiroxénekben zárványként olivin is megfigyelhető (5f. ábra). Esetenként deformáltak (NMS09, NMS17, NTB1124, NFK1123, NFR1109 és NMM1126 xenolit) és megjelennek bennük vékony, néhány  $\mu\text{m}$  széles klinopiroxén szételegyedési lamellák (NTB1124, NFR1109, NFK1123, NBN032A és NBN0311 xenolitok) (5e. ábra). A szételegyedési lamellák a xenolit felszínre szállítódása során válnak ki, amikor az ortopiroxén már nem tudja tovább „oldva” tartani magában a leginkább klinopiroxénbe épülő főelemeket (Na, Ca, Al, Ti, Cr, stb.)

A klinopiroxének átlagosan kisebb modális gyakoriságban, 5-16 %-ban vannak jelen a vizsgált xenolitokban; méretük is kisebb az ortopiroxénekénél (0,05-1,5 mm). Szegélyük esetenként szivacsos szövetű, ami in situ olvadásra utal. Ritkán szilikátolvadék-zárványokat tartalmaznak (NBN035, NBN0311, NBN0321 xenolit), az NBN032A xenolitban pedig spinell szételegyedési lamellákat. Olvadécsomókban sajátalakú, másodlagos kristályai jelennek meg.

A spinellek a legkisebb modális gyakoriságban, max. 3 %-ban fordulnak elő. A vizsgált xenolitokban intersticiálisan és zárványként jelennek meg. Az intersticiális spinellek gyakran nagy (akár 1-2 mm) méretűek, ívelt szemcsehatárral rendelkeznek. A porfiroklasztos szövetű mintákban megfigyelhető a "holly leaf" (magyallevél) alak maradványa, levált nyúlványokkal. Szegélyük gyakran szivacsos, ami in situ parciális olvadásra utal (5h. ábra). Zárványként olivinben és ortopiroxénben fordulnak elő. Megjelenhetnek olvadécsomókban is másodlagos, sajátalakú kristályokként.

Amfibol egyetlen vizsgált xenolitban fordul csak elő, az NMS09 maskófalvai lherzolitban, ahol viszont eléri a 3 %-os gyakoriságot (Szabó és Taylor, 1994). A szemcsék hipidiomorfak, lekerekítettek, jellegzetes barna pleokroizmusuk alapján könnyen felismerhetők. Megjelenésük a felsőköpeny modális metasomatózisára utal.

#### *4.4. Szövet*

A xenolitok szövetének meghatározása különösen fontos lépés ahhoz, hogy a közetzárvány által reprezentált köpenyrész fizikai tulajdonságairól és a benne lezajlott folyamatokról ismereteket szerezzünk. Az ásványszemcsék mérete, alakja, egymáshoz való viszonya utalhat a keletkezésükkor fennállt körülményekre, hőmérsékletre, nyomásra, deformációs hatásokra, továbbá esetenként ezek megváltozásának jelei is észlelhetők. Az egyes szövetek osztályozásának céljából több tanulmány is napvilágot látott, amelyek közül a legelterjedtebb a dolgozatunkban is használt Mercier és Nicolas (1975) rendszere.

| Xenolit | Kőzet     | Kőzetszövet                         | Modális összetétel (%) |     |     |     |     | Olivin            |             |            | Ortopiroxén      |             |            |               | Klinopiroxén szemcseméret (mm) | Spinell megjelenés | O.cs. | B.b. |
|---------|-----------|-------------------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-------------|------------|------------------|-------------|------------|---------------|--------------------------------|--------------------|-------|------|
|         |           |                                     | ol                     | opx | cpx | Sp  | amf | szemcseméret (mm) |             | deformáció | szemcseméret(mm) |             | deformáció | szételegyedés |                                |                    |       |      |
|         |           |                                     |                        |     |     |     |     | 1.populáció       | 2.populáció |            | 1.populáció      | 2.populáció |            |               |                                |                    |       |      |
| NBN032A | Lherzolit | porfiroklasztos                     | 86                     | 8   | 5   | 1   | 0   | 1,0-0,1           |             | X          | 5,3-2,0          | 0,4-0,1     |            | X             | 0,2-0,05                       | i,zv               | X     |      |
| NBN035  | Lherzolit | ekvigranuláris                      | 80                     | 11  | 8   | 1   | 0   | 2,4-0,1           |             | X          | 0,5-0,1          |             |            |               | 0,8-0,2                        | i,zv               |       | X    |
| NBN0311 | Lherzolit | porfiroklasztos                     | 86                     | 5   | 8   | 1   | 0   | 0,7-0,2           |             | X          | 2,2-1,0          | 0,5-0,2     |            | X             | 1,5-0,1                        | zv                 | X     |      |
| NBN0316 | Lherzolit | ekvigranuláris                      | 82                     | 6   | 10  | 2   | 0   | 1,5-0,1           |             | X          | 1,5-0,1          |             |            |               | 0,2-0,05                       | zv                 | X     |      |
| NBN0319 | Lherzolit | ekvigranuláris                      | 76                     | 15  | 8   | 1   | 0   | 1,2-0,1           |             | X          | 1,0-0,1          |             |            |               | 0,6-0,1                        | i,zv               | X     |      |
| NBN0321 | Lherzolit | porfiroklasztos                     | 84                     | 6   | 8   | 2   | 0   | 1,8-0,1           |             | X          | 1,5-0,1          |             |            |               | 0,8-0,1                        | i,zv               |       | X    |
| NME1122 | Lherzolit | porfiroklasztos                     | 88                     | 5   | 7   | 0,5 | 0   | 0,4-0,8           | 1,0-3,0     | X          | 0,1-0,8          | 1,0-3,0     |            |               | 0,1-0,5                        | i                  |       | X    |
| NMM1126 | Lherzolit | porfiroklasztos                     | 58                     | 31  | 9   | 2   | 0   | 0,2-0,9           | 1-2-2,3     | X          | 0,1-0,5          | 0,8-5,6     | X          |               | 0,1-0,8                        | i-hl               |       | X    |
| NFR1109 | Lherzolit | porfiroklasztos                     | 85                     | 10  | 5   | 0,1 | 0   | 0,1-0,2           | 1,0-2,5     | X          | 0,1-0,4          | 1,0-2,0     | X          | X             | 0,1-0,5                        | i,zv               |       |      |
| NFR7    | Lherzolit | porfiroklasztos                     | 79                     | 8   | 10  | 3   | 0   | 0,5-1,2           |             | X          | 0,5-1,2          |             |            |               | 0,1-0,6                        | i                  |       | X    |
| NFK1123 | Lherzolit | porfiroklasztos                     | 64                     | 31  | 5   | 0,5 | 0   | 0,1-1,0           |             | X          | 0,1-5,5          |             | X          | X             | 0,1-0,6                        | i,zv               | X     |      |
| NTB1124 | Lherzolit | porfiroklasztos                     | 75                     | 18  | 6   | 1   | 0   | 0,5-2,0           |             | X          | 0,1-3,2          |             | X          | X             | 0,2-1,0                        | i-hl,zv            |       |      |
| NMS09   | Lherzolit | protogranuláris-<br>porfiroklasztos | 62                     | 25  | 11  | 3   | 3   | 0,2-1,2           |             | X          | 0,7-1,5          | 2,1 – 5,0   | X          | X             | 0,1-0,6                        | i,zv               |       |      |
| NMS17   | Lherzolit | protogranuláris                     | 81                     | 8   | 10  | 1   | 0   | 0,2-0,8           |             | X          | 0,5-1,8          |             | X          | X             | 0,2-0,7                        | i                  |       |      |
|         |           |                                     |                        |     |     |     |     |                   |             |            |                  |             |            |               |                                |                    |       |      |

hl - holly leaf, i - intersticiális, zv - zárvány. O.cs. - olvadécsomó, B.b. - bazalt beszüremkedés

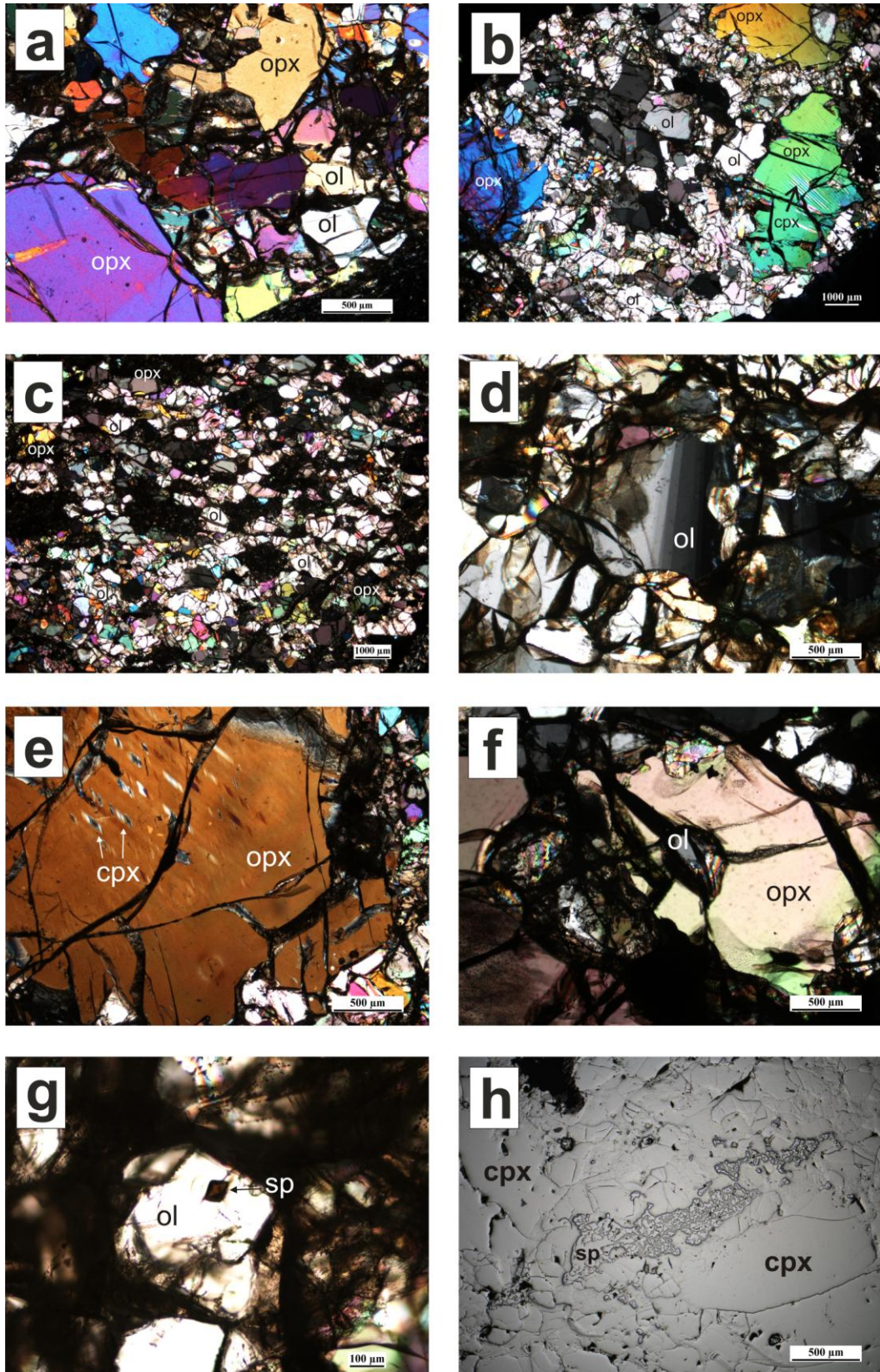
**1. táblázat. A nógrád-gömöri xenolitok petrográfiai tulajdonságai. Az NMS09 xenolit modális összetétele Szabó és Taylor (1994) publikációjából származik.**

A szövettípusok közül a protogranuláris szövet (4a. ábra) az, amelyik a legkisebb deformációt elszenvedett xenolitokra jellemző. Ezek nagy méretű, átlagosan 4 mm-es olivineket és ortopiroxéneket tartalmaznak, míg a klinopiroxének és spinellek mérete kisebb. A szemcsehatárok íveltek, karéjosak. A spinellek szemcseközi (intersticiális) helyzetben jelennek meg, hosszúkás nyúlványokkal: ez az ún. "holly leaf" (magyallevél) alak (Mercier és Nicolas, 1975). A dolgozatban vizsgált xenolitok közül csak egyetlen minta, a legészakabbi, maskófalvi lelőhelyről származó NMS17 xenolit mutatja ezt a szövettípust, egy további, szintén innen gyűjtött xenolit (NMS09) átmeneti jelleggel rendelkezik a protogranuláris és a porfiroklasztos szövettípus között (Szabó és Taylor, 1994) (3. ábra, 1. táblázat)

A porfiroklasztos szövet (4b. ábra) erősebb deformáció hatását jelzi. Két szemcsepopuláció különül el benne: a nagyobb, 2-8 mm-es, karéjos szegélyű porfiroklasztok, illetve az ezek feldarabolódásával keletkezett kis méretű, átlagosan 0,5 mm-es, egyenes határvonalú neoblasztok. Jellemző, hogy a magyallevél alakú spinellek kezdik elveszíteni nyúlványaikat. Ez a szövettípus átmeneti állapotot képvisel a protogranuláris és az ekvigranuláris szövetek között. A dolgozatban vizsgált xenolitok legnagyobb része porfiroklasztos szövetű (NTB1124, NFK1123, NFR1109, NMM1126, NME1122, NBN032A, NBN0311, NBN0321) (3. ábra, 1. táblázat).

Az ekvigranuláris szövet (4c. ábra) a maradék porfiroklasztok felaprózódásával alakul ki, ha a stresszhatás tovább növekedik (Mercier és Nicolas, 1975). Ennek eredménye egy egységesen kis szemcseméretű szövet, ahol a szemcsehatárok egyenesek és gyakran egymással  $120^\circ$ -ot bezáró hármaspontokba futnak össze. A spinellek elsősorban intersticiálisan jelennek meg, de előfordulhatnak a közetalkotó szilikátokban kerekded zárványként (Pike és Schwarzman, 1977). Három bárna-nagykői xenolitot (NBN035, NBN0316, NBN0319) soroltunk ebben a csoportba (1. táblázat).

Gyakori jelenség a xenolitokban megjelenő olvadécsomók, amelyek a kevésbé ellenálló ásványok (spinell, klinopiroxén) másodlagos kristályaiból, valamint közetüvegből állnak (Bali et al., 2002), és megnehezítik a ásványos összetétel, esetenként a szövet pontos meghatározását. Olvadécsomókat a dolgozatban bemutatott xenolitok közül csak a bárna-nagykői lherzolitok (NBN032A, NBN0311, NBN0316, NBN0319, NBN0321) tartalmaznak. Egyes xenolitokban a befogadó bazalt gyenge beszüremkedését is észleltük (NFK1123, NFR1109, NME1122, NBN032A, NBN0319,), amely jól elkülöníthető az olvadécsomóktól (Bali et al., 2002).



5. ábra. A nógrád-gömöri Iherzolit xenolitok jellegzetes szövetei: a - Protogranuláris szövet (NMS17, áteső fény, +N). b - Porfiroklasztos szövet (NFK1123, áteső fény, +N). c - Ekvigranuláris szövet (NBN0319, áteső fény, +N). d - Hullámos kioltású, deformált olivin (NFR1109, áteső fény, +N). e - Klinopiroxén szételegyedési lamellák ortopiroxén porfiroklasztban (NBN032A, áteső fény, +N). f - Poikilites jellegre utaló olivin zárvány ortopiroxénben (NTB1124, áteső fény, +N). g - Sajátalakú spinell zárvány olivinben (NBN0311, áteső fény, 1N). h - "Szivacsosan" olvadt spinell (NBN0311, ráeső fény, 1N). Ol - olivin, opx - ortopiroxén, cpx - klinopiroxén, sp - spinell

## 5. A kőzetalkotó ásványok főelemgeokémia tulajdonságai

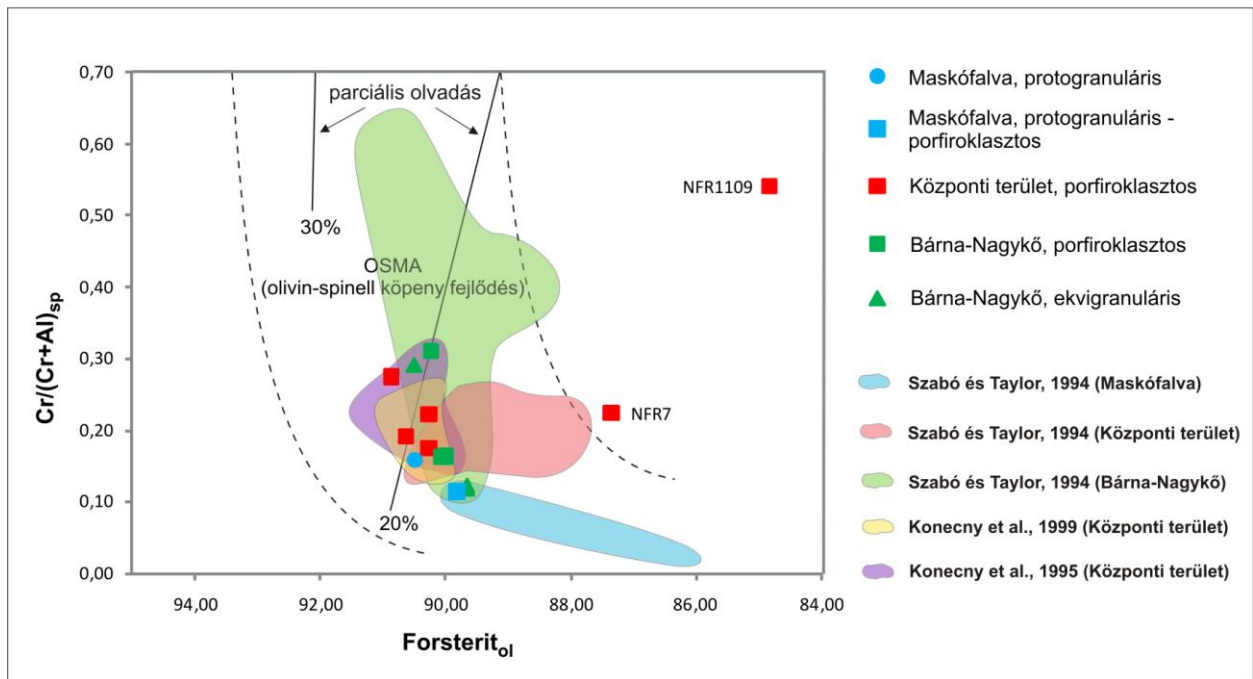
A geokémiai eredmények a lherzolitos sorozat tizennégy kiválasztott xenolitjának elektron mikroszkopos adatain alapulnak.

