

ELŐZETES EREDMÉNYEK A MAGYARORSZÁGI NAGNYOMÁSÚ METAOFIOLIT ANYAGÚ CSISZOLT KŐESZKÖZÖK SZÁRMAZÁSI HELYÉNEK PONTOSÍTÁSÁHOZ

PRELIMINARY RESULTS ABOUT THE SOURCE OF HUNGARIAN HIGH- PRESSURE META-OPHIOLITIC STONE ARTEFACTS

VÁCZI Benjámin^{1*}; SZAKMÁNY György¹; KASZTOVSZKY Zsolt²;

Elisabetta STARNINI³; Flavio A. NEBIACOLOMBO⁴

¹ ELTE FFI Közettan-Geokémiai Tanszék

² MTA EK Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratórium

³ School of Humanistic Sciences, Department of Historical Studies, University of Torino, Italy

⁴ augusto.nebiacolombo@libero.it, Recco (GE), Italy

* correspondent author, E-mail: vbeni9305@gmail.com

Abstract

High-pressure meta-ophiolite artefacts spread across Europe during the Neolithic, but the exact provenance of their raw material is an open question yet. In this work we give a preliminary, although detailed petrological and geochemical data of three possible sources of HP meta-ophiolitic stone artefacts. During fieldwork we collected several geological samples from the southern side of Monviso (Piedmont, NW Italy), and the alluvium of river Po and torrent Curone. Samples have been analysed with polarising microscopy, SEM-EDX and PGAA with the aim of finding possible differences and petrographic/geochemical markers between the locations. During this work it was important to use mainly non-invasive analytical methods to get comparable data with the analytical results from the often intact prehistoric stone artefacts. Accessory minerals, including Ti-, and REE-bearing minerals show the most significant dissimilarities, but there are some differences in the appearance and composition of the main rock forming minerals (Na-bearing monoclinic pyroxene, garnet) too.

Kivonat

Az Európa szerte elterjedt nagynyomású metaofiolitból készült kőeszközök nyersanyagának pontos forrásterülete mindmáig nyitott kérdés, ezért jelen munka részletes leírást ad három potenciális forrásterület kőzeteiről, hogy segítse a lehatárolást. A Monviso déli oldaláról, valamint a Pó-, és Curone-folyó alluviális üledékeiből vett mintákon vékonycsiszolatos polarizációs mikroszkópi, SEM-EDX, valamint PGAA vizsgálatokat végeztünk annak érdekében, hogy az egyes területek petrográfiai és geokémiai jellemzői alapján különbségeket mutassunk ki az egyes lelőhelyek közt. Munkánk során kiemelt fontosságú volt a roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazása, hogy a gyakran épen előkerült, nagy értékű kőeszközökével könnyen összevethető eredményeket kapjunk. A legjellemzőbb különbségeket az akcesszórius ásványok, azon belül is a Ti-, és RFF-tartalmú fázisok mutatják, azonban a fő kőzetalkotó ásványok (Na-tartalmú monoklin piroxén, gránát) megjelenésében és összetételében is kimutatható eltérés.

KEYWORDS: HP META-OPHIOLITES, RAW MATERIAL, POLISHED STONE TOOLS, PROVENANCE, SEM-EDX, PGAA

KULCSSZAVAK: NAGNYOMÁSÚ METAOFIOLIT, NYERSANYAG, CSISZOLT KŐESZKÖZ, FORRÁSTERÜLET, SEM-EDX, PGAA

Bevezetés

Európa régészeti leletanyagában komoly szerepet játszanak a nagynyomású metaofiolitból (HP metaofiolit) készült csiszolt kőeszközök – kőbalták, szalukapák, vésők, stb. – mind gyakoriságuk, mind pedig nyersanyaguk különlegessége miatt. Az ok, amiért ezek a kőzetek ilyen fontosak voltak a neolit társadalmakban nem más, minthogy remekül ötvözik a technikai és esztétikai szempontból fontos tulajdonságokat: nagy sűrűségük és keménységük, szívósságuk következtében famegmunkáláshoz ideális eszközök készíthetők belőlük, míg zöld