Az olivin kémiai összetételét a 4. táblázat mutatja. A vizsgált olivinek átlagos MgO-tartalma 49,3 m/m %, amelytől a minimális és maximális érték - 45,4 ill. 50,6 m/m % - jelentősen eltér. A olivinek átlagos NiO-tartalma 0,37 m/m %, MnO-tartalma 0,16 m/m % és CaO-tartalma 0,08 m/m %, míg a tartományuk rendre 0,27-0,46 m/m %, 0,09-0,31 m/m % és 0,03-0,35 m/m % között változik a felsorolás sorrendjében.

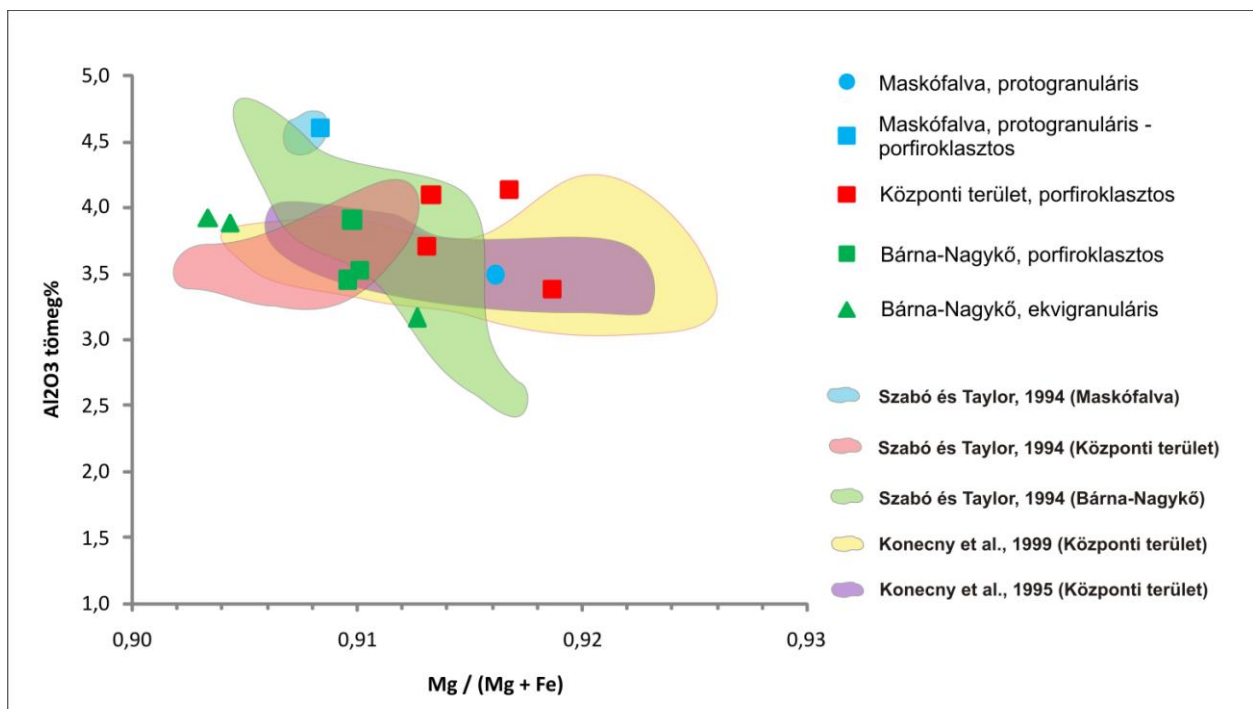
A meglepően széles összetételi tartományt a két kiugró adatot mutató fülek-rátkai lherzolit (NFR1109, NFR7) okozza (4. táblázat). Ezekről eltekintve az olivinekben nem mutatkozik jelentős főelem összetételbeli különbség a nógrád-gömöri terület északi (NMS), központi és déli (NBN) lelőhelyei között és megegyeznek a nógrád-gömöri vulkáni terület Cr-diopszid sorozatának tagjaiban tapasztalt adatokkal (Szabó és Taylor, 1994). Az xenolitokon belül az olivin összetétel homogén. A mg-szám ( $mg\# = Mg/[Mg+Fe]$ ) 0,85-0,91 között változik (átlagos értéke 0,89), azonban a két fülek-rátkai lherzolit (NFR1109, NFR7) nélkül az értékek kiegyensúlyozottabbak (0,89-0,91).

A vizsgált xenolitok az olivin forszterit tartalmát és a spinell cr-számát ( $cr\# = Cr/[Cr+Al]$ ) ábrázoló OSMA- (olivine-spinell mantle array - olivin-spinell köpeny fejlődés) diagramon (6. ábra) az eredeti, metasomatózist nem szenvedett köpenyösszetételt jelző tartományba (Arai, 1987) esnek, a két fülek-rátkai minta kivételével. Az NFR1109 és NFR7 xenolit geokémiai látványosan elkülönül a többitől: MgO- és NiO-tartalmuk átlagosan 46,4 illetve 0,32 m/m %, mg-számuk 0,86, CaO-tartalmuk pedig átlagosan 0,11 m/m % (4. táblázat). Ezek az olivin összetételek a Patkó és Aradi (2012) által leírt wehrlites sorozathoz állnak inkább közel, ezért ezek a minták feltételezhetően átmeneti jelleget képviselnek a lherzolitok és wehrlitek között (Patkó és Aradi, 2012).

A ortopiroxén kémiai összetételét a 5. táblázat tartalmazza. Az ortopiroxén CaO-tartalma 1,00 m/m % alatti minden lherzolitban (0,58-0,92 m/m %, átlagosan 0,72 m/m %), ezzel szemben  $Al_2O_3$  tartománya változatosabb és 1,82-4,59 m/m % között változik (átlagosan 3,50). Legnagyobb Al-tartalommal az NMS09 legkisebbel az NFR1109 xenolit ortopiroxénje rendelkezik, és a klinopiroxének Al-tartalmának szélsőértékei is ugyanezen két xenolitban jelennek meg. Az mg-szám ( $mg\# = Mg/[Mg+Fe]$ ) 0,86-0,91 között változik (átlagosan 0,90), amely jó egyezést mutat az olivin mg-számával.



6. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok eloszlása az OSMa- (olivine-spinell mantle array - olivin-spinell köpeny fejlődés) diagramon (Arai, 1987).



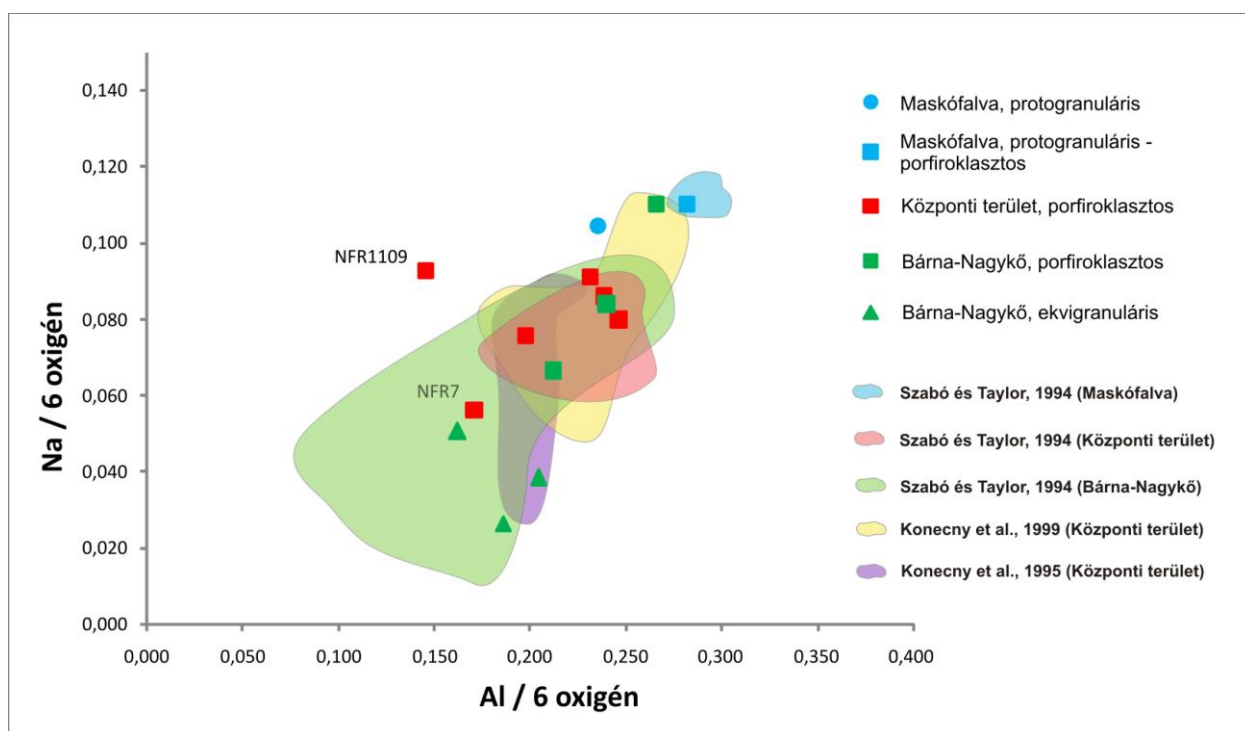
7. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok ortopiroxénjének mg#-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagramja

Az ortopiroxének mg#-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagramja (7. ábra) viszonylag kiegyensúlyozott alumíniumtartalmat mutat (átlagosan 3,77 m/m %). A mg-szám viszonylag szűk tartományban mozog, a bárnai xenolitokban (NBN), valamivel kisebb (0,90), mint a központi (NTB, NFK,

NMM, NME) területen (0,91). Ezen a diagramon az NFR lelőhely xenolitjait nem ábrázoltuk, ugyanis azok a többi lelőhely adataitól sokkal kisebb mg-értékük miatt eltérnek (4. táblázat) és torzították volna a többi xenolit által kirajzolt trendvonalat, amely a mg-szám növekedésével kismértékű Al-tartalom csökkenést mutat.

A klinopiroxén kémiai összetételét az 6. táblázat mutatja. A klinopiroxének kis-közepes  $\text{TiO}_2$ -tartalommal (0,16-0,87 m/m %, átlagosan 0,33 m/m %) és közepes-nagy  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -tartalommal (0,32-1,52 m/m %, átlagosan 0,92 m/m %) rendelkeznek. A klinopiroxének átlagos  $\text{Na}_2\text{O}$ -tartalma 1,02 m/m %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -tartalma 4,80 m/m %, míg a tartományuk 0,32-1,68 m/m % és 3,20-6,58 m/m % között változik. A legnagyobb  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -tartalmat az NMS09, a legkisebbet az NFR1109 xenolit mutatja. A két fülék-rátkai (NFR1109, NFR7) xenolit a klinopiroxén Na-Al diagramban (8. ábra) nem különül el olyan élesen, mint az olivin-spinell illetve az ortopiroxén esetében.

A klinopiroxének mg-száma ( $\text{mg}\# = \text{Mg}/[\text{Mg}+\text{Fe}_2] \text{)$  0,87-0,92-ig terjed, átlagos értéke (0,90) nem tér el az olivinnél és ortopiroxénél tapasztaltaktól.



8. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok klinopiroxénjeinek Na-Al diagramja

A spinellek kémiai összetételét a 7. táblázat tartalmazza. A lherzolitokban az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 22,1-57,0 m/m %, a  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - 10,1-40,5 m/m %, a FeO- 9,88-24,7 m/m %, a MgO-tartalom 11,9-21,5

m/m % értékek között mozog, de az adatok egy adott mintán belül a Cr és Al kivételével jelentősen nem szórnak. Az adatok sokszínűsége azzal magyarázható, hogy a spinell érzékenyen reagál a felsőköpeny fizikai körülmények megváltozására. Cr-ban és Fe-ban a szilikátokban zárványként megjelenő és in situ olvadást szenvedett szemcsék a leggazdagabbak, míg legszegényebbek az intersticiális képletek. A mg-szám ( $mg\# = Mg/[Mg+Fe^{2+}]$ ) 0,55-0,84-ig terjed (átlagosan 0,78), a cr-szám ( $cr\# = Cr/[Cr+Al]$ ) 0,11-0,54 között változik és 0,20-as átlagot értéket mutat, amivel megegyező értékeket publikált Szabó és Taylor (1994). A legkisebb cr-szám a protogranuláris NMS09 xenolitban, a legnagyobb a porfiroklasztos NFR1109 lherzolitban jelentkezik, a spinell nem különül a xenolit szövete szerint (5. ábra). Az egyes szöveti helyzetben lévő spinell típusok között nem észlelhető jelentős különbség (az egyes minták között nagyobb az eltérés, mint egy mintán belül).

Amfibol egyedül az NMS09 lherzolitban jelentkezik, amelynek kémiai összetételét Szabó és Taylor (1994) ismertették. Ez alapján az amfibol pargazit (Leake, 1997), amely nagy  $TiO_2$ -,  $Cr_2O_3$ - és kis FeO-tartalommal jellemezhető. Megjelenése modális metasomatózis eredményének tulajdonítható (Szabó és Taylor (1994)).

| Xenolit                        | NBN0311         |        | NBN0316        |        | NBN0319        |        | NBN0321         |        | NBN032A         |        | NBN035         |        | NME1122         |        |
|--------------------------------|-----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|
| Szövet                         | porfiroklasztos |        | ekvigranuláris |        | ekvigranuláris |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | ekvigranuláris |        | porfiroklasztos |        |
|                                | átlag           | szórás | átlag          | szórás | átlag          | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag          | szórás | átlag           | szórás |
| SiO <sub>2</sub>               | 39,8            | 0,40   | 40,5           | 0,12   | 40,5           | 0,24   | 40,2            | 0,29   | 40,1            | 0,09   | 40,4           | 0,19   | 40,5            | 0,13   |
| TiO <sub>2</sub>               | nd              |        | 0,01           | 0,01   | 0,01           | 0,01   | 0,01            | 0,01   | nd              |        | 0,01           | 0,01   | 0,01            | 0,00   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | nd              |        | nd             |        | nd             |        | nd              |        | 0,01            | 0,01   | nd             |        | 0,01            | 0,01   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,02            | 0,02   | 0,03           | 0,02   | 0,01           | 0,01   | 0,02            | 0,02   | 0,02            | 0,02   | 0,04           | 0,03   | 0,02            | 0,02   |
| FeO                            | 9,78            | 0,09   | 10,2           | 0,12   | 10,2           | 0,11   | 9,83            | 0,19   | 9,96            | 0,18   | 9,45           | 0,16   | 9,47            | 0,12   |
| MnO                            | 0,15            | 0,03   | 0,15           | 0,02   | 0,16           | 0,02   | 0,14            | 0,02   | 0,14            | 0,02   | 0,14           | 0,03   | 0,13            | 0,01   |
| MgO                            | 50,2            | 0,17   | 49,6           | 0,19   | 49,5           | 0,17   | 49,9            | 0,31   | 50,3            | 0,13   | 50,1           | 0,26   | 50,2            | 0,12   |
| CaO                            | 0,12            | 0,01   | 0,05           | 0,01   | 0,05           | 0,01   | 0,10            | 0,03   | 0,08            | 0,02   | 0,08           | 0,03   | 0,07            | 0,02   |
| NiO                            | 0,35            | 0,04   | 0,42           | 0,03   | 0,36           | 0,04   | 0,38            | 0,03   | 0,38            | 0,03   | 0,38           | 0,04   | 0,36            | 0,04   |
| Totál                          | 100,41          |        | 101,02         |        | 100,73         |        | 100,59          |        | 100,94          |        | 100,56         |        | 100,76          |        |
| Kationszámok 4 oxigénre        |                 |        |                |        |                |        |                 |        |                 |        |                |        |                 |        |
| Si                             | 0,976           |        | 0,990          |        | 0,990          |        | 0,985           |        | 0,976           |        | 0,987          |        | 0,987           |        |
| Fe                             | 0,201           |        | 0,208          |        | 0,208          |        | 0,201           |        | 0,201           |        | 0,193          |        | 0,193           |        |
| Mn                             | 0,003           |        | 0,003          |        | 0,003          |        | 0,003           |        | 0,003           |        | 0,003          |        | 0,003           |        |
| Mg                             | 1,839           |        | 1,807          |        | 1,807          |        | 1,823           |        | 1,839           |        | 1,825          |        | 1,827           |        |
| Ca                             | 0,003           |        | 0,001          |        | 0,001          |        | 0,003           |        | 0,003           |        | 0,002          |        | 0,002           |        |
| Ni                             | 0,007           |        | 0,008          |        | 0,007          |        | 0,008           |        | 0,007           |        | 0,008          |        | 0,007           |        |
| Totál                          | 3,023           |        | 3,010          |        | 3,010          |        | 3,015           |        | 3,023           |        | 3,012          |        | 3,013           |        |
| Mg/(Mg+Fe)                     | 0,91            |        | 0,91           |        | 0,91           |        | 0,91            |        | 0,91            |        | 0,92           |        | 0,90            |        |