színük és kiváló polírozhatóságuk miatt komoly esztétikai értékük is volt. A kőeszközök nyersanyaga leggyakrabban bázisos összetételű magmás kőzet nagynyomású és kishőmérsékletű metamorfózisával képződött eklogit, valamint egyéb, Na-piroxén és gránát tartalmú kőzet, amelyekből elsősorban munkavégzésre használt eszközöket készítettek. A másik leggyakoribb nyersanyag az archeometriai szakirodalomban „jade”, „pietra verde” vagy „zöldkő” néven emlegetett Na-piroxenit, amelyből főként nagyméretű, szakrális vagy presztízs célokból nagy értékű, általában tükörsima polírozottságú eszközök

készültek (D'Amico et al. 2003), amelyek valószínűsíthetően ceremóniai célokat szolgáltattak (Pétrequin et al. 2013). É-Olaszországban a gyűjtemények csiszolt kőeszközeinek gyakran közel 90%-át ezek a kőzetek teszik ki, de Európa szerte szinte mindenhol megjelennek a régészeti leletanyagban (D'Amico et al. 2003, D'Amico 2005, D'Amico et al. 2012, D'Amico & Starnini 2012, D'Amico 2012). Az első említés magyarországi HP metaofiolitos kőeszközzel 2008-ból származik, amikor az Ebenhöch-gyűjtemény kőeszközeit vizsgálták közettani szempontból. Ekkor még mindössze fénymikroszkópos, mágneses szuszceptibilitás és PGAA adatokra támaszkodva feltételezték, hogy egyes kőzetek a nagynyomású metaofiolitok közé sorolhatók (Friedel 2008, Friedel et al. 2008). Az áttörést az „eredeti felszín” vizsgálati módszer kifejlesztése jelentette 2013-ban, melynek segítségével hiteles ásványkémiai és szöveti információkat sikerült a kőeszközökből roncsolás nélkül kinyerni, ezzel egyértelműsíthető azok nagynyomású metaofiolit eredete (Bendő et al. 2013, Szakmány et al. 2013). E szöveti és ásványkémiai adatok birtokában pedig a PGAA-val nyert főelem összetételek kiválóan alkalmasak a kőzetek finomabb, geokémiai csoportosítására. Ezután megkezdődött a gyűjtemények átvizsgálása mely során a 2013-ban azonosított 3 db HP metaofiolit kőeszköz mellé, 2014-re még 10 db, 2015-re pedig további 12 db került, így ma összesen 25 db magyarországi leletanyagból származó eszközzel rendelkezünk részletes anyagvizsgálati eredményekkel (Bendő et al. 2014, 2015, in prep., T. Biró 2017).

Európában kőeszköz nyersanyagként használt kishőmérsékletű nagynyomású metaofiolitok – jelen ismereteink szerint – kétféle formában jelennek meg:

1) Elsődleges formában a nyugat-alpi régióban (Piemont Zóna), amely magába foglalja a Monviso környezetét, valamint a Voltri masszívumot (Compagnoni 2003). Habár hasonló genetikájú kőzetek ismertek a görög szigetvilágban Syros és Tinos területén (Tsujimori & Harlow 2012) és néhány feltárásban a franciaországi Bretagne-ban (Pain and Vielzuff 1988), ez utóbbiak kőeszköz nyersanyagként való felhasználása nem ismert.

2) Másodlagos formában a Pó-völgyben, valamint a Voltri-tól északra elhelyezkedő oligocén konglomerátumban és ez utóbbiaknak a pleisztocénben, az eljegesedési fázisok utáni áthalmazódásával a Piemont, É-Liguria és Ny-Lombardia közti terület alluviális üledékeiben jelennek meg (Capponi et al. 2009).

A kutatók egyetértenek abban, hogy a kőeszközök nyersanyagául szolgáló kőzetek a Ny-Alpok és É-Appenninek területéről származnak, viszont az a kérdés, hogy elsődleges vagy másodlagos forrásból

származnak-e megválaszolatlan. Pétrequin és munkatársai elmélete szerint a különböző célokra szánt kőeszközök gyártásához szükséges nyersanyagot különböző forrásokból szerezték. A folyóvízi hordalékok anyagát főként a mindennapos használatra szánt eklogit eszközök készítéséhez használták fel, viszont a nagyméretű presztízsbalták elkészítéséhez ez a kavicsanyag nem megfelelő. Egyrészt a kavicsok túl kis méretűek, másrészt a jégkorszakban a rá települő vastag jégtakaró nyomása miatt a kavicsokban belső feszültség alakult ki, ami alkalmatlanná tette azokat köpengék gyártására. Emiatt ezek forrásterülete a Monviso környezetében, attól délre, 2000-2400 méteres magasságban elsődleges lelőhelyeken keresendő, ahol nagy blokkokból víz és tűz segítségével választották le a megfelelő kőzetszeleteket, majd ezután csiszolták és polírozták tökéletesre (Pétrequin & Pétrequin 1993, Errera et al. 2008).

A nomenklatura kérdései

A „jade” kifejezést már több mint 150 éve alkalmazzák (Damour 1863) zöld színű különleges kőzetekre. A gemmológiában, valamint a kereskedelemben, azonban a jade név használata még ma sem következetes. Két kőzettípusra alkalmazható a jade név: jadeit-jadenek nevezhető az a kőzet, amely túlnyomó részt jadeites összetételű ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$) monoklin piroxénből áll és nefrit-jadenek nevezhető az a kőzet, amely fő összetevője a tremolit-aktinolit összetételű amfibol [$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$]. Ugyanakkor ez utóbbi névhasználat közettanilag hibás. Mivel a szinte tisztán Na-piroxénből álló kőzetek között megjelennek omfacitot is, vagy túlnyomó részben omfacitot tartalmazó kőzetek is, ezért szerencsésebb a jadeit-jade név helyett a piroxén-jade (Px-jade) nevet alkalmazni. D'Amico és munkatársai 2003-ban megalkották a nagynyomású metaofiolitok osztályozásának elvét, amelyben megkülönböztet eklogitokat, valamint jade kőzeteket. Ez utóbbi csoportba a Na-piroxeniteket és az omfacit-, valamint jadeitpalákat sorolta, tehát csak a piroxénos változatot sorolja a jade kategóriába. Az omfacit-, és jadeitpalák kémiai összetételüket tekintve az eklogitokhoz állnak közel, viszont gránátot nem tartalmaznak, emellett erősen nyírt, foliált szerkezetűek. A további felosztást már geokémiai alapon, a kőzetek Fe-, és Mg-tartalma alapján végezte. Ezzel szemben Giustetto és Compagnoni (2014) teljes mértékben petrográfiai alapon, ásványos összetétel alapján csoportosította a HP-metaofiolitokat. Véleményük szerint a HP-metaofiolitok közé két kőzet család sorolható: Na-piroxén tartalmú kőzetek (jadeitit, omfacit-jadeitit, jadeit-omfacitit, omfacitit), valamint Na-piroxén és gránát tartalmú kőzetek (gránát-Na-piroxenit, eklogit, Na-piroxén-gránátit, stb.).



1. ábra: A nagynyomású metaofiolit kőzetek csoportosítása D'Amico et al. (2003) és Giustetto & Compagnoni (2014) alapján.

Fig. 1.: The classification of High-pressure metaophiolites based on the work of D'Amico et al. (2003) and Giustetto & Compagnoni (2014)

A nevezéktanral kapcsolatos csoportokat az 1. ábrán mutatjuk be. Jól látható, hogy a kétféle nevezéktan a legtöbb esetben jól egyezik egymással, de egyes kőzettípusokra eltérések is tapasztalhatók. Jelen munkának nem célja a nomenklatura újragondolása, vagy állásfoglalás a kutatók között, ezért igyekszünk a kőzetek tárgyalásakor mind a két nevezéktani csoportosításban elhelyezni azokat. Ugyanakkor külön kiemeljük a kétféle nevezéktan használata során tapasztalt eltéréseket.