a teljes vas FeO-ban van megadva

nd – nem detektált elem

2. táblázat. Az olivin átlagos főelem összetétele

| Xenolit                        | NMM1126         |        | NFR7            |        | NFR1109         |        | NFK1123         |        | NTB1124         |        | NMS09*          |        | NMS17                           |        |
|--------------------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|---------------------------------|--------|
| Szövet                         | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | protogranuláris |        | protogranuláris-porfiroklasztos |        |
|                                | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag                           | szórás |
| SiO <sub>2</sub>               | 40,7            | 0,12   | 39,9            | 0,27   | 40,2            | 0,23   | 40,9            | 0,08   | 40,8            | 0,08   | 40,3            | 0,01   | 40,8                            | 0,14   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,01            | 0,01   | nd              |        | 0,01            | 0,01   | nd              |        | 0,01            | 0,01   | na              |        | 0,01                            | 0,01   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,01            | 0,01   | 0,03            | 0,02   | 0,01            | 0,01   | 0,01            | 0,01   | nd              |        | na              |        | 0,01                            | 0,01   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,01            | 0,01   | 0,04            | 0,03   | 0,03            | 0,03   | 0,04            | 0,04   | 0,02            | 0,03   | na              |        | nd                              |        |
| FeO                            | 9,41            | 0,11   | 12,1            | 0,59   | 14,4            | 0,25   | 8,73            | 0,14   | 9,07            | 0,13   | 9,85            | 0,08   | 9,35                            | 0,06   |
| MnO                            | 0,15            | 0,03   | 0,24            | 0,02   | 0,25            | 0,03   | 0,13            | 0,02   | 0,14            | 0,04   | 0,13            | 0,01   | 0,13                            | 0,04   |
| MgO                            | 50,2            | 0,21   | 47,0            | 0,50   | 45,8            | 0,29   | 50,2            | 0,17   | 50,5            | 0,15   | 48,6            | 0,03   | 50,0                            | 0,15   |
| CaO                            | 0,08            | 0,01   | 0,14            | 0,10   | 0,08            | 0,02   | 0,08            | 0,02   | 0,07            | 0,01   | 0,08            | 0,01   | 0,05                            | 0,01   |
| NiO                            | 0,42            | 0,03   | 0,33            | 0,03   | 0,32            | 0,01   | 0,38            | 0,04   | 0,40            | 0,03   | 0,37            | 0,03   | 0,40                            | 0,03   |
| Totál                          | 101,00          |        | 99,79           |        | 101,09          |        | 100,52          |        | 100,95          |        | 99,33           |        | 100,71                          |        |
| Kationszámok 4 oxigénre        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                                 |        |
| Si                             | 0,990           |        | 0,995           |        | 0,998           |        | 0,996           |        | 0,991           |        | 0,994           |        | 0,997                           |        |
| Fe                             | 0,192           |        | 0,253           |        | 0,298           |        | 0,178           |        | 0,184           |        | 0,191           |        | 0,203                           |        |
| Mn                             | 0,003           |        | 0,005           |        | 0,005           |        | 0,003           |        | 0,003           |        | 0,003           |        | 0,002                           |        |
| Mg                             | 1,823           |        | 1,745           |        | 1,696           |        | 1,824           |        | 1,828           |        | 1,817           |        | 1,790                           |        |
| Ca                             | 0,002           |        | 0,004           |        | 0,002           |        | 0,002           |        | 0,002           |        | 0,001           |        | 0,002                           |        |
| Ni                             | 0,008           |        | 0,007           |        | 0,006           |        | 0,007           |        | 0,008           |        | 0,008           |        | 0,007                           |        |
| Totál                          | 3,010           |        | 3,004           |        | 3,001           |        | 3,004           |        | 3,009           |        | 3,006           |        | 3,001                           |        |
| Mg/(Mg+Fe)                     | 0,90            |        | 0,87            |        | 0,85            |        | 0,91            |        | 0,91            |        | 0,91            |        | 0,90                            |        |

a teljes vas FeO-ban van megadva

\* az adatok Szabó és Taylor (1994) publikációjából származnak

na - nem analizált elem

nd - nem detektált elem

2. táblázat (folyt.). Az olivin átlagos főelem összetétele

| Xenolit                        | NBN0311         |        | NBN0316        |        | NBN0319        |        | NBN0321         |        | NBN032A         |        | NBN035         |        | NME1122         |        |
|--------------------------------|-----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|
| Szövet                         | porfiroklasztos |        | ekvigranuláris |        | ekvigranuláris |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | ekvigranuláris |        | porfiroklasztos |        |
|                                | átlag           | szórás | átlag          | szórás | átlag          | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag          | szórás | átlag           | szórás |
| SiO <sub>2</sub>               | 54,0            | 0,82   | 54,7           | 0,19   | 54,8           | 0,23   | 54,6            | 0,55   | 54,8            | 0,15   | 55,3           | 0,22   | 55,2            | 0,14   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,07            | 0,01   | 0,07           | 0,02   | 0,06           | 0,02   | 0,09            | 0,02   | 0,07            | 0,01   | 0,07           | 0,01   | 0,09            | 0,02   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,90            | 0,43   | 3,92           | 0,09   | 3,88           | 0,12   | 3,52            | 0,24   | 3,44            | 0,12   | 3,16           | 0,48   | 3,70            | 0,10   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,42            | 0,03   | 0,30           | 0,03   | 0,29           | 0,03   | 0,41            | 0,03   | 0,37            | 0,06   | 0,43           | 0,05   | 0,49            | 0,04   |
| FeO                            | 6,34            | 0,04   | 6,75           | 0,06   | 6,65           | 0,13   | 6,31            | 0,09   | 6,39            | 0,09   | 6,16           | 0,13   | 6,08            | 0,09   |
| MnO                            | 0,14            | 0,01   | 0,14           | 0,03   | 0,16           | 0,02   | 0,13            | 0,02   | 0,15            | 0,02   | 0,14           | 0,02   | 0,15            | 0,02   |
| MgO                            | 34,1            | 0,40   | 33,7           | 0,14   | 33,5           | 0,09   | 34,0            | 0,25   | 34,3            | 0,11   | 34,2           | 0,39   | 33,9            | 0,15   |
| CaO                            | 0,63            | 0,00   | 0,68           | 0,03   | 0,68           | 0,03   | 0,69            | 0,02   | 0,66            | 0,02   | 0,66           | 0,02   | 0,75            | 0,04   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,08            | 0,00   | 0,01           | 0,02   | 0,01           | 0,01   | 0,04            | 0,02   | 0,04            | 0,02   | 0,03           | 0,02   | 0,07            | 0,01   |
| NiO                            | 0,07            | 0,00   | 0,09           | 0,02   | 0,10           | 0,03   | 0,11            | 0,03   | 0,11            | 0,02   | 0,10           | 0,02   | 0,10            | 0,02   |
| Totál                          | 99,84           |        | 100,37         |        | 100,10         |        | 99,97           |        | 100,36          |        | 100,20         |        | 100,50          |        |
| Kationszámok 6 oxigénre        |                 |        |                |        |                |        |                 |        |                 |        |                |        |                 |        |
| Si                             | 1,878           |        | 1,890          |        | 1,897          |        | 1,893           |        | 1,894           |        | 1,909          |        | 1,901           |        |
| Al                             | 0,160           |        | 0,160          |        | 0,158          |        | 0,144           |        | 0,140           |        | 0,129          |        | 0,150           |        |
| Fe                             | 0,184           |        | 0,195          |        | 0,193          |        | 0,183           |        | 0,185           |        | 0,178          |        | 0,175           |        |
| Cr                             | 0,012           |        | 0,008          |        | 0,008          |        | 0,011           |        | 0,010           |        | 0,012          |        | 0,013           |        |
| Ti                             | 0,002           |        | 0,002          |        | 0,002          |        | 0,002           |        | 0,002           |        | 0,002          |        | 0,002           |        |
| Mn                             | 0,004           |        | 0,004          |        | 0,005          |        | 0,004           |        | 0,005           |        | 0,004          |        | 0,004           |        |
| Mg                             | 1,767           |        | 1,737          |        | 1,728          |        | 1,759           |        | 1,766           |        | 1,758          |        | 1,737           |        |
| Ca                             | 0,023           |        | 0,025          |        | 0,025          |        | 0,026           |        | 0,024           |        | 0,024          |        | 0,028           |        |
| Na                             | 0,005           |        | 0,001          |        | 0,001          |        | 0,002           |        | 0,002           |        | 0,002          |        | 0,005           |        |
| Ni                             | 0,002           |        | 0,002          |        | 0,003          |        | 0,003           |        | 0,003           |        | 0,003          |        | 0,003           |        |
| Totál                          | 4,036           |        | 4,023          |        | 4,018          |        | 4,027           |        | 4,029           |        | 4,020          |        | 4,017           |        |
| Mg/(Mg+Fe)                     | 0,90            |        | 0,90           |        | 0,90           |        | 0,91            |        | 0,90            |        | 0,91           |        | 0,91            |        |

a teljes vas FeO-ban van megadva

3. táblázat. Az ortopiroxén átlagos főelem összetétele

| Xenolit                        | NMM1126         |        | NFR7            |        | NFR1109         |        | NFK1123         |        | NTB1124         |        | NMS09*          |        | NMS17                           |        |
|--------------------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|---------------------------------|--------|
| Szövet                         | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | protogranuláris |        | protogranuláris-porfiroklasztos |        |
|                                | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag                           | szórás |
| SiO <sub>2</sub>               | 55,1            | 0,18   | 55,0            | 0,88   | 55,9            | 0,27   | 55,6            | 0,20   | 54,9            | 0,19   | 54,5            | 0,02   | 55,2                            | 0,12   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,06            | 0,01   | 0,01            | 0,01   | 0,07            | 0,01   | 0,08            | 0,02   | 0,16            | 0,02   | 0,13            | 0,01   | 0,09                            | 0,01   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,08            | 0,17   | 3,01            | 0,01   | 1,95            | 0,09   | 3,37            | 0,08   | 4,13            | 0,09   | 4,59            | 0,22   | 3,49                            | 0,27   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,47            | 0,05   | 0,39            | 0,10   | 0,51            | 0,06   | 0,58            | 0,06   | 0,53            | 0,02   | 0,39            | 0,05   | 0,34                            | 0,05   |
| FeO                            | 6,02            | 0,07   | 7,70            | 0,01   | 9,00            | 0,12   | 5,70            | 0,13   | 5,79            | 0,05   | 6,27            | 0,05   | 5,91                            | 0,08   |
| MnO                            | 0,13            | 0,01   | 0,21            | 0,15   | 0,27            | 0,03   | 0,13            | 0,01   | 0,14            | 0,03   | 0,14            | 0,02   | 0,15                            | 0,03   |
| MgO                            | 33,6            | 0,22   | 32,4            | 0,00   | 32,0            | 0,18   | 34,0            | 0,13   | 33,7            | 0,17   | 32,7            | 0,02   | 34,2                            | 0,38   |
| CaO                            | 0,79            | 0,04   | 0,75            | 0,10   | 0,91            | 0,01   | 0,80            | 0,03   | 0,85            | 0,03   | 0,77            | 0,03   | 0,58                            | 0,01   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,09            | 0,04   | 0,00            | 0,02   | 0,08            | 0,02   | 0,08            | 0,07   | 0,07            | 0,02   | 0,09            | 0,01   | 0,06                            | 0,03   |
| NiO                            | 0,09            | 0,02   | 0,08            | 0,00   | 0,08            | 0,02   | 0,10            | 0,02   | 0,10            | 0,02   | na              |        | 0,08                            | 0,02   |
| Totál                          | 100,39          |        | 99,53           |        | 100,80          |        | 100,46          |        | 100,31          |        | 99,58           |        | 100,06                          |        |
| Kationszámok 6 oxigénre        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                                 |        |
| Si                             | 1,896           |        | 1,923           |        | 1,943           |        | 1,912           |        | 1,890           |        | 1,892           |        | 1,905                           |        |
| Al                             | 0,166           |        | 0,124           |        | 0,080           |        | 0,137           |        | 0,168           |        | 0,187           |        | 0,142                           |        |
| Fe                             | 0,173           |        | 0,225           |        | 0,262           |        | 0,164           |        | 0,167           |        | 0,181           |        | 0,171                           |        |
| Cr                             | 0,013           |        | 0,011           |        | 0,014           |        | 0,016           |        | 0,014           |        | 0,010           |        | 0,009                           |        |
| Ti                             | 0,002           |        | 0,000           |        | 0,002           |        | 0,002           |        | 0,004           |        | 0,003           |        | 0,002                           |        |
| Mn                             | 0,004           |        | 0,006           |        | 0,008           |        | 0,004           |        | 0,004           |        | 0,004           |        | 0,004                           |        |
| Mg                             | 1,724           |        | 1,689           |        | 1,660           |        | 1,741           |        | 1,731           |        | 1,693           |        | 1,758                           |        |
| Ca                             | 0,029           |        | 0,028           |        | 0,034           |        | 0,029           |        | 0,031           |        | 0,028           |        | 0,022                           |        |
| Na                             | 0,006           |        | 0,000           |        | 0,005           |        | 0,005           |        | 0,005           |        | 0,006           |        | 0,004                           |        |
| Ni                             | 0,003           |        | 0,002           |        | 0,002           |        | 0,003           |        | 0,003           |        |                 |        | 0,002                           |        |
| Totál                          | 4,015           |        | 4,009           |        | 4,010           |        | 4,013           |        | 4,017           |        | 4,004           |        | 4,018                           |        |
| Mg/(Mg+Fe)                     | 0,91            |        | 0,88            |        | 0,86            |        | 0,91            |        | 0,91            |        | 0,91            |        | 0,90                            |        |

a teljes vas FeO-ban van megadva

\* az adatok Szabó és Taylor (1994) publikációjából származnak

na - nem analizált elem

### 3. táblázat (folyt.). Az ortopiroxén átlagos főelem összetétele

| Xenolit                        | NBN0311         |        | NBN0316        |        | NBN0319        |        | NBN0321         |        | NBN032A         |        | NBN035         |        | NME1122         |        |
|--------------------------------|-----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|
| Szövet                         | porfiroklasztos |        | ekvigranuláris |        | ekvigranuláris |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | ekvigranuláris |        | porfiroklasztos |        |
|                                | átlag           | szórás | átlag          | szórás | átlag          | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag          | szórás | átlag           | szórás |
| SiO <sub>2</sub>               | 50,8            | 0,47   | 51,2           | 0,48   | 51,4           | 0,21   | 50,9            | 0,36   | 51,3            | 0,17   | 52,0           | 0,12   | 51,6            | 0,22   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,42            | 0,07   | 0,33           | 0,24   | 0,24           | 0,02   | 0,49            | 0,02   | 0,34            | 0,06   | 0,20           | 0,02   | 0,34            | 0,04   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,15            | 0,31   | 4,73           | 0,78   | 4,30           | 0,10   | 5,55            | 0,13   | 4,92            | 0,39   | 3,76           | 0,09   | 5,39            | 0,16   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,77            | 0,04   | 0,50           | 0,03   | 0,44           | 0,06   | 0,88            | 0,04   | 0,81            | 0,13   | 0,91           | 0,10   | 1,12            | 0,08   |
| FeO                            | 2,67            | 0,09   | 3,04           | 0,15   | 2,99           | 0,09   | 2,78            | 0,09   | 2,72            | 0,06   | 2,62           | 0,08   | 2,77            | 0,08   |
| MnO                            | 0,10            | 0,03   | 0,08           | 0,03   | 0,08           | 0,02   | 0,07            | 0,02   | 0,08            | 0,01   | 0,08           | 0,03   | 0,09            | 0,02   |
| MgO                            | 15,8            | 0,16   | 16,7           | 0,13   | 16,9           | 0,10   | 16,0            | 0,16   | 16,4            | 0,25   | 16,9           | 0,11   | 16,0            | 0,19   |
| CaO                            | 20,7            | 0,20   | 22,4           | 1,04   | 22,8           | 0,16   | 21,2            | 0,23   | 21,8            | 0,22   | 22,2           | 0,15   | 20,9            | 0,15   |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,55            | 0,10   | 0,54           | 0,22   | 0,37           | 0,02   | 1,18            | 0,09   | 0,93            | 0,09   | 0,71           | 0,04   | 1,28            | 0,05   |
| NiO                            | 0,06            | 0,03   | 0,05           | 0,02   | 0,06           | 0,02   | 0,04            | 0,02   | 0,06            | 0,02   | 0,03           | 0,01   | 0,04            | 0,02   |
| Totál                          | 98,94           |        | 99,62          |        | 99,57          |        | 99,17           |        | 99,35           |        | 99,35          |        | 99,55           |        |
| Kationszámok 6 oxigénre        |                 |        |                |        |                |        |                 |        |                 |        |                |        |                 |        |
| Si                             | 1,863           |        | 1,874          |        | 1,882          |        | 1,867           |        | 1,878           |        | 1,903          |        | 1,883           |        |
| Al                             | 0,266           |        | 0,204          |        | 0,186          |        | 0,240           |        | 0,212           |        | 0,162          |        | 0,232           |        |
| Fe                             | 0,082           |        | 0,093          |        | 0,091          |        | 0,084           |        | 0,083           |        | 0,080          |        | 0,084           |        |
| Ti                             | 0,012           |        | 0,009          |        | 0,007          |        | 0,014           |        | 0,009           |        | 0,006          |        | 0,009           |        |
| Cr                             | 0,022           |        | 0,014          |        | 0,013          |        | 0,026           |        | 0,023           |        | 0,026          |        | 0,032           |        |
| Mg                             | 0,864           |        | 0,913          |        | 0,920          |        | 0,876           |        | 0,894           |        | 0,922          |        | 0,869           |        |
| Mn                             | 0,003           |        | 0,003          |        | 0,003          |        | 0,002           |        | 0,003           |        | 0,002          |        | 0,003           |        |
| Ca                             | 0,812           |        | 0,878          |        | 0,896          |        | 0,835           |        | 0,857           |        | 0,869          |        | 0,816           |        |
| Na                             | 0,110           |        | 0,038          |        | 0,026          |        | 0,084           |        | 0,066           |        | 0,051          |        | 0,091           |        |
| Ni                             | 0,002           |        | 0,002          |        | 0,002          |        | 0,001           |        | 0,002           |        | 0,001          |        | 0,001           |        |
| Totál                          | 4,036           |        | 4,027          |        | 4,025          |        | 4,029           |        | 4,028           |        | 4,022          |        | 4,021           |        |
| Mg/(Mg+Fe)                     | 0,91            |        | 0,91           |        | 0,91           |        | 0,91            |        | 0,91            |        | 0,92           |        | 0,91            |        |

a teljes vas FeO-ban van megadva

4. táblázat. A klinopiroxén átlagos főelem összetétele

| Xenolit                        | NMM1126         |        | NFR7            |        | NFR1109         |        | NFK1123         |        | NTB1124         |        | NMS09*          |        | NMS17                           |        |
|--------------------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|---------------------------------|--------|
| Szövet                         | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | protogranuláris |        | protogranuláris-porfiroklasztos |        |
|                                | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag                           | szórás |
| SiO <sub>2</sub>               | 51,7            | 0,26   | 51,2            | 0,47   | 53,2            | 0,23   | 52,2            | 0,31   | 51,2            | 0,11   | 51,5            | 0,02   | 52,4                            | 0,18   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,23            | 0,01   | 0,40            | 0,15   | 0,19            | 0,02   | 0,29            | 0,04   | 0,53            | 0,03   | 0,54            | 0,02   | 0,41                            | 0,04   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,57            | 0,13   | 3,93            | 0,59   | 3,39            | 0,15   | 4,61            | 0,19   | 5,74            | 0,13   | 6,58            | 0,13   | 5,51                            | 0,09   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,94            | 0,09   | 0,94            | 0,13   | 1,36            | 0,10   | 1,26            | 0,12   | 1,05            | 0,05   | 0,80            | 0,04   | 0,82                            | 0,02   |
| FeO                            | 2,74            | 0,04   | 3,44            | 0,29   | 4,18            | 0,11   | 2,59            | 0,09   | 2,83            | 0,09   | 2,82            | 0,05   | 2,36                            | 0,05   |
| MnO                            | 0,08            | 0,03   | 0,08            | 0,03   | 0,15            | 0,02   | 0,08            | 0,02   | 0,08            | 0,03   | 0,09            | 0,01   | 0,08                            | 0,04   |
| MgO                            | 16,0            | 0,15   | 16,0            | 0,78   | 16,1            | 0,19   | 16,4            | 0,21   | 16,1            | 0,07   | 15,2            | 0,02   | 15,7                            | 0,08   |
| CaO                            | 21,0            | 0,04   | 22,0            | 1,00   | 20,2            | 0,14   | 21,2            | 0,33   | 21,0            | 0,10   | 20,2            | 0,05   | 21,0                            | 0,12   |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,22            | 0,05   | 0,78            | 0,13   | 1,31            | 0,04   | 1,07            | 0,08   | 1,13            | 0,05   | 1,56            | 0,02   | 1,48                            | 0,04   |
| NiO                            | 0,07            | 0,02   | 0,05            | 0,01   | 0,03            | 0,01   | 0,07            | 0,03   | 0,04            | 0,01   | na              |        | 0,04                            | 0,02   |
| Totál                          | 99,57           |        | 98,88           |        | 100,02          |        | 99,77           |        | 99,69           |        | 99,29           |        | 99,78                           |        |
| <b>Kationszámok 6 oxigénre</b> |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                                 |        |
| Si                             | 1,884           |        | 1,894           |        | 1,936           |        | 1,898           |        | 1,866           |        | 1,870           |        | 1,899                           |        |
| Al                             | 0,239           |        | 0,171           |        | 0,146           |        | 0,198           |        | 0,246           |        | 0,282           |        | 0,235                           |        |
| Fe                             | 0,083           |        | 0,106           |        | 0,127           |        | 0,078           |        | 0,086           |        | 0,086           |        | 0,071                           |        |
| Ti                             | 0,006           |        | 0,011           |        | 0,005           |        | 0,008           |        | 0,014           |        | 0,015           |        | 0,011                           |        |
| Cr                             | 0,027           |        | 0,028           |        | 0,039           |        | 0,036           |        | 0,030           |        | 0,023           |        | 0,023                           |        |
| Mg                             | 0,871           |        | 0,882           |        | 0,872           |        | 0,891           |        | 0,876           |        | 0,824           |        | 0,848                           |        |
| Mn                             | 0,003           |        | 0,002           |        | 0,005           |        | 0,003           |        | 0,002           |        | 0,003           |        | 0,003                           |        |
| Ca                             | 0,818           |        | 0,873           |        | 0,788           |        | 0,825           |        | 0,818           |        | 0,788           |        | 0,816                           |        |
| Na                             | 0,086           |        | 0,056           |        | 0,093           |        | 0,075           |        | 0,080           |        | 0,110           |        | 0,104                           |        |
| Ni                             | 0,002           |        | 0,002           |        | 0,001           |        | 0,002           |        | 0,001           |        |                 |        | 0,001                           |        |
| Totál                          | 4,019           |        | 4,023           |        | 4,012           |        | 4,014           |        | 4,021           |        | 4,001           |        | 4,012                           |        |
| Mg/(Mg+Fe)                     | 0,91            |        | 0,89            |        | 0,87            |        | 0,92            |        | 0,91            |        | 0,91            |        | 0,91                            |        |

a teljes vas FeO-ban van megadva

\* az adatok Szabó és Taylor (1994) publikációjából származnak

na - nem analizált elem

#### 4. táblázat (folyt.). A klinopiroxén átlagos főelem összetétele

| Xenolit                            | NBN0311         |        | NBN0316        |        | NBN0319        |        | NBN0321         |        | NBN032A         |        | NBN035         |        | NME1122         |        |
|------------------------------------|-----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|
| Szövet                             | porfiroklasztos |        | ekvigranuláris |        | ekvigranuláris |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | ekvigranuláris |        | porfiroklasztos |        |
|                                    | átlag           | szórás | átlag          | szórás | átlag          | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag          | szórás | átlag           | szórás |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | 1,08            | 0,47   | 0,15           | 0,10   | 0,15           | 0,20   | 0,28            | 0,11   | 0,12            | 0,02   | 0,15           | 0,02   | 0,14            | 0,03   |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 39,8            | 1,32   | 55,5           | 0,72   | 54,5           | 1,38   | 51,4            | 0,68   | 51,7            | 2,09   | 41,6           | 0,70   | 47,4            | 0,22   |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 26,7            | 0,73   | 11,0           | 0,72   | 11,6           | 0,80   | 15,4            | 0,75   | 15,0            | 2,05   | 25,4           | 0,72   | 20,0            | 0,22   |
| <b>FeO</b>                         | 13,3            | 0,60   | 11,6           | 0,78   | 12,5           | 1,31   | 11,4            | 0,20   | 11,6            | 0,62   | 13,2           | 0,30   | 12,4            | 0,19   |
| <b>MnO</b>                         | 0,15            | 0,01   | 0,12           | 0,03   | 0,11           | 0,03   | 0,12            | 0,03   | 0,12            | 0,03   | 0,15           | 0,03   | 0,11            | 0,02   |
| <b>NiO</b>                         | 0,21            | 0,00   | 0,35           | 0,05   | 0,37           | 0,07   | 0,36            | 0,02   | 0,34            | 0,03   | 0,27           | 0,04   | 0,32            | 0,03   |
| <b>MgO</b>                         | 18,2            | 0,35   | 20,5           | 0,18   | 20,0           | 0,22   | 20,5            | 0,38   | 20,7            | 0,59   | 18,8           | 0,16   | 19,8            | 0,14   |
| <b>Totál</b>                       | 99,43           |        | 99,16          |        | 99,14          |        | 99,48           |        | 99,52           |        | 99,62          |        | 100,12          |        |
| <b>Kationszámok 4 oxigénre</b>     |                 |        |                |        |                |        |                 |        |                 |        |                |        |                 |        |
| <b>Ti</b>                          | 0,023           |        | 0,003          |        | 0,003          |        | 0,006           |        | 0,002           |        | 0,003          |        | 0,003           |        |
| <b>Al</b>                          | 1,318           |        | 1,719          |        | 1,702          |        | 1,614           |        | 1,621           |        | 1,369          |        | 1,510           |        |
| <b>Cr</b>                          | 0,594           |        | 0,230          |        | 0,243          |        | 0,325           |        | 0,315           |        | 0,560          |        | 0,427           |        |
| <b>Fe<sup>3+</sup></b>             | 0,056           |        | 0,060          |        | 0,065          |        | 0,066           |        | 0,077           |        | 0,086          |        | 0,075           |        |
| <b>Fe<sup>2+</sup></b>             | 0,255           |        | 0,194          |        | 0,209          |        | 0,187           |        | 0,179           |        | 0,218          |        | 0,205           |        |
| <b>Mn</b>                          | 0,003           |        | 0,003          |        | 0,002          |        | 0,003           |        | 0,003           |        | 0,003          |        | 0,003           |        |
| <b>Ni</b>                          | 0,005           |        | 0,008          |        | 0,008          |        | 0,008           |        | 0,007           |        | 0,006          |        | 0,007           |        |
| <b>Mg</b>                          | 0,765           |        | 0,804          |        | 0,790          |        | 0,815           |        | 0,822           |        | 0,784          |        | 0,798           |        |
| <b>Totál</b>                       | 3,021           |        | 3,023          |        | 3,025          |        | 3,025           |        | 3,029           |        | 3,033          |        | 3,028           |        |
| <b>Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)</b>     | 0,75            |        | 0,80           |        | 0,79           |        | 0,81            |        | 0,82            |        | 0,78           |        | 0,80            |        |
| <b>Cr/(Cr+Al)</b>                  | 0,31            |        | 0,12           |        | 0,12           |        | 0,17            |        | 0,16            |        | 0,29           |        | 0,22            |        |

a teljes vas FeO-ban van megadva

Fe<sup>2+</sup> és Fe<sup>3+</sup> számítása sztöchiometria alapján történt

5. táblázat. A spinell átlagos főelem összetétele

| Xenolit                            | NMM1126         |        | NFR7            |        | NFR1109         |        | NFK1123         |        | NTB1124         |        | NMS09*          |        | NMS17                           |        |
|------------------------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|---------------------------------|--------|
| Szövet                             | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | porfiroklasztos |        | protogranuláris |        | protogranuláris-porfiroklasztos |        |
|                                    | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag           | szórás | átlag                           | szórás |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | 0,08            | 0,01   | 0,11            | 0,11   | 0,44            | 0,05   | 0,17            | 0,02   | 0,19            | 0,02   | 0,09            | 0,02   | 0,1                             | 0,01   |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 51,5            | 0,28   | 46,1            | 2,88   | 22,9            | 0,56   | 43,2            | 0,04   | 49,9            | 0,16   | 53,1            | 0,95   | 56,3                            | 0,03   |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 16,2            | 0,26   | 19,7            | 3,34   | 39,9            | 0,36   | 24,3            | 0,42   | 17,6            | 0,21   | 14,7            | 0,60   | 10,8                            | 0,02   |
| <b>FeO</b>                         | 11,4            | 0,13   | 15,9            | 0,33   | 24,0            | 0,45   | 12,9            | 0,10   | 11,7            | 0,06   | 10,0            | 0,04   | 10,3                            | 0,01   |
| <b>MnO</b>                         | 0,10            | 0,04   | nd              |        | 0,32            | 0,05   | 0,12            | 0,00   | 0,12            | 0,01   | 0,11            | 0,01   | 0,09                            | 0,01   |
| <b>NiO</b>                         | 0,37            | 0,02   | 0,29            | 0,03   | 0,13            | 0,03   | 0,34            | 0,04   | 0,34            | 0,03   | 0,33            | 0,03   | 0,34                            | 0,04   |
| <b>MgO</b>                         | 20,6            | 0,07   | 17,1            | 0,57   | 12,2            | 0,15   | 19,4            | 0,14   | 20,5            | 0,11   | 20,68           | 0,15   | 20,4                            | 0,01   |
| <b>Totál</b>                       | 100,24          |        | 99,18           |        | 99,91           |        | 100,47          |        | 100,33          |        | 99,11           |        | 98,33                           |        |
| <b>Kationszámok 4 oxigénre</b>     |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                 |        |                                 |        |
| <b>Ti</b>                          | 0,002           |        | 0,002           |        | 0,010           |        | 0,003           |        | 0,004           |        | 0,002           |        | 0,002                           |        |
| <b>Al</b>                          | 1,607           |        | 1,508           |        | 0,851           |        | 1,400           |        | 1,566           |        | 1,658           |        | 1,748                           |        |
| <b>Cr</b>                          | 0,340           |        | 0,434           |        | 0,993           |        | 0,528           |        | 0,371           |        | 0,307           |        | 0,225                           |        |
| <b>Fe<sup>3+</sup></b>             | 0,067           |        | 0,071           |        | 0,181           |        | 0,087           |        | 0,073           |        | 0,041           |        | 0,031                           |        |
| <b>Fe<sup>2+</sup></b>             | 0,185           |        | 0,299           |        | 0,451           |        | 0,210           |        | 0,187           |        | 0,181           |        | 0,195                           |        |
| <b>Mn</b>                          | 0,002           |        | 0,000           |        | 0,008           |        | 0,003           |        | 0,003           |        | 0,003           |        | 0,002                           |        |
| <b>Ni</b>                          | 0,008           |        | 0,006           |        | 0,003           |        | 0,007           |        | 0,007           |        | 0,007           |        | 0,007                           |        |
| <b>Mg</b>                          | 0,815           |        | 0,706           |        | 0,570           |        | 0,794           |        | 0,816           |        | 0,816           |        | 0,801                           |        |
| <b>Totál</b>                       | 3,025           |        | 3,027           |        | 3,068           |        | 3,032           |        | 3,027           |        | 3,015           |        | 3,012                           |        |
| <b>Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)</b>     | 0,82            |        | 0,70            |        | 0,56            |        | 0,79            |        | 0,81            |        | 0,82            |        | 0,80                            |        |
| <b>Cr/(Cr+Al)</b>                  | 0,17            |        | 0,22            |        | 0,54            |        | 0,27            |        | 0,19            |        | 0,16            |        | 0,11                            |        |

a teljes vas FeO-ban van megadva

\* az adatok Szabó és Taylor (1994) publikációjából származnak

Fe<sup>2+</sup> és Fe<sup>3+</sup> számítása sztöchiometria alapján történt

nd – nem detektált elem

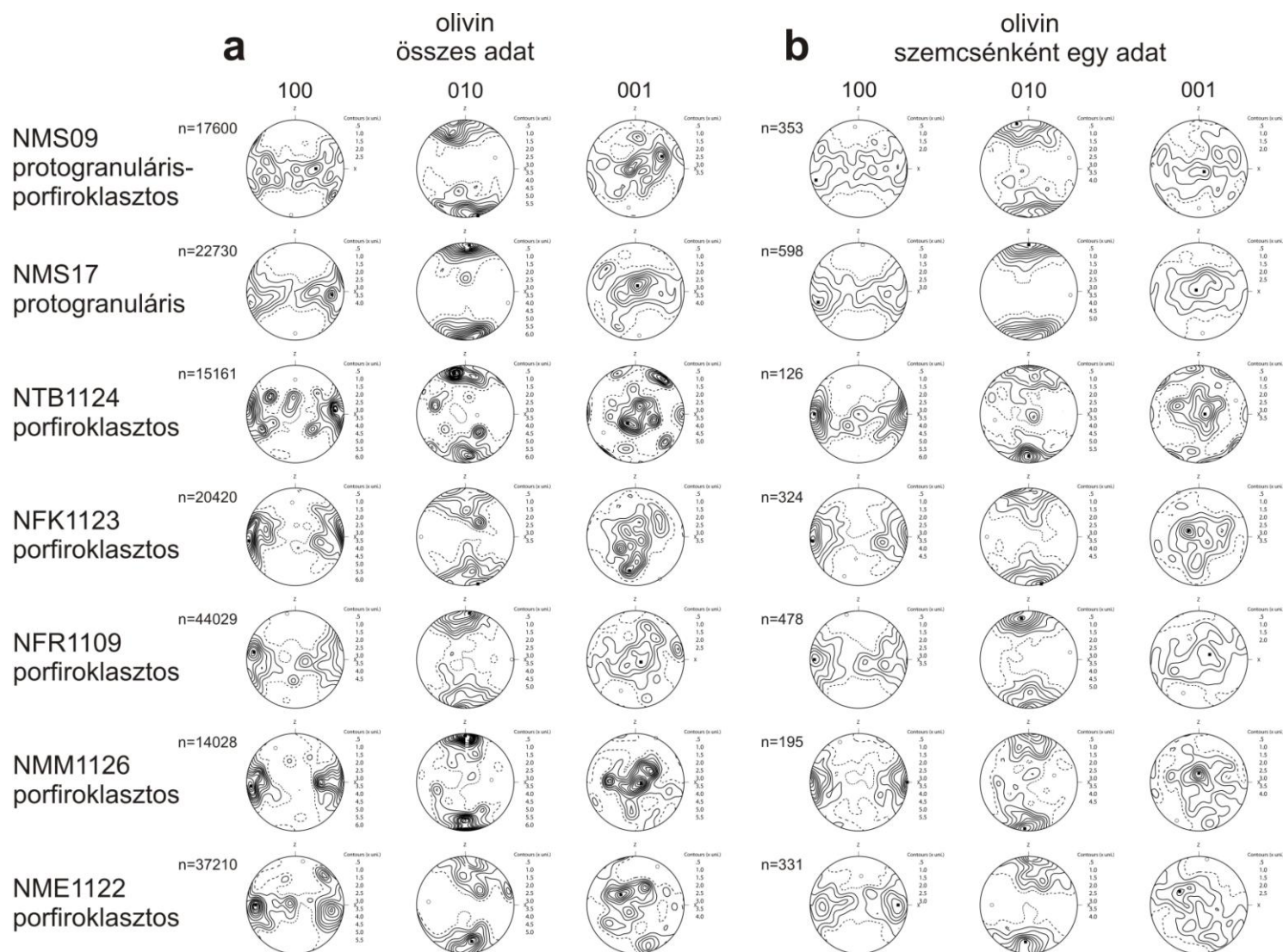
5. táblázat (folyt.). A spinell átlagos főelem összetétele

## 6. EBSD-elemzések eredményei

A pólusábrák voltaképpen az  $xz$ -sík sztereografikus projekcióinak tekinthetők. A rajtuk látható „izovonalak” az egyes ásványok adott tengelyeinek sűrűségét mutatják, azaz hogy hol milyen gyakorisággal jelennek meg az összes mért pontban kapott tengelyek. A maximális adatsűrűség (denzitás) azt jelzi, hogy hol található és mekkora a legnagyobb tengelysűrűség az ábrán; minél nagyobb ez az érték, annál inkább egy meghatározott irányba esnek a tengelyek.