Mintagyűjtés

Jelen munkában vizsgált kőzetminták három lelőhelyről származnak: a Monvisotól közvetlenül délre eső völgyrendszerekből (továbbiakban „Monviso dél”), a Pó alluviális síkságának nyugati részéből, a folyó Nyugati-Alpokból való kilépésének közeléből (továbbiakban „Pó”), valamint a Curone-völgyéből (**2a ábra**). A Monviso déli oldaláról az elsődleges geológiai környezetből származó, nagyméretű kőzetblokkokból, illetve az ugyanitt előforduló szilánkokból származnak a minták (**2b ábra**). Utóbbiak egy részét az időjárási viszontagságoktól védett, fedett helyekről (*shelter*) gyűjtöttük. (**2b ábra**). A mintagyűjtés a Monviso területén szisztematikusan a Na-piroxenitkre irányult, ezért mint később a minták leírásánál látható lesz, a gránát tartalmú kőzetek alulreprezentáltak a mintaanyagban erről a lelőhelyről. A Pó forrásvidéke a Monvisohoz nagyon közel

helyezkedik el, ezért a folyó főként felső szakaszán nagy mennyiségben jelennek meg az eklogit fáciesű metamorfitek a hordalékban. A Pó alluviumából két lelőhelyről (Pó 1 és Pó 2) begyűjtött minták – kavicsok és hömpölyök (**2c ábra**) – között egyaránt megjelennek a gránát-tartalmú, valamint a gránát-mentes nagynyomású kőzetek is. A Curone átszeli az oligocén konglomerátumot, amely a Voltri lepusztult anyagát tartalmazza, ezért hordalékában nagy számban jelennek meg a különböző típusú metaofiolitos kőzetek, amelyek között nagynyomású változatok is előfordulnak (Capponi et al. 2009). A Curone-folyó menti négy lelőhelyről, a Póhoz hasonlóan kavicsok, hömpölyök, görgetegek képezik a mintaanyagot (**2d ábra**), amelyben Na-piroxenit és gránát-tartalmú kőzetek is megjelennek, utóbbiak túlsúlyával.

Vizsgálati módszerek

Petrográfiai vizsgálatok céljából a kőzetmintákból 30 µm vastagságú fedett, valamint polírozott vékonycsiszolatok készültek az Eötvös Loránd Tudományegyetem Közettan-Geokémiai Tanszékén. A csiszolatokat Nikon OPTIPHOT2-POL típusú polarizációs mikroszkóppal vizsgáltuk (60 minta), a fotók Nikon COOLPIX DS-Fi1 típusú kamerarendszerrel készültek. A polarizációs mikroszkópi fotókon a polarizátor iránya a vízszintes iránnyal párhuzamos.



2. ábra: A vizsgált minták származási helye

2a: A minták lelőhelyének térképi megjelenítése, alul kiemelve a Pó és Curone lelőhelyek. BF: Brignano Francata, SSC: San Sebastiano Curone, GR: Gremiasco, FC: Fabrica Curone. **2b:** Mintegy 1 m átmérőjű jadeitit blokk a Monviso déli lejtőjén. **2c:** A Pó-folyó ártere, ahol akár fél méteres görgöttegek is előfordulnak. **2d:** A Curone-folyó hordaléka a beágyazott zöld árnyalatú kőzetekkel.

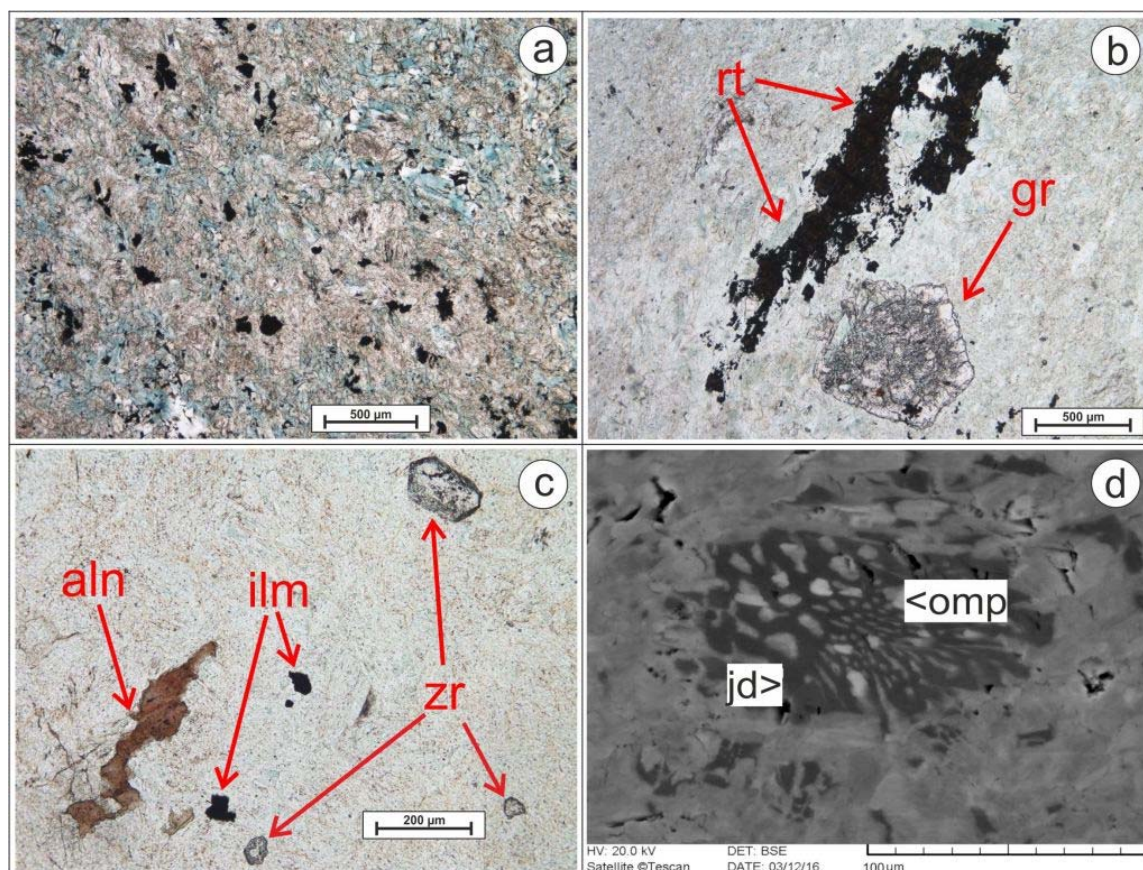
Fig. 2.: The sampling location of the analysed specimens

2a: The map of the sampling, the Po and Curone sites highlighted on the bottom. BF: Brignano Francata, SSC: San Sebastiano Curone, GR: Gremiasco, FC: Fabrica Curone. **2b:** Approximately 1 m in diameter jadeitite block on the southern side of Monviso. **2c:** Alluvium of Po with cobbles and pebbles up to 0.5 meter. **2d:** Embedded green rocks in the alluvium of river Curone.

A pásztázó elektronmikroszkópos felvételek és mérések (22 minta) az Eötvös Loránd Tudományegyetem Közetan-Geokémiai Tanszékén készültek. A vizsgálatok során használt műszer egy AMRAY 1830 típusú volfrámkatódos pásztázó elektronmikroszkóp, mely EDAX PV9800 típusú energiadiszperzív spektrométerrel van felszerelve. A vizsgálatok során alkalmazott gyorsítófeszültség 20 kV, a sugáráram 1 nA, a sugárátmérő megegyezik a fókuszált elektronsugár átmérőjével (~50 nm). Minden bemutatott kép visszaszórt elektron (BSE) detektorral készült. Az ásványkémi elemzések kiértékelése nemzetközi sztenderdek és ZAF korrekció segítségével történt (Bendő et al. 2013).