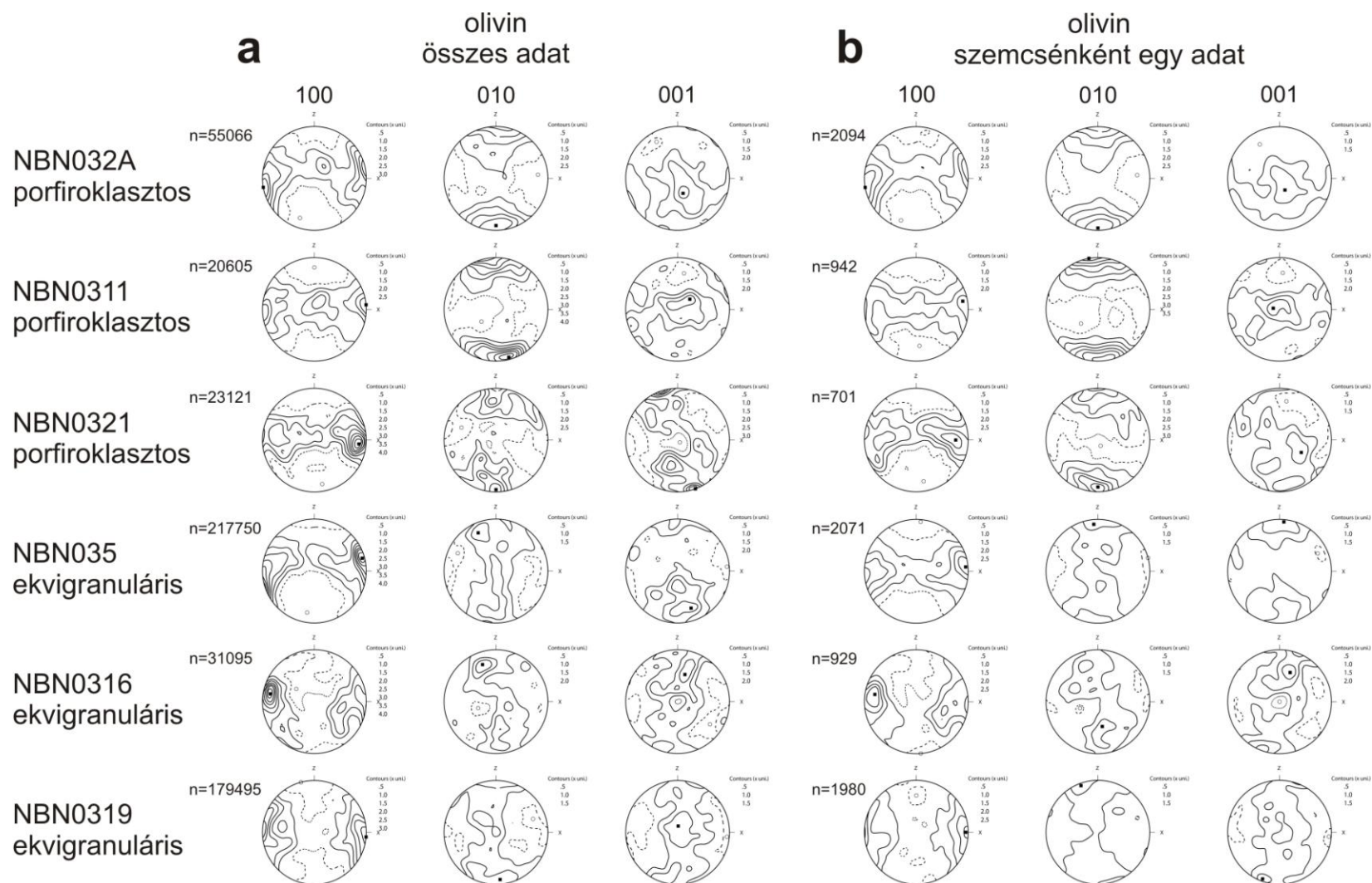
Az olivin pólusábráin a leginkább szembetűnő jelenség az  $a$  és  $b$  tengelyek határozott irányokba állása, amelyeket elsősorban a foliáció síkja határoz meg. Az  $a$  tengelyek a foliáció síkjába esnek és a lineációval párhuzamosak, a  $b$  tengelyek a foliációra merőlegesek, míg a  $c$  tengelyek általában a foliáció síkjába esnek és a lineációra merőlegesek (9. és 10. ábra). Az  $a$  és  $c$  tengelyek esetenként nem különülnek el élesen ezekbe az irányokba, hanem a foliáció síkjában elfordulva szinte folyamatos átmenetet mutatnak. Az olivinek szemcsénként egy adatot bemutató pólusábrái (9b., 10b. ábra) kissé különböznek az összes adatot bemutató pólusábráktól (9a., 10a. ábra), amely elsősorban a denzitás értékekben nyilvánul meg, de a fent említett jellegzetes tengelyirány eloszlások mindkét ábracsoporton kivehetők.

Az olivin pólusfigurák fontos tulajdonsága az  $a$  és  $b$  tengelyek denzitás értékeinek változása. Megfigyelhető, hogy a vizsgált terület legészakabbi lelőhelyének - Maskófalva (2. ábra)- olivin pólusábráin (9b. ábra) egyértelműen a  $b$  tengelyek mutatnak nagyobb tengelysűrűséget és határozottan a pólusok (É-i és D-i) köré csoportosulnak, míg az  $a$  tengelyek, bár a foliáció síkjában maradnak, nagyobb szórást mutatnak, "elforognak". A  $c$  tengelyek az  $a$ -hoz hasonlóan ingadoznak, de határozottan kirajzolnak egy csomópontot a pólusábra közepén. A maskófalvi xenolitokhoz képest a kutatott terület legdélebbi lelőhelyéről - Bárna-Nagykőről (2. ábra) - származó kőzetzárványok olivin pólusábráin (10b. ábra) valamivel kisebb maximális denzitás értékekkel találkozunk, a tengelyirányok szórása pedig nagyobb, nem jellemző az a határozott elkülönülés a pólusokon, mint a maskófalvi olivinek  $b$  tengelyei esetében. A 6 xenolit közül 3 lherzolitban (NBN035, NBN0316, NBN0319) már az  $a$  tengelyek rendelkeznek nagyobb denzitás értékekkel, míg az NBN032A xenolit esetében a két tengely maximális denzitása megegyezik. A többi két xenolit - NBN0311 és NBN0321 - olivinjeiben a  $b$  tengelyek rendelkeznek nagyobb tengelysűrűségekkkel, azonban az előbbi esetében a különbség igen csekély. Megállapítható tehát, hogy a bárna-nagyközi xenolitokban az  $a$  tengelyek denzitása eléri, sőt meg is haladja a  $b$  tengelyekét. A  $c$  tengelyek kifejezetten nagy szórással rendelkeznek, a közepén megjelenő csomópont jóval bizonytalanabb, sőt van, ahol egyáltalán nem jelenik meg.

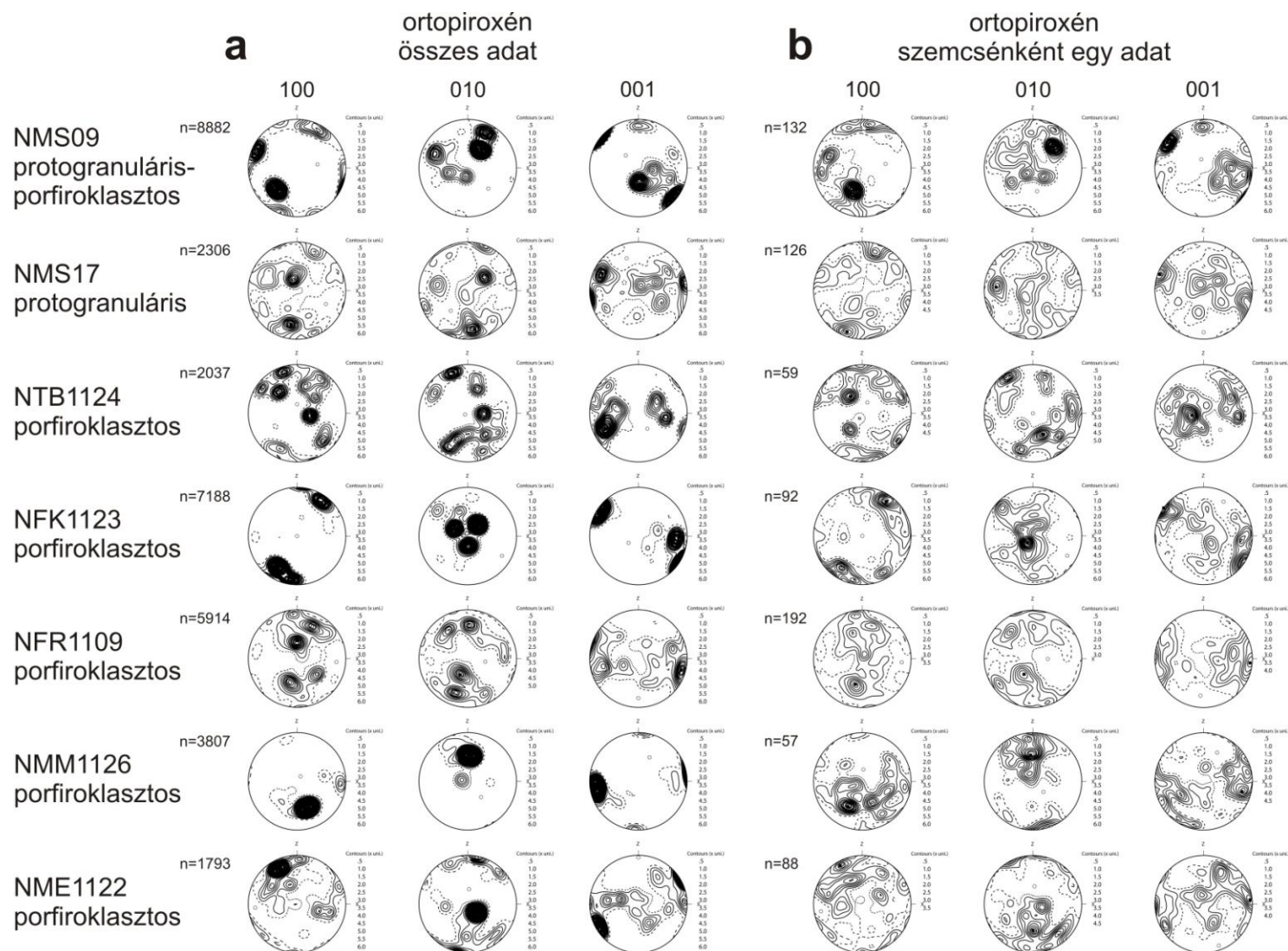


9. ábra. A nógrád-gömöri vulkáni terület északi (maskófalvi) és központi részéről származó xenolitok olivinjeinek összes mért adatot ábrázoló (a) és szemcsénként egy pont adatot

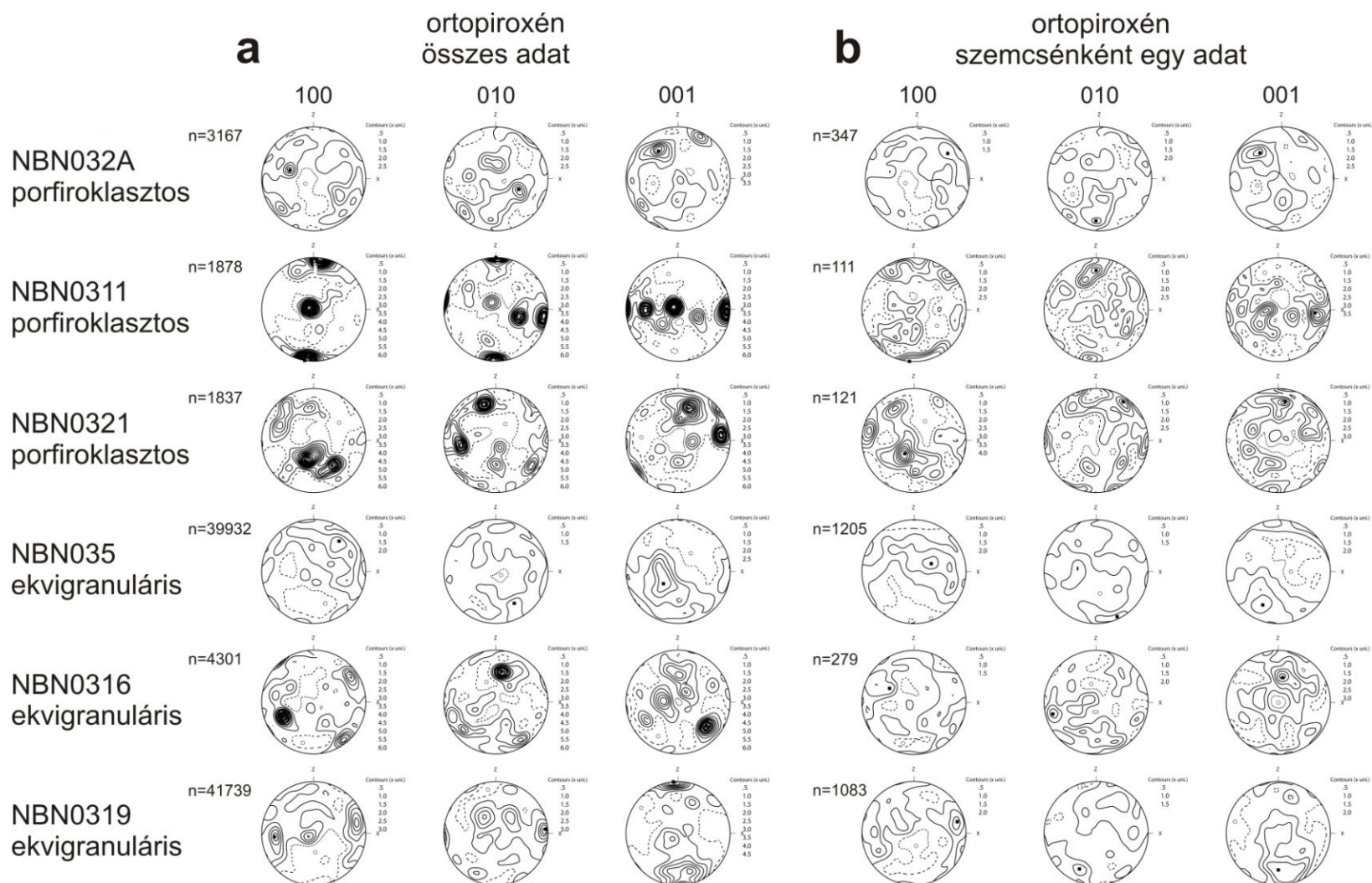
(b) ábrázoló pólusfigurái



10. ábra. A nógrád-gömöri vulkáni terület déli (bárna-nagyközi) részéről származó xenolitok olivinjeinek összes mért adatot bemutató (a) és szemcsénként egy pont adatot bemutató (b) pólusfigurái



11. ábra. A nógrád-gömöri vulkáni terület északi (maskófalvi) és a központi részéről származó xenolitok ortopiroxénjeinek összes mért adatot ábrázoló (a) és szemcsénként egy pont adatot (b) ábrázoló pólusfigurái



12. ábra. A nógrád-gömöri vulkáni terület déli (bárna-nagyközi) részéről származó xenolitok ortopiroxénjeinek összes mért adatot bemutató (a) és szemcsénként egy pont adatot bemutató (b) pólusfigurái

A központi területről - Bábi-hegy (NTB1124, NFK1123, NFR1109) és Medves-fennsík (NMM1126, NME1122) - származó 5 xenolit változatos eredményeket mutat. Határozottan erősebb irányítottságúak a tőlük délre található Bárna-Nagykő xenolitjaitól, amelyet nagyobb maximális denzitásaik is jeleznek (6. táblázat), de lelőhelyenként eltérő, hogy az *a* vagy *b* tengelyek mutatnak nagyobb sűrűséget. Az is megfigyelhető, hogy a két tengely közötti denzitás értékek különbsége viszonylag kicsi. A központi rész legészakabbi pontja, Terbeléd (2. ábra) az 5 xenolit közül a legnagyobb tengelysűrűségeket mutatja, míg a legdélebben fekvő Eresztvény a legkisebbeket, közelítve a bárna-nagykői pólusábrák értékeit. A *c* tengelyek esetében, a maskófalvai xenolitokhoz hasonlóan látszik a középén megjelenő csoportosulás. Az *a* és *c* tengelyeken helyenként észrevehető a csomópontoktól való kisebb-nagyobb eltérés, tehát ezek a tengelyek kisebb-nagyobb szögekkel eltérnek a lineációval párhuzamos illetve arra merőleges irányoktól.

Az ortopiroxének pólusára csoportjain szembeszökőbb különbségek tapasztalhatók. A minden mért adatot bemutató ábracsoporton (11a. ábra) a legtöbb xenolitban nagy tengelysűrűséget jelző csoportok mutatkoznak, amelyek véletlenszerű irányokat mutatnak. Ez alól csak két bárna-nagykői lherzolit - az NBN035 és az NBN0319 - jelent kivételt, ahol a nagy tengelysűrűségű csomók hiányoznak, de a tengelyeloszlások így sem rajzolnak ki olyan jellegzetes irányokat, mint az olivinek esetében. A szemcsénként egy adatot bemutató pólusábrákon (11b. ábra), bár jóval kevésbé markánsan, de szintén kivehetők a nagyobb tengelysűrűségeket jelző csomók.

## **7. Diskusszió**

### *7.1. Geokémiai jellemvonások*

Az általunk bemutatott tizennégy nógrád-gömöri lherzolit főelemtartalma két xenolit (NFR1109, NFR7) kivételével meglehetősen homogénnek mondható. Erre bizonyíték a három bemutatott diagramon (6., 7., 8. ábrák) ábrázolt elemek illetve paraméterek szűk tartományokban történő változása. Az olivin, ortopiroxén és klinopiroxén mg-száma rendre 0,90-0,91, 0,90-0,92 illetve 0,87-0,92 közé esik, ami megfelel az átlagos köpenyértéknek (Arai, 1987, Downes, 2001), mint ahogyan a spinell cr-száma (0,1-0,3), ezért ez a tizenkét xenolit az olivin forszterit tartalom - spinell cr# diagram (6. ábra) köpenyösszetétel határvonalai közé esik. Ezen a diagramon az egyes szövettípusok nem különülnek el, sőt, a lelőhelyek szempontjából nézve is csak az

állapítható meg, hogy a maskófalvi xenolitok (NMS09, NMS17) spinelljei rendelkeznek a legkisebb cr-számokkal.

Az ortopiroxének  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -tartalma, bár kis mértékben, a mg-szám növekedésével egyenesen arányosan csökken (7. ábra). Mivel a nagyobb mg-szám kimerültebb köpenyanyagot jelent, az inkompatibilis Al csökkenése ezekben a xenolitokban várható. Az egyes szövettípusok között itt sem fedezhető fel szembetűnő elhatárolódás, viszont a lelőhelyek szerint nézve a bárna-nagykői és a központi terület (Bábi-hegy és Medves-fennsík) xenolitjai kissé elkülönülnek egymástól, az előbbiek valamivel kisebb, az utóbbiak nagyobb mg-számmal jellemezhetők. A maskófalvi xenolitok kis száma miatt ilyen elkülönülés nem figyelhető meg, azonban elmondható róluk, hogy geokémiailag a központi terület kimerültebb mintáihoz állnak közel.

A klinopiroxének Na és Al tartalma pozitív lineáris korrelációt mutat (8. ábra), vagyis a kimerültebb köpenyt képviselő xenolitokban mindkét elem mennyisége kisebb, míg a nagyobb Na és Al tartalmú minták inkompatibilis elemekben dúsabbnak tekinthetők. A két fülek-rátkai xenolit itt nem különül el szembeszökően a többi ponttól, egyedül az NFR1109 lherzolit esik kissé távolabb a többi xenolit által kirajzolt trendvonalától. A dolgozatban bemutatott xenolitok klinopiroxén Na-Al tartalmának eloszlása összhangban áll a Szabó et al. (1995a) által bemutatott nógrád-gömöri köpenyzárványok eloszlásával, bár jelen munkában -lényegesen kisebb mintaszámmal - nem különülnek el egyértelműen az egyes szövettípusok. Elmondható azonban, hogy a három ekvigranuláris szövetű xenolit (NBN035, NBN0316, NBN0319) rendelkezik a legkisebb Na- illetve Al-tartalommal, tehát ezek a leginkább kimerült részét képviselik a tanulmányozott felsőköpenyek.

Az egységes lherzolit kémiai összetétel alól a már említett két fülek-rátkai xenolit (NFR1109, NFR7) képez kivételt, amelyek az OSMA - diagramon (6. ábra) is jól elkülönülnek, valamint az ortopiroxén  $\text{mg}\#$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  diagramon látható trendbe sem illeszkednek. Ez a két xenolit a többitől elsősorban kisebb mg-számával különül el (az NFR1109-nek 0,85, az NFR7-nek 0,87 az mg-száma). Az NFR1109 különösen eltérő eredményeket mutat: kiugróan nagy spinell cr-számmal (0,54), illetve kis ortopiroxén  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -tartalommal (1,9 m/m %) és klinopiroxén Al-kationszámmal (0,146). Az NFR7 ezzel szemben nem mutat ennyire kiugró értékeket, és inkább közelebb áll a többi tizenkét xenolit adataihoz, bár nem sorolható közéjük. Az eltérő főelem geokémia arra utal, hogy a Fülek-Rátkáról származó xenolitokat valamilyen utólagos hatás, például Fe-gazdag olvadékkal való kölcsönhatás érthette, amelynek eredményeképp megváltozott az eredeti köpenyre jellemző összetétel (Zajacz és Szabó, 2003; Patkó és Aradi, 2012). Az NFR xenolitokhoz hasonló mg-számmal rendelkeznek a Kovács et al. (2004) vizsgált kumulát

xenolitok, a bemutatott fűlek-rátkai minták szövetük alapján azonban nem állíthatók kapcsolatba ezekkel.

## 7.2. EBSD elemzések értelmezése

A dolgozatban tárgyalt nógrád-gömöri xenolitok olivin és ortopiroxén EBSD-elemzésének jelentőségét alátámasztja, hogy korábban ezzel a módszerrel még nem vizsgáltak xenolitokat erről a területről. Az olivinek összes mért orientáció adatait és a szemcsénként egy orientáció-adatot bemutató pólusábrák között látható tengelyeloszlás-sűrűségbeli különbségek az olivinek szemcseméret eloszlásából következnek. A porfiroklasztos xenolitok (5b. ábra) esetében (NTB1124, NFK1123, NFR1109, NMM1126, NME1122, NBN032A, NBN0311, NBN0321) – amelyek a vizsgált terület központi és déli részén fordulnak elő (2. ábra) – a nagyobb tengely-sűrűségek a nagyobb méretű porfiroklasztok (9. ábra) kiugró értékeit képviselik, ezek azonban nem torzítják el annyira a tengelyeloszlást, hogy ne látszódná az egyértelmű hasonlóság a szemcsénként egy adatot bemutató ábrákkal (10. ábra). Ennek oka az, hogy az olivinek szemcsemérete szűk tartományban mozog (0,1-2,4 mm, de átlagosan 0,5-1,5 mm). A porfiroklasztos szövetű xenolitokban a legnagyobb szemcsék többnyire ortopiroxének, ritkábban klinopiroxének (1. táblázat), mivel az olivin könnyebben reagál a fellépő stresszhatásra, így hamarabb alszemcsésedik és neoblasztokat alakít ki (Christensen, 1984).

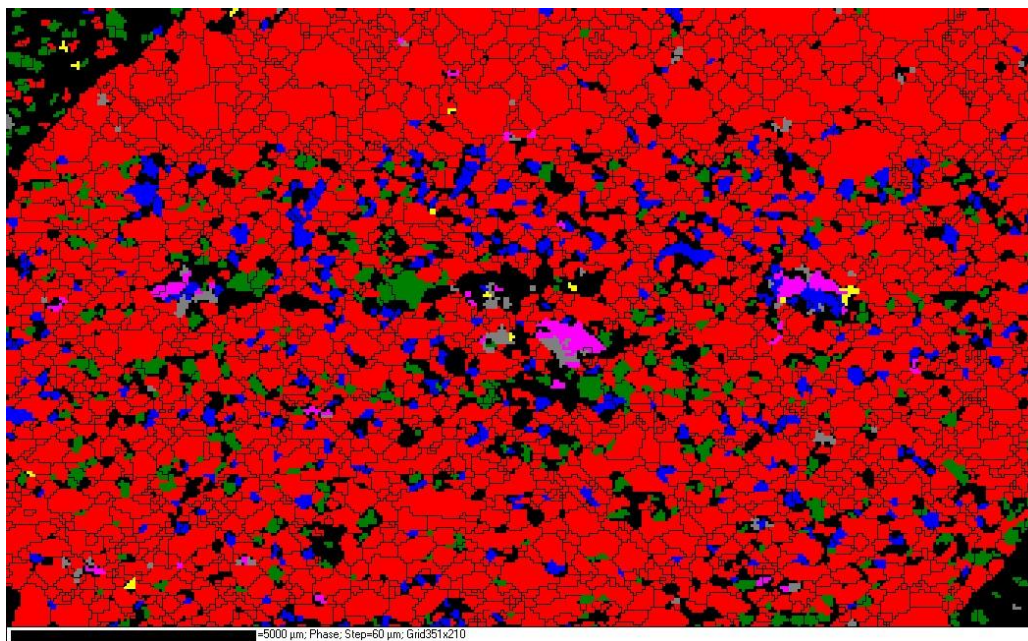
Az olivinek pólusfiguráin megfigyelhető határozott tengelyirányok megfelelnek az úgynevezett axiális [010] (a továbbiakban axiális) típusnak, amelyeket Tommasi et al. (1999) írtak le. Ehhez hasonló tengelyirányokat mutatnak Jung et al. (2006) által A-típusúnak nevezett xenolitok. Azonban az utóbbi szerzők a különböző tengelyeloszlás típusok kialakulását a víztartalommal és a közetfeszültség nagyságával hozzák összefüggésbe. A dolgozatunkban vizsgált minták víztartalom-méréseinek hiányában ennek a felvetésnek a helytállását egyelőre nem tudjuk ellenőrizni (azonban a jövőben tervezzük a vizsgált xenolitok víztartalmának meghatározását FTIR spektrometria segítségével).

Három bárna-nagykői xenolitban (NBN035, NBN0316, NBN0319) – amelyek a tanulmányozott terület déli pereméről származnak (2. ábra) – az axiális- illetve A- típusoktól alapvetően eltérő jellegeket figyelhetünk meg. Ezekben a lherzolitokban az olivin *a* tengelye az, ami határozottan a lineációval párhuzamos irányban áll, és a *b* illetve *c* tengelyek iránya változik, nagyjából egy síkban forogva, mind a lineációra, mind a foliációra merőlegesen. A pólusábrákon (10b. ábra) ez a forgás középen, függőleges sávokként jelenik meg. Ez a

tengelyeloszlás típus nem ismeretlen a szakirodalomban (pl. Ben Ismail és Mainprice, 1998), bár a Pannon-medencében korábban még nem írtak le ilyen orientációval rendelkező xenolitokat. Az NBN xenolitok közül ez a három lherzolitnak ekvigranuláris szövete van (5c. ábra), míg a másik három - amelyek pólusábrái a korábban említett axiális tengelyeloszlásokat mutatják - porfiroklasztos szövetűek (5b. ábra). A központi területről és vizsgált terület északi pereméről - Maskófalváról (2. ábra) - származó xenolitok protogranuláris illetve porfiroklasztos szövetűek, és olivin pólusábrái a bárnai porfiroklasztos közetzárványokéhoz hasonlóak (9b. ábra). Mivel az ekvigranuláris szövet az erősebb deformációs hatás bizonyítéka (Mercier és Nicolas, 1975), feltételezhető, hogy az olivinek tengelyirányait is bizonyos mértékben ez befolyásolja.

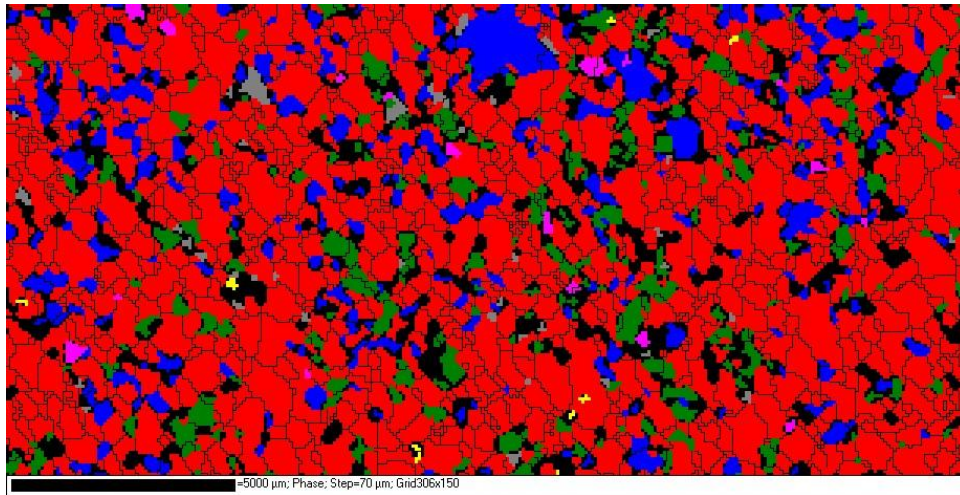
Az ortopiroxének pólusábra-csoportjain jóval nagyobb eltérések tapasztalhatók a tengelyek eloszlásaiban (11., 12. ábra), mint az olivineknél. A központi részről és Maskófalváról származó xenolitok esetében minden, összes mért adatot bemutató pólusábrán nagy tengelysűrűségekre utaló eloszlások látszanak (11a. ábra). Ezek a „csomók” a nagy méretű porfiroklasztos ortopiroxén szemcsék tengelyirányait mutatják, mivel a nagyobb szemcsékből értelemszerűen több adatpont származik és a porfiroklasztos szövetű xenolitok tartalmaznak a környezetüktől elütően nagy ortopiroxéneket. Mivel az ortopiroxének szemcsemérete jóval szélesebb skálán mozog, mint az olivineké (az előbbi porfiroklasztjai 2-5, az utóbbié 1-2 mm-esek) (1. táblázat), ezért az összes mért adatot bemutató pólusábrák (11a. ábra) sokkal inkább eltérnek a szemcsénként egy adatot ábrázolóktól (11b. ábra). A legkisebb ilyen eltérést az maskófalvi NMS09 xenolit ábráin látjuk, amelynek oka, hogy ez az egyetlen protogranuláris szövetű lherzolit (5a. ábra), így a szemcsék méreteloszlásában nem mutatkozik olyan mértékű különbség, mint a porfiroklasztos szövetű xenolitok esetében (1. táblázat).

A bárna-nagykői xenolitok esetében szintén láthatók a porfiroklasztos szövetű xenolitok (NBN032A, NBN0311, NBN0321) minden mért adatot bemutató pólusábráin jelentkező csomók, míg az ekvigranuláris szövetű xenolitokban (NBN035, NBN0316, NBN0319) jóval nagyobb a tengelyek szórása (12a. ábra). Azonban két xenolitban eltérés figyelhető meg ettől a párhuzamtól, amely szintén a szemcseméret eloszlásával magyarázható. Az NBN032 porfiroklasztos xenolit "csomói" kevésbé határozottak, mert az ortopiroxének nem kiugró méretűek (13. ábra, 1. táblázat), valamint az NBN0316 xenolit, amely, bár ekvigranuláris, tartalmaz egyetlen nagyobb méretű ortopiroxén szemcsét (14. ábra).



**13. ábra. Porfiroklasztos szövettű (NBN032A) xenolit EBSD-vel készült fázistérképe (piros - olivin, kék - ortopiroxén, zöld - klinopiroxén, szürke – spinell, fekete - nem indexelt)**

Ehhez képest az ortopiroxének szemcsésként egy adatot bemutató pólusábráin (12b. ábra) sok esetben szintén megjelennek ezek a jellegzetes tengelycsoportosulások azokon a helyeken, ahol a porfiroklasztok csomói láthatók az összes adatot ábrázoló pólusfigurákon (12a ábra). Ez arra utal, hogy több, kisebb szemcse - neoblaszt - is ugyanazokat a tengelyirányokat mutatja, mint a porfiroklasztok. Mivel ezek a csomók a pólusábrákon véletlenszerűen helyezkednek el, tehát a vizsgált xenolitok ortopiroxénjeiben nem fedezhető fel olyan egyértelmű, több mintában egyaránt megjelenő irányítottság, mint az olivinekben, feltételezhető, hogy a kis szemcsék tengelyirányainak egybeesése a porfiroklasztokkal hozható összefüggésbe. A porfiroklasztos szövet kialakulása során a nagy szemcsék stressz hatására történő „feldarabolódásával” jönnek létre a neoblasztok (Mercier és Nicolas, 1975), ezért nem meglepő, hogy az újonnan kialakult kis szemcsék megőrzik a porfiroklasztok tengelyirányait, amíg valamilyen egyéb deformációs hatásra változni nem kényszerülnek. A szemcsésként egy adatot bemutató pólusábrákon megjelenő csomókat tehát feltehetően a porfiroklasztok közvetlen környezetében található, azok feldarabolódásából – alszemcsesedéséből - (Carter és Ave Allemand, 1970; Árgyelán, 1987) - létrejött neoblasztok tengelyirányai adják.



**14. ábra. Ekvigranuláris szövetű (NBN0316) xenolit EBSD-vel készült fázistérképe (piros - olivin, kék - ortopiroxén, zöld - klinopiroxén, szürke – spinell, fekete - nem indexelt)**

EBSD-vel kivitelezett kristályorientáció vizsgálatok a Pannon-medence több más lelőhelyéről származó felsőköpeny xenoliton is történtek (Hidas et al., 2006; Falus et al., 2008; Kovacs et al., 2012). A Kisalföld és a Bakony–Balaton-felvidék xenolitjai két elkülönülő tengelyeloszlás típusra oszthatók (Kovács et al., 2012). A szerzők szerint az axiális típus finomszemcsés porfiroklasztos vagy ekvigranuláris szövetű xenolitokra jellemző, és kialakulásához az alpi kollízió és az ebből következő kiszökés (Kázmér és Kovács, 1985) és extenzió által előidézett északnyugat-délkelet irányú feszültségtér (Bada és Horváth, 2001) képezi a deformációs hatótényezőt. Hidas et al. (2006) által a Bakony–Balaton-felvidék felsőköpeny xenolitjain elvégzett EBSD-vizsgálatok szintén axiális típusú olivin tengelyeloszlásokat mutatnak. A másik, ún. A-típus nagyobb mélységből származó, durvaszemcsés porfiroklasztos szövetű xenolitokra jellemző. Itt az olivin tengelyei sokkal határozottabb irányokat mutatnak, mint az axiális típusú xenolitokban: az *a* tengely a lineációval párhuzamos, a *c* tengely pedig arra merőleges irányokat mutat, mindkettő a foliáció síkjában, vagyis nincs nyoma a tengelyek forgásának és a két végállapot közti átmenetnek. Ebben a típusban a deformációs hatótényező a szeizmikus adatokkal is alátámasztott, nyugat-keleti irányú asztenoszféra áramlás lehet (Kovács et al., 2012). Az A-típusnak megfelelő orientációval rendelkező mintákat írt le Falus et al. (2008) a Persány-hegység xenolitjainak EBSD-vizsgálatával.

Megállapítható, hogy a kis mintaszám miatt a nógrád-gömöri xenolitok olivinjeinek tengelyeloszlásainál nem különülnek el egyértelműen ilyen csoportok. Az *a* és *c* tengelyek irányainak ingadozása változó, ezért néhány xenolit esetében erősebb az axiális, másoknál pedig az A-típusú jelleg, amely arra utal, hogy mindkét, feljebb említett deformációs hatótényezőnek –

a kiszökés és extenzió által előidézett feszültségtérnek, illetve az asztenoszféra áramlásnak - szerepe lehetett a kristálytani orientáció kialakításában. Ahhoz, hogy a xenolitok tengelyeloszlásait össze lehessen vetni a lelőhelyekkel, szövettípusokkal, és ásványgeokémiával, szükséges, hogy mégis csoportokat különítsünk el. Ezért a dolgozatban bemutatott mintákat az a és b tengelyek maximális denzitásai alapján (6. táblázat) különítjük el. A-típusba soroljuk azokat, amelyeknél az olivinek a tengelyeinek maximális denzitás értéke 4 felett van, axiális típusba pedig azokat, amelyeknél ez a szám 4 alá esik. Ezen a két csoporton kívül elkülöníthető egy harmadik, amelyet a három ekvigranuláris szövetű bárna-nagykői xenolit alkot, ezek megfelelnek a Tommasi et al. (1999) által meghatározott axiális [100] típusnak, valamint a Jung et al. (2006) által víztartalom alapján elkülönített D-típusú orientációnak, de a tényleges egyezést - víztartalom mérések hiányában - itt sem tudjuk igazolni. A könnyebb átláthatóság érdekében ezt a három bárna-nagykői xenolitot D-típusúnak nevezzük. A D-típusú tengelyeloszlás az A-típusúhoz hasonló deformációs mechanizmus mellett, kisebb hőmérsékleten jön létre, mivel a deformációs folyamat során aktivizálódó siklatási rendszerek más-más fajtája működik eltérő hőmérsékleten (Carter és Avé Lallemant, 1970).

Az ortopiroxének tengelyeinek nagyobb szórására Hidas (2002) szintén bakony-balaton-felvidéki xenolitok vizsgálatával ad magyarázatot, miszerint az ortopiroxén, mivel ridegebb és ellenállóbb az olivinnél, több deformációs szakasz bélyegeit egyaránt magán viseli (Ishii és Sawaguchi, 2001). Így a szemcsék egy részének tengelyirányai egy korábbi deformációs esemény eredménye lehet, míg más részük egy másik, későbbi deformációs hatás nyomait viseli. Mivel azonban a nógrád-gömöri xenolitok szövete nem utal többszörös átkristályosodási eseményre, feltételezhető, hogy itt a porfiroklasztok széteséséből képződő neoblasztok feszültségcsökkentés miatt történő elfordulás következtében jönnek létre az eltérő orientációk (Carter és Avé Lallemant, 1970; Árgyelán 1987), míg egyes "frissen" aprózódott szemcsék még megőrzik a porfiroklasztok tengelyirányait.