A prompt-gamma neutronaktivációs analízis (PGAA) mérések (32 minta) az MTA Energiatudományi Kutatóközpont Nukleáris

Analitikai és Radiográfiai Laboratóriumában készültek. A módszer alkalmas főelemek (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K és H), valamint néhány nyomelem (pl.: B, Cl, Sm, Gd) átlagos koncentrációjának kvantitatív meghatározására pár cm^3 térfogatból. A mintát előkészítés nélkül helyezzük a neutron sugár útjába, amelyben a neutronfluxus $9.6 \times 10^7 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A PGAA spektrumokat Compton-elnyomások üzemmódban használt HPGe detektorral mérjük. Az átlagos besugárzási idő 1 óra, a megfelelő beütésszám érdekében. A detektor felbontása a ^{60}Co 1332 keV energiájú csúcsára 1,8 – 2,2 keV. A spektrumok kiértékeléséhez Hypermet-PC programot alkalmaztunk, k_0 -módszerrel a főelem összetétel kvantitatív meghatározására (Révay 2009; Szentmiklósi et al. 2010, Szakmány et al. 2011).



3. ábra: A Monviso déli oldaláról származó finomszemcsés Na-piroxenit polarizációs mikroszkópos (1N) (a-c), illetve visszaszórt elektron (d) képe

3a: általános szöveti kép. **3b:** Zárványos magvú és idioblasztos peremű gránát, valamint rutil szemcsékből álló aggregátum. **3c:** gyakori akcesszóriák: xenoblasztos allanit, általában idioblasztos cirkon és ilmenit. **3d:** Omfacit szételegyedés relikjt jadeit szemcsében.

Ásványnév rövidítések: aln = allanit, gr = gránát, ilm = ilmenit, jd = jadeit, omp = omfacit, rt = rutil, zr = cirkon

Fig. 3.: Photomicrograph (1N) (a-c) and backscattered electron image (d) of fine-grained Na-pyroxenites from Monviso South

3a: General textural appearance. **3b:** Garnet with inclusion-rich core and idioblastic rim, and aggregate of rutile crystals. **3c:** The most common accessory minerals of the samples from Monviso: xenoblastic allanite, often idioblastic zircon and ilmenite. **3d:** Omphacite exsolution in a relict jadeite crystal.

Mineral name abbreviations: aln = allanite, gr = garnet, ilm = ilmenite, jd = jadeite, omp = omphacite, rt = rutile, zr = zircon.

Eredmények

Petrográfia és ásványkémia

Monviso dél

A Monviso déli oldaláról gyűjtött minták között – mint feljebb említettük – dominálnak a Na-piroxenit, ami az irányított mintavételnek köszönhető. Összesen 19 vizsgált mintából 12 Na-piroxenit és 5 db gránát tartalmú kőzet. A maradék két minta egy-egy metaperidotit és zöldpala fáciesű metabázis, amelyeket a továbbiakban nem tárgyalunk.

Na-piroxenit: Gyakorlatilag monomineralikus kőzetek, a kőzetalkotó monoklin piroxén mellett max. 5%-ban jelennek meg egyéb fázisok. A piroxén szemcsék általában finomszemcsés, 200 µm-nél kisebb szemcseméretű mátrixot alkotnak (**3a ábra**), amelyben megjelennek durvaszemcsés domének, sávok. Három minta mutat ettől eltérő, durvaszemcsés, granoblasztos, granomatoblasztos szövetet. Polarizációs mikroszkópban is jól megfigyelhető a nagyobb szemcsék inhomogenitása, zónássága, amely a magtól a perem felé egyre erősebb zöldeskék pleokroizmusban mutatkozik meg. Gyakoriak a relikjt, korrodált jadeit szemcsék (Jd₈₅₋₉₆), amelyek ~10 µm-es omfacit zárványokat tartalmaznak