### *7.3. A fizikai és kémiai jellemvonások összevetése*

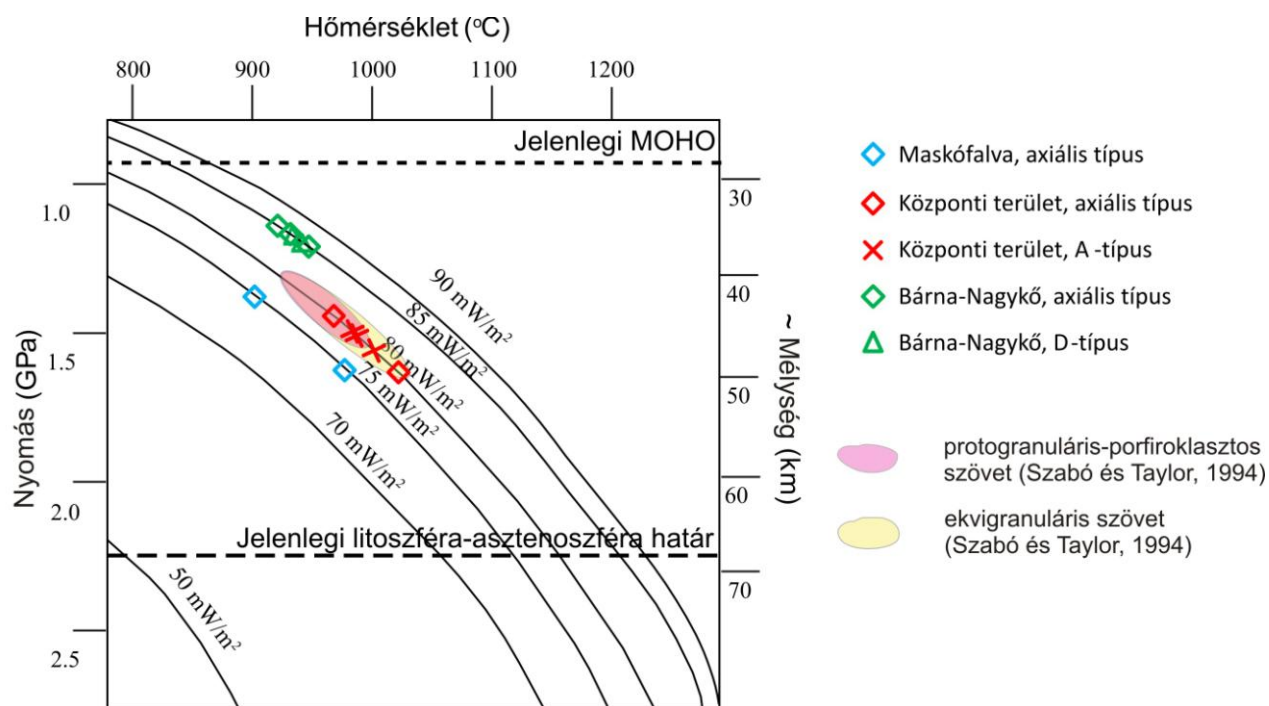
A dolgozatban vizsgált nógrád-gömöri lherzolitok EBSD-mérés eredményeinek bemutatása után felmerül a kérdés, hogy mire következtethetünk a kristályorientációkból, illetve mutatnak-e a tengelyeloszlás típusok összefüggést a lelőhellyel vagy a főelem összetételekkel.

A xenolitok származási mélységének megismerésével közelebb juthatunk annak a kérdésnek a megválaszolásához, hogy milyen deformációs hatótényezők játszottak szerepet a

kristálytengelyek irányítottságának kialakításában. A származási mélység becsléséhez Kovács et al. (2012) megközelítését alkalmaztuk, a Nógrád-Gömör Vulkáni Terület szakirodalmában leggyakrabban használt (pl. Szabó és Taylor, 1994; Konecny et al., 1995, 1999), két piroxén geokémiai adataiból számított egyensúlyi hőmérsékletek (Brey és Köhler, 1990) (2. táblázat) és a Nógrád-Gömör egyes részterületei alatti hőáram (Lenkey et al., 2002) felhasználásával. A nógrád-gömöri vulkáni területen belül (2. ábra), az északi és déli rész között nem elhanyagolható változás tapasztalható mind a litoszféra vastagságban (Horváth, 1993; Tari et al. 1999), mind a hőáramban (Lenkey et al., 2002), szövetben és kémiai jellemvonásban (Szabó és Taylor, 1994). Az eltérés abban mutatkozik meg, hogy a Maskófalva és Bárna között húzható ÉÉNy-DDK irányú szelvény mentén a litoszféra vastagság DK-i irányban csökken (kb. 75 km-ről 65 km-re), míg ezzel párhuzamosan a hőáram növekszik (kb. 75 mW/m<sup>2</sup>-ről 80-85 mW/m<sup>2</sup>-re). Az abszolút értékek a relatív különbségeknél nagyobb hibát hordoznak magukban, azonban ez nem változtat a terület északi és déli része között fennálló különbségeken. Ezért indokolt a legészakabbi lelőhelyen, Maskófalván kisebb, míg a legdélebben elhelyezkedő Bárna-Nagykő esetében nagyobb hőáram értékkel számolni. A kapott becsült mélységeket a 15. ábra mutatja. Míg a két maskófalvi xenolit viszonylag eltérő mélységből származtatható, addig a Bárna-Nagykőről, valamint a központi területről származó xenolitok határozottan két csoportra különülnek: az előbbieket kisebb egyensúlyi hőmérséklettel és kisebb származási mélységgel, az utóbbiak pedig nagyobb egyensúlyi hőmérséklettel és mélységgel jellemezhetők (6. táblázat, 15. ábra).

A lelőhelyekkel összhangban különül el egymástól az A- és a D- tengelyeloszlás-típus. Az A-típusú xenolitok a Bakony-Balaton-felvidékhez hasonlóan viszonylag nagyobb mélységből származnak, a D-típusúak pedig sekélyebb régióból. Az axiális típus képviselői szélesebb mélység tartományokból kerülnek ki.

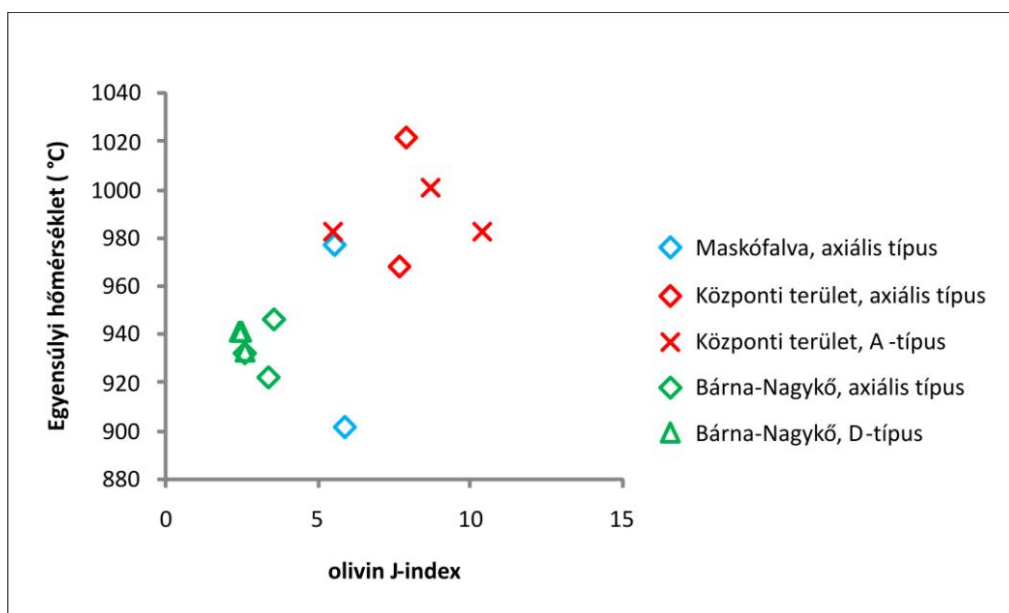
Azt, hogy a deformációs hatásra kialakult irányítottság mértéke mennyire felel meg a mélységnek és ezáltal az egyensúlyi hőmérsékletnek, a J-index – egyensúlyi hőmérséklet diagramon lehet megfigyelni (15. ábra). A J-index a kőzet irányítottságának mértékét fejezi ki (értéke teljesen irányítatlan szövet esetén 1, homogén kristály, azaz tökéletes irányítottság esetén végtelen) (Hidas et al., 2006). Az olivinek J-indexe a köpeny peridotitokban 2-25-ig terjed (Ben Ismail és Mainprice, 1998).



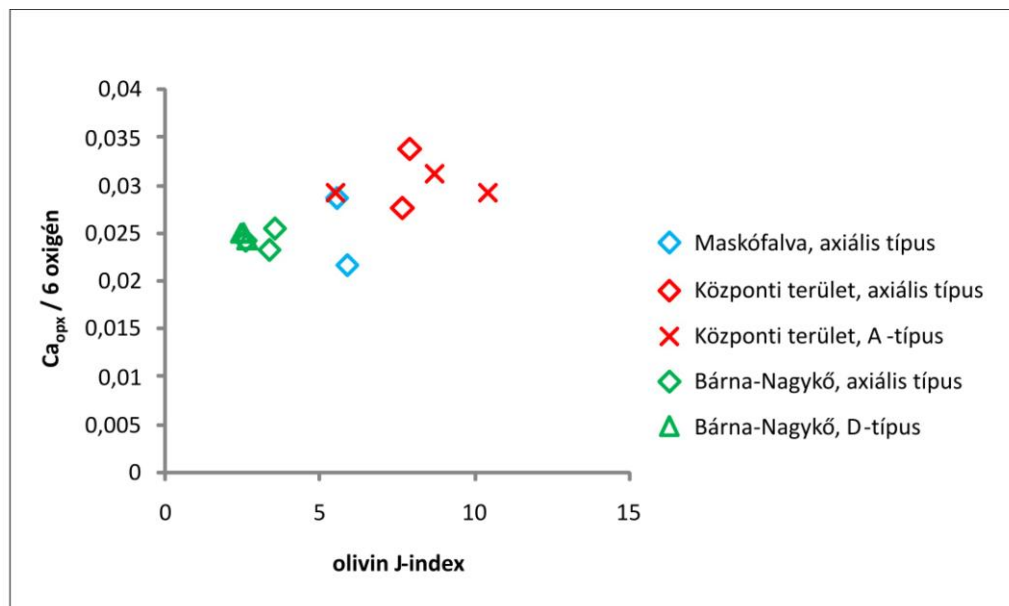
**15. ábra.** A nógrád-gömöri felsőköpeny xenolitok származási mélységének becslése egyensúlyi hőmérséklet alapján (MOHO és litoszféra-asztenoszféra határ mélysége: Tari et al., 1999, Horváth, 1993; hőáram adatok: Lenkey et al., 2002)

A dolgozatban vizsgált xenolitok olivin J-indexeit a számolt egyensúlyi hőmérséklettel és az ortopiroxének Ca-tartalmával hasonlítottuk össze (6. táblázat, 16., 17. ábra). A két diagramon hasonló eloszlásban jelennek meg az egyes minták pontjai, amely nem véletlen, hiszen Brey és Köhler (1990) egy másik geotermometriai módszere éppen az ortopiroxén Ca-tartalmán alapul. A legnyilvánvalóbb elkülönülés itt is a lelőhelyek szerint van: a legerősebb J-indexekkel a központi terület xenolitjai rendelkeznek, amelyek egyúttal a legnagyobb egyensúlyi hőmérséklettel és ortopiroxén Ca-tartalommal is jellemezhetők. Hozzájuk képest a bárna-nagykői xenolitok kisebb értékek felé tolódnak, míg a maskófalvi lherzolitok nagyjából a kettő között helyezkednek el. A tengelyeloszlás típusok megint csak a lelőhelyek szerint különülnek el, kivéve az axiális típust, amely széles tartományban mozog (16. ábra). Meg kell azonban jegyezni, hogy amennyiben az olivin és az ortopiroxén nem együtt deformálódott, a piroxének összetételéből számított egyensúlyi hőmérséklet, bár a xenolit utolsó egyensúlyi hőmérsékletét minden bizonnyal pontosan rögzíti, nem feltétlenül hozható kapcsolatba az olivin esetében megfigyelt deformációs jellegre jellemző hőmérséklettel. Az együtt deformálódás jele az olivin *a*- és az ortopiroxén *c*-tengelyének egyazon irányba állása (Tommasi, szóbeli közlés, 2012). A dolgozatban vizsgált xenolitoknak csak egy része mutatja ezt az együttállást (NMS09, NMS17,

NFK1123, NFR1109, NME1122, NMM1126, NBN0311 xenolitok), így csak ezen közetzárványok esetében feltételezhető az olivin és az ortopiroxén egyidejű deformációja.



16. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok olivin J-indexeinek eloszlása az egyensúlyi hőmérséklet (Brey és Köhler, 1990, két piroxén-módszer) függvényében



17. ábra. A nógrád-gömöri xenolitok olivin J-indexeinek eloszlása az ortopiroxén Ca-tartalmának függvényében

A fentiek alapján megállapítható, hogy a xenolitok a Nógrád-Gömör Vulkáni Terület északi, központi illetve déli területéről egymástól igen eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek. Az A-

típusú olivin kristálytani tengelyeloszlás megjelenése, az erősebb J-indexek és a nagyobb származási mélység arra utal, hogy a központi területekről származó xenolitok erősebb deformációs hatást szenvedtek el, mint a déli, Bárna-Nagykő lelőhelyről származók. Ennek hatására mutatnak részben különböző orientáció típusokat. Bár a bárna-nagykői xenolitok egy része ekvigranuláris szövettel jellemezhető, amelyet a szakirodalom az erősebb deformációs hatás jelének tekint (pl. Mercier és Nicolas, 1975), pusztán a szöveti jellegből nem lehet következtetni a deformációs események idejére illetve számára. Valószínű, hogy ezek a xenolitok több deformációs fázison is átmentek, amelynek eredménye az ekvigranuláris szövet. Ezek a deformációs epizódok, azonban - feltételezhetően - eltérő feszültségirányokkal voltak jellemezhetők, így a megfelelő J-értékek is kisebbek.

Megfigyelhető, hogy az erősebb deformációs hatás nagyobb Ca-tartalmú ortopiroxénnal jár együtt, míg a kevésbé deformált, kisebb mélységből származó bárna-nagykői xenolitok ortopiroxénjeiben a Ca-tartalom is kisebb (17. ábra). A maskófalvi közetzárványok látszólag e két csoport közé esnek, ám kis mintaszámuk miatt ez a következtetés bizonytalanabb, mint a másik két terület esetében.

| Xenolit | Tengelyeloszlás típus | Max. denzitás (a) | Max. denzitás (b) | J-index | Egyensúlyi hőmérséklet (°C)<br>(Brey és Köhler, 1990, két piroxén-módszer) | Opx Ca-tartalom |
|---------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| NBN032A | ax                    | 3,23              | 3,06              | 2,61    | 932                                                                        | 0,024           |
| NBN035  | D                     | 3,06              | 1,8               | 2,64    | 933                                                                        | 0,024           |
| NBN0311 | ax                    | 2,45              | 3,77              | 3,39    | 922                                                                        | 0,023           |
| NBN0316 | D                     | 3,2               | 1,92              | 2,44    | 941                                                                        | 0,025           |
| NBN0319 | D                     | 2,77              | 1,92              | 2,52    | 941                                                                        | 0,025           |
| NBN0321 | ax                    | 2,88              | 3,6               | 3,56    | 946                                                                        | 0,026           |
| NFR1109 | ax                    | 3,88              | 5,29              | 7,90    | 1022                                                                       | 0,034           |
| NME1122 | ax                    | 3,74              | 4,73              | 7,68    | 968                                                                        | 0,028           |
| NFK1123 | A                     | 4,83              | 4,82              | 5,49    | 983                                                                        | 0,029           |
| NTB1124 | A                     | 6,54              | 5,99              | 8,69    | 1001                                                                       | 0,031           |
| NMM1126 | A                     | 5,81              | 5,12              | 10,39   | 983                                                                        | 0,029           |
| NMS09   | Ax                    | 2,72              | 4,45              | 5,55    | 977                                                                        | 0,029           |
| NMS17   | Ax                    | 3,25              | 5,48              | 5,89    | 902                                                                        | 0,022           |

6. táblázat. A nógrád-gömöri xenolitok olivinjeinek tengelyeloszlás típusai, maximális denzitásai, J-indexei, egyensúlyi hőmérsékletei és ortopiroxén Ca-tartalma

## 8. Összefoglalás

Diákköri dolgozatunkban 14 Nógrád-Gömörből származó lherzolit petrográfiai, főelem geokémiai és EBSD vizsgálatát végeztük el. A xenolitok mindhárom részterületet - az északi, (Maskófalva) a központi (Bábi-hegy és Medves-fennsík), valamint a déli (Bárna-Nagykő) - megfelelően reprezentálják. A modális összetétel alapján minden xenolit lherzolit, szövet szerint pedig három csoportra (protogranuláris, porfiroklasztos, ekvigranuláris +1 átmeneti) különülnek el. A geokémiai elemzések eredményei szerint a xenolitok - a két fülek-rátkai lherzolit kivételével - egy viszonylag szűk összetételbeli tartományban mozgó főelem összetétellel rendelkeznek, amelyek képviselik a parciális olvadást és metasomatózist szenvedett, eredeti köpeny összetételt. A két NFR xenolit kisebb mg-száma ezzel szemben feltehetően egy Fe-gazdag olvadékkal történt kölcsönhatás erős geokémiai nyomaira utal.

Az EBSD-elemzések az olivinek esetében határozott tengelyirányokat mutattak ki, amelyeket a tengelysűrűség értékek alapján csoportosítani lehet. A legszembevetőbb, hogy az ekvigranuláris szövetű xenolitok határozottan más orientáció eloszlásokat mutatnak, mint a protogranuláris és porfiroklasztos szövetűek. A számolt egyensúlyi hőmérséklet és mélység alapján a vizsgált xenolitok lelőhely szerint különülnek el a legegységesebben: a központi területről származók nagyobb hőmérséklettel és mélységgel, míg a déli, bárna-nagykői xenolitok némileg kisebb p-T értékkel jellemezhetők. Hasonló korreláció mutatkozik az olivin J-indexek ortopiroxének Ca-tartalmával való összevetése során. Az északi területről - Maskófalváról - származó xenolitok a J-indexek alapján a központi és bárnai területek lherzolitjai közé esnek.

Megállapítható, hogy a Nógrád-Gömör Vulkáni Terület xenolitjainak becsült származási mélysége és orientációja elsősorban az adott lelőhely elhelyezkedéstől függ, amelyet a területen belül változatos köpenylitoszféra tulajdonságok befolyásolnak, valamint ezzel áll kapcsolatban az egyes deformációs hatótényezők szerepének mértéke is. A kristálytani irányítottság kapcsolata a geokémiával - bár látható közöttük összefüggés - további vizsgálatokat - elsősorban a víztartalom meghatározására irányuló FTIR-méréseket - igényel.

## *Köszönetnyilvánítás*

Köszönetünket szeretnénk kifejezni mindenkinek, aki segítségével hozzájárult diákköri munkánk elkészüléséhez, elsősorban témavezetőinknek, Szabó Csabának és Kovács Istvánnak a ránk szánt időért és útmutatásért. Köszönettel tartozunk továbbá Falus Györgynek konzulensi, Hidas Károlynak pedig bírálói tanácsaiért, Andrea Tommasinak és Fabrice Barou-nak a montpellier-i EBSD-mérésekben és azok értékelésében nyújtott segítségéért, valamint Pintér Zsanettnek a pólusábrák elkészítésében és J-indexek számításában való kitartó közreműködéséért. A mikroszondás mérések végrehajtásában nyújtott segítségét köszönjük Anna Fiorellinek, Raul Carampinnak, Orlando Vasellinek, és Bernardo Cesarenek. Köszönettel tartozunk rajtuk kívül Völgyesi Péternek és Aradi Lászlónak a táblázatok összeállításában nyújtott segítségért, valamint az LRG minden tagjának, akik a kellemes légkör megteremtésével hozzájárultak munkánk sikeréhez.

## **9. Irodalomjegyzék**

**Arai, S., 1987.** An estimation of the least depleted spinel peridotite on the basis of olivine-spinel mantle array. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte* 1987, 347-354.

**Árgyelán, G. 1987.** A nógrád-gömöri bazaltok bázisos és ultrabázisos zárványainak közettani-geokémiai vizsgálata. ELTE, Közettani és Geokémiai Tanszék, Szakdolgozat, p. 160 (kézirat).

**Bada, G., Horváth, F., 2001.** On the structure and tectonic evolution of the Pannonian basin and surrounding orogens. *Acta Geologica Hungarica*, 44, 301–327.

**Bali, E., Szabó, Cs., Vaselli, O., Török, K., 2002.** Significance of silicate melt pockets in upper mantle xenoliths from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field, Western Hungary. *Lithos*, 61, 79–102.

**Bali, E., Zajacz, Z., Kovács, I., Szabó, Cs., Halter, W., Vaselli, O., Török, K., Bodnar, R.J., 2008a.** A quartz-bearing orthopyroxene-rich websterite xenolith from the Pannonian Basin, Western Hungary: evidence for release of quartz-saturated melts from a subducted slab. *Journal of Petrology*, 49, 421–439.

**Ben Ismail, W. és Mainprice, D., 1998.** An olivine fabric database: an overview of upper mantle fabrics and seismic anisotropy. *Tectonophysics* 296, 145–157.

**Berkési, M.; Guzmics, T., Szabó, Cs., Dubessy, J., Bodnar, R.J., Hidas, K., Ratter, K., 2012.** The role of CO<sub>2</sub>-rich fluids in trace element transport and metasomatism in the

lithospheric mantle beneath the Central Pannonian Basin, Hungary, based on fluid inclusions in mantle xenoliths. *Earth and Planetary Science Letters*, 331–332, 15, 8-20.

**Brey, G. P. és Köhler, T.P., 1990.** Geothermobarometry in four phase lherzolites II. New thermobarometers and practical assessment of existing thermobarometers. *Journal of Petrology* 31, 1353-1378.

**Carter, N. L. és Avé Lallemant, H. G., 1970.** High temperature flow of dunite and peridotite. *Bull. Geol. Soc. America*, 81, 2181-2202.

**Chen, C. Y., Frey, F. A., Song, Y., 1989.** Evolution of the upper mantle beneath southeast Australia: geochemical evidence from peridotite xenoliths in Mount Leura basanite. *Earth and Planetary Science Letters*, 93, 195-209.

**Christensen, N. I., 1984.** The magnitude, symmetry and origin of upper mantle anisotropy based on fabric analyses of ultramafic tectonites. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 76, 89-111.

**Csontos, L., 1995.** Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review. *Acta Vulcanologica*, 7, 1-13.

**Csontos, L., Nagymarosy, A., Horváth, F., Kovác, M., 1992.** Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area - a model. *Tectonophysics*, 208, 221–241.

**Dobosi, G., Jenner, G., Embey-Isztin, A., Downes, H., 2010.** Cryptic metasomatism in clino- and orthopyroxene in the upper mantle beneath the Pannonian region. In: Coltorti M (szerk.) *Petrological Evolution of the European Lithospheric Mantle: From Archaean to Present Day*. Geological Society, London, Special Publication 337.

**Downes, H., Embey-Isztin, A., Thirlwall, M.F., 1992.** Petrology and geochemistry of spinel peridotite xenoliths from the western Pannonian Basin (Hungary) – evidence for an association between enrichment and texture in the upper mantle. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 109, 340–354.

**Downes, H., 1997.** Shallow continental lithospheric mantle heterogeneity - petrological constraints. In: Fuchs, K (ed.) *Upper Mantle Heterogeneities from Active and Passive Seismology*. Dordrecht: Kluwer Academic, p. 295-308.

**Downes, H., 2001.** Formation and modification of the shallow sub-continental lithospheric mantle: evidence from ultramafic xenoliths suites and massifs of western and central Europe. *Journal of Petrology*, 42, 233-250.

**Embey-Isztin, A., 1978.** On the petrology of spinel lherzolite nodules in basaltic rocks from Hungary and Auvergne, France. *Annales. Hist.-Nat. Mus. Natn. Hung.* 70, 27-44.

**Embey-Isztin, A., Dobosi, G., Altherr, R., Meyer, H.P., 2001.** Thermal evolution of the lithosphere beneath the western Pannonian Basin: evidence from deep-seated xenoliths. *Tectonophysics*, 331, 285–306.

**Embey-Isztin, A., Downes, H., James, D.E., Upton, B.G.J., Dobosi, G., Ingram, G.A., Harmon, R.S. és Scharbert, H.G., 1993.** The petrogenesis of Pliocene Alkaline Volcanic Rocks from the Pannonian Basin. Eastern Central Europe. *Journal of Petrology*, 34, 317–343.

**Embey-Isztin, A., Scharbert, H.G., Dietrich, H., Poultidis, H., 1989.** Petrology and geochemistry of peridotite xenoliths in alkali basalts from the Transdanubian Volcanic Region, West Hungary. *Journal of Petrology*, 30, 79–105.

**Falus, Gy., Szabó, Cs., Vaselli, O., 2000.** Mantle upwelling within the Pannonian Basin: evidence from xenolith lithology and mineral chemistry. *Terra Nova*, 12, 295–302.

**Falus, Gy., Szabó, Cs., Kovács, I., Zajacz, Z., Halter, W., 2007.** Symplectite in spinel lherzolite xenoliths from the Little Hungarian Plain, Western Hungary: A key for understanding the complex history of the upper mantle of the Pannonian Basin. *Lithos*, 94, 230–247.

**Falus, Gy., Tommasi, A., Ingrin, J., Szabó, Cs., 2008.** Deformation and seismic anisotropy of the lithospheric mantle in the southeastern Carpathians inferred from the study of mantle xenoliths. *Earth and Planetary Science Letters* 272, 50–64

**Fekete, Sz., 2009.** A Medves-platóról és a Bába-hegyről (Nógrád-Gömör vulkáni terület) származó ultrabázisos köpeny xenolitok petrográfiai vizsgálata. ELTE, Közettani és Geokémiai tanszék, TDK dolgozat (kézirat), p. 48.

**Harangi, Sz., 2001.** Neogene magmatism in the Alpine-Pannonian Transition Zone a model for melt generation in a complex geodynamic setting. *Acta Vulcanol.*, 13, 15–39.

**Harangi, Sz., Lenkey, L., 2007.** Genesis of the Neogene to Quaternary volcanism in the Carpathian-Pannonian Region: role of subduction, extension and mantle plume. In: L. Beccaluva, G. Bianchini, M. Wilson (eds): *Cenozoic volcanism in the Mediterranean area*. Geological Society of America Special Paper, 418, 67–92.

**Hidas, K., Falus, Gy., Szabó, Cs., Szabó, P.J., Kovács, I., Földes, T., 2006.** Geodynamic implications of flattened tabular equigranular textured peridotites from the Bakony-Balaton Highland Volcanic Field (Western Hungary). *Journal of Geodynamics*, 43, 484–503.

**Hidas, K., 2002.** A Pannon-medence többfázisú extenziójának nyomai a felsőköpenyben. ELTE, Közettani és Geokémiai Tanszék, TDK dolgozat (kézirat), p. 42.

**Horváth, F., 1993.** Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. *Tectonophysics*, 226, 333–357

**Huismans, R.S., Podladchikov, Y.Y., Cloetingh, S., 2001.** Dynamic modeling of the transition from passive to active rifting, application to the Pannonian basin. *Tectonics*, 20, 1021-1039.

**Jugovics, L., 1971.** Észak-magyarországi — Salgótarján környéki — bazaltterületek. *Földtani Intézet Évi Jelentése 1968-ról*, 145-165.

**Jung, H., Katayama, I., Jiang, Z., Hiraga, T., Karato, S., 2006.** Effect of water and stress on the lattice-preferred orientation of olivine. *Tectonophysics* 421, 1–22.

**Karato, S., Jung, H., Katayama, I., Skemer, P., 2008.** Geodynamic Significance of Seismic Anisotropy of the Upper Mantle: New Insights from Laboratory Studies. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 36, 59–95.

**Kázmér, M., Kovács, S., 1985.** Permian-Palaeogene palaeogeography along the eastern part of the Insubric-Periadriatic Linament system: evidence for continental escape of the Bakony-Drauzug Unit. *Acta Geologica Hungarica*, 28, 71–84.

**Kil, Y., Wendlandt, R. F., 2004.** Pressure and temperature evolution of upper mantle under the Rio Grande rift. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 148, 265-280.

**Konc, Z., Garrido, C. J., Tommasi, A., Hidas, K., Marchesi, C., Szabó, Cs., 2011.** Deformation record of upper mantle peridotite xenoliths from SE Iberian Volcanic Province (Spain). *Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU2011-4894-1.

**Konečný, P., Konečný, V., Lexa, J., Huraiová, M., 1995.** Mantle xenoliths in alkali basalts of Southern Slovakia. *Acta Vulcanologica*, 7, 241-247.

**Konečný, P., Huraiová, M., Bielik, M., 1999.** P-T-X- $f_{O_2}$  Conditions in Upper Mantle: Evidence from Lherzolitite Xenoliths Hosted by Plio-Pleistocene Alkali Basalts (Southern Slovakia). *GeoLines*, 9, 59-66.

**Kovács, I., Zajacz, Z., Szabó, Cs., 2004.** Type-II xenoliths and related metasomatism from the Nógrád-Gömör Volcanic Field, Carpathian-Pannonian region (northern Hungary–southern Slovakia). *Tectonophysics*, 393, 139– 161.

**Kovács, I., Falus, Gy., Stuart, G., Hidas, K., Szabó, Cs., Flower, M., Hegedűs, E., Posgay, K., Zilahi-Sebess, L., Fancsik, T., 2011.** Asztenoszféra-áramlás mint a terciér kilökődés és extenzió hajtóereje? *Magyar Geofizika*, 52, 79-87.

**Kovács, I. és Szabó, Cs. 2008.** Middle Miocene volcanism in the vicinity of the Middle Hungarian zone: evidence for an inherited enriched mantle source. *Journal of Geodynamics* 45, 1-17.

**Kovács, I., Falus, Gy., Stuart, G., Hidas, K., Szabó, Cs., Flower, M. F. J., Hegedűs, E., Posgay, K., Zilahi-Sebess, L. 2012.** Seismic anisotropy and deformation patterns in upper mantle xenoliths from the central Carpathian–Pannonian region: Asthenospheric flow as a driving force for Cenozoic extension and extrusion? *Tectonophysics* 514–517, 168–179

**Leake, B.E., 1978.** Nomenclature of amphiboles. *American Mineralogist*, 63, 1023-1052..

**Lenkey, L., 1999.** Geothermics of the Pannonian Basin and its bearing on the tectonics of basin evolution. PhD Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, p. 215.

**Lenkey et al., 2002.** Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the neotectonics. EGU Stephan Mueller Special Publication Series, 3, 29–40.

**Lenoir, X., Garrido, C.J., Bodinier, J.-L., Dautria, J.-M., 2000.** Contrasting lithospheric mantle domains beneath the Massif Central (France) revealed by geochemistry of peridotite xenoliths. *Earth and Planetary Science Letters*, 181, 359-375.

**Liptai, N., Patkó, L., Aradi, L.E., 2011.** A Nógrád-Gömör Vulkáni Terület központi részéről (Medves-fennsík és Bába-hegy) származó felsőköpeny eredetű ultramafikus xenolitok petrográfiai vizsgálata. ELTE, Közettani és Geokémiai Tanszék, TDK (kézirat), p. 52.

**Mainprice, D., 2005a.** "ROTctf" - Rotates Euler angles of ctf files from Channel5

**Mainprice, D., 2005d.** "PFch5" - Plotting pole figures from HKLtechnology Channel5 export file.

**Mazzucchelli, M., Zanetti, A., Rivalenti, G., Vannucci, R., Correia, C. T., Tassinari, C. C. G., 2010.** Age and geochemistry of mantle peridotites and diorite dykes from the Baldissero body: Insights into the Paleozoic–Mesozoic evolution of the Southern Alps. *Lithos*, 119, 485-500.

**Mercier, J.C.C., Nicolas, A., 1975.** Textures and fabrics of upper mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts. *Journal of Petrology*, 16, 454-487.

**Morimoto, N., 1989.** Nomenclature of pyroxenes. *The Canadian Mineralogist*, 27, 143-156.

**Patkó, L. és Aradi, L., 2012.** Wehrlitesedés folyamatának nyomkövetése a nógrád-gömöri felsőköpenyben. ELTE, Közettani és Geokémiai Tanszék, TDK (kézirat), p. 69.

**Piccardo, G.B., Zanetti, A., Müntener, O., 2007.** Melt/peridotite interaction in the Southern Lanzo peridotite: Field, textural and geochemical evidence. *Lithos*, 94, 181–209.

**Pike, J.E.N., Schwarzman, E.C., 1977.** Classification of textures in ultramafic xenoliths. *Journal of Geology*, 85, 49-61.

**Seghedi, I., Downes, H., 2011.** Geochemistry and tectonic development of Cenozoic magmatism in the Carpathian–Pannonian region. *Gondwana Research* 20, 655-672.

**Streckeisen, A., 1975.** To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, 12, 1-33.

**Szabó, Cs., Harangi, Sz., Csontos L., 1992.** Review of Neogene and Quaternary volcanism of the Carpathian-Pannonian region. *Tectonophysics*, 208, 243-256.

**Szabó, Cs., Harangi, Sz., Vaselli, O., Downes, H., 1995a.** Temperature and oxygen fugacity in peridotite xenoliths from the Carpathian–Pannonian Region. *Acta Vulcanologica*, 7, 231–239.

**Szabó, Cs., Bodnar, R.J., Sobolev, A., 1996.** Metasomatism associated with subduction-related, volatile-rich silicate melt in the upper mantle beneath the Nograd-Gomor Volcanic Field, Northern Hungary / Southern Slovakia: Evidence from silicate melt inclusions. *European Journal of Mineralogy*, 8, 881-899.

**Szabó, Cs., Falus, Gy., Zajacz, Z., Kovács, I., Bali, E., 2004.** Composition and evolution of lithosphere beneath the Carpathian-Pannonian Region: a review. *Tectonophysics*, 393, 119–137.

**Szabó, Cs., Kovács, I., Dégi, J., Kóthay, K., Török, K., Hidas, K., Kónya, P., Berkesi, M., 2010.** From maars to lava lakes: Ultramafic and granulite xenoliths associated with the alkaline basaltic volcanism of the Pannonian Basin. *Acta Mineralogica-Petrographica, Field guide series*, 13, 1–32.

**Szabó, Cs., Taylor, L., 1994.** Mantle petrology and geochemistry beneath the Nógrád-Gömör Volcanic Field, Carpathian-Pannonian Region. *International Geology Review*, 6, 328-358.

**Szabó, Cs., Bodnar, R.J., 1995.** Chemistry and origin of mantle sulfides in spinel peridotite xenoliths from alkaline basaltic lavas, Nograd-Gomor Volcanic Field, northern Hungary and southern Slovakia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 3917-3927.

**Tari, G., Dövényi, P., Dunkl, I., Horváth, F., Lenkey, L., Stefanescu, M., Szafián, P., Tóth, T., 1999.** Lithospheric structure of the Pannonian Basin derived from seismic, gravity and geothermal data. In: Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., Séranne, M. (szerk). *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications, 156, 215-250.

**Tommasi, A., Tikoff, B. & Vauchez, A., 1999.** Upper mantle tectonics: three-dimensional deformation, olivine crystallographic fabrics and seismic properties. *Earth and Planetary Science Letters* 168, 173-186.

**Vauchez, A., Garrido, C.J., 2001.** Seismic properties of an asthenospherized lithospheric mantle: constraints from lattice preferred orientations in peridotite from the Ronda massif. *Earth and Planetary Science Letters*, 192, 235-249.

**Witt-Eickschen, G., 1993.** Upper mantle xenoliths from alkali basalts of the Vogelsberg, Germany: implications for mantle upwelling and metasomatization. *European Journal of Mineralogy*, 5, 361-376.

**Woodland, A.B., Kornprobst, J., McPherson, E., Bodinier, J. L., Menzies, M.A., 1996.** Metasomatic interactions in the lithospheric mantle: petrologic evidence from the Lherz massif, French Pyrenees. *Chemical Geology*, 134, 83-112.

**Zajacz, Z., Szabó, Cs., 2003.** Origin of sulfide inclusions in cumulate xenoliths from Nógrád-Gömör Volcanic Field, Pannonian Basin (north Hungary / south Slovakia). *Chemical Geology*, 194, 105-117.

**Zajacz, Z., Kovács, I., Szabó, Cs., Halter, W., Pettke, T., 2007.** Evolution of Mafic Alkaline Melts Crystallized in the Uppermost Lithospheric Mantle: a Melt Inclusion Study of Olivine-Clinopyroxenite Xenoliths, Northern Hungary. *Journal of Petrology*, 48, 853-883.