(3d ábra). A két különböző összetételű piroxén ilyen megjelenése szételegyedésre utal kristályosodás során (Compagnoni et al. 2007), amely a kishőmérsékletű 500 °C körül metamorfizálódott nagynyomású kőzetekre jellemző (Matsumoto and Hirajima 2005). Az akár 1mm-es jadeit szemcséket inhomogén omfacit ($Jd_{30-60} Q_{20-50} Ae_{0-30}$) korona veszi körbe. A piroxén mellett legnagyobb arányban ilmenit jelenik meg, akár több mm-t is meghaladó méretben. A nagyméretű ilmenit szemcsék sok apró piroxén zárványt tartalmaznak és szegélyükön vékony sávban titanit figyelhető meg. Ti-tartalmú fázisok között elszórtan megjelenik rutil is, de az ilmenithez képest csak kis mennyiségben. Gyakori akcesszórius elegyrész a cirkon, amely két formában jelenik meg a kőzetekben: i) néhányszor 10 µm-es kerekded szemcsékből álló sávok formájában; ii) ~200 µm-es sajátalakú, önállóan előforduló kristályok formájában. Különböző ritkaföldfém tartalmú ásványok is megjelennek a mintákban, amelyek közül leggyakoribb az allanit, de monacit és xenotim is előfordul **(3c ábra)**.

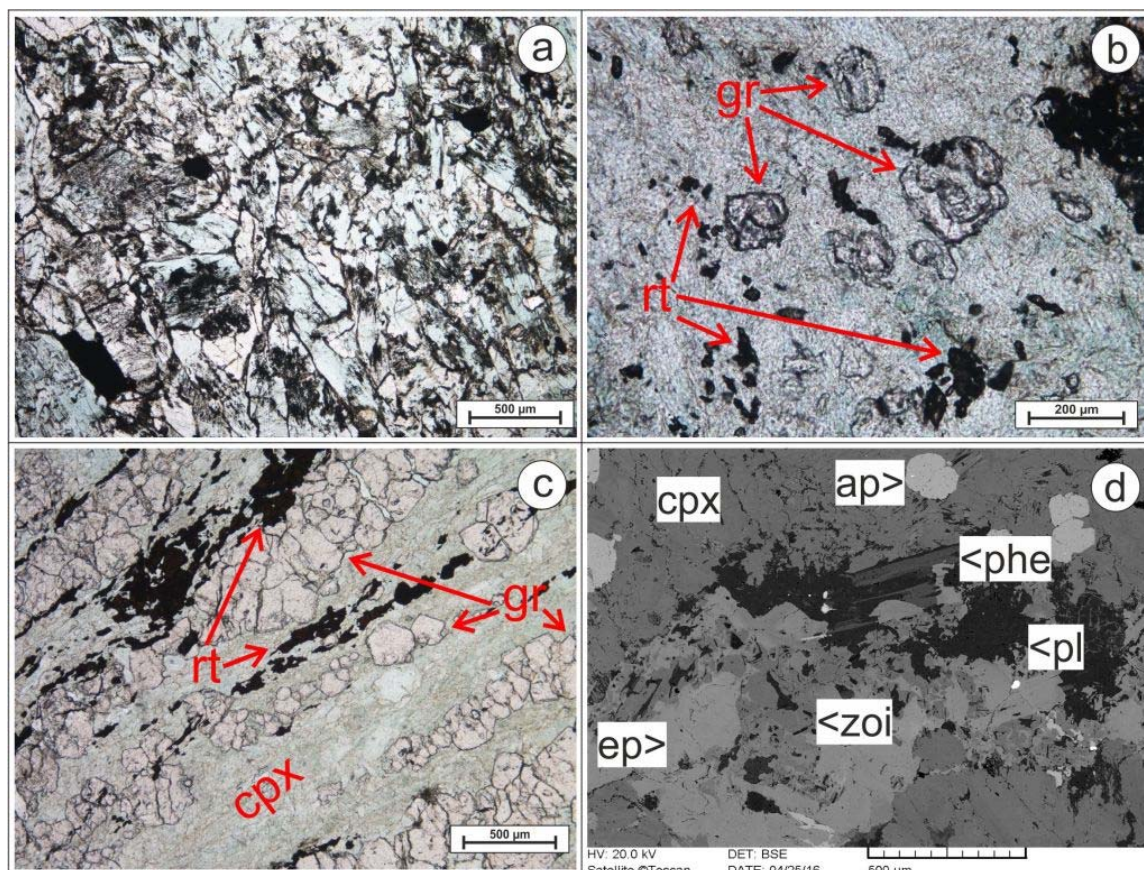
Gránátartalmú kőzetek: Összesen két mintában éri el a gránát részaránya a 25%-ot, ezért Giustetto és Compagnoni (2014) nevezéktana alapján ez a két minta minősül eklogitnak, a többi három mintában a gránát aránya 5-10% között jellemző. Ezért ez utóbbiak gránátartalmú Na-piroxenitként és gránát-Na-piroxenitként írhatók le. D'Amico (2003) nevezéktana alapján mind az 5 minta eklogit. A piroxének megjelenése a gránátartalmú kőzetekben nagyon hasonló a Na-piroxenitekéhez, gyakoriak a szételegyedett jadeit szemcsék, amelyek körül omfacit van. A nagyméretű, akár 1 mm-es szemcseméretet is meghaladó gránát poikiloblasztok magja jellemzően sok piroxén zárványt tartalmaz, ezzel szemben szegélyük tiszta és idioblasztos kifejlődésű **(3b ábra)**. A gránátok üdék, ritkán azonban kismértékű kloritos átalakulást mutatnak. A gránátokban enyhe kémiai zónáság figyelhető meg, a magtól a perem felé csökkenő almandin és növekvő pirop komponens tartalommal (mag: $Alm_{75-90} Py_{10-15}$, perem: $Alm_{60-70} Py_{20-25}$). A két fő kőzetalkotó elegyrész mellett akcesszóriaként elsősorban ilmenit, cirkon, valamint rutil jelenik meg, valamint, a Na-piroxenitekhez hasonlóan, allanit. Ezen kívül apatit, paragonit, epidot, titanit és albit kevesebb, mint 1%-ban található.

Pó

A Pó-völgyéből szintén 19 db mintát vizsgáltunk, amelyek közül mindössze 4 db Na-piroxenit és 9 db gránát és Na-piroxén tartalmú kőzet. A többi 6 db-ból 5 szerpentin, zöldpala és csillámos kvarcit, amelyeket a továbbiakban nem tárgyalunk, csakúgy, mint a több mint 90%-ban zoisitból és Na-piroxénből álló mintát sem.

Na-piroxenit: A kőzetek között egyaránt megjelennek irányított szövetű finomszemcsés, valamint durvaszemcsés granoblasztos szövetű Na-piroxenitek is **(4a ábra)**. A monoklin piroxének leggyakrabban a magtól a perem felé csökkenő mértékű zöldesszürke pleokroizmust mutatnak. A szemcsék kémiai inhomogének, de a különböző összetételű zónák, domének között az átmenet nem éles, hanem diffúz. Az akcesszórius elegyrészek közül leggyakrabban rutil, és cirkon jelenik meg, mindkettő általában 50-100 µm-es önálló szemcsék formájában. A rutil szemcsék körül általában vékony titanitból álló korona van. A piroxén mátrixban gyakran jelennek meg retromorf ásványokból álló csomók, domének, amelyek fő összetevői a zoisit, epidot, albit és paragonit. A fentieken kívül, elszórtan, 1%-nál kisebb mennyiségű kéamfibol is megjelenik a mintákban. Ilmenit kevésbé jellemző, és általában rutilban jelenik meg szételegyedési lamellákként. Ugyanakkor egyéb Fe-tartalmú fázisok gyakoriak, úgymint pirit, hematit, ritkán magnetit. Apatit és fengit is megjelenik változó mennyiségben, az apatit aránya az egyik mintában megközelíti az 5%-ot. A Pó-2/2-es minta a nagynyomású metaofiolitokhoz tartozik, azonban nem sorolható be a Na-piroxenitek közé, habár gránátot ugyan nem tartalmaz, viszont ásványos összetételét tekintve a monoklin piroxén mellett a zoisit a fő kőzetalkotó. Ez a két ásvány alkotja a kőzetnek mintegy 95%-át közel egyenlő arányban, emellett cirkon, titanit, albit és hematit figyelhető meg.

Gránátartalmú kőzetek: A gránátartalmú kőzetek között hat minta van, amelyekben a gránát aránya meghaladja a 25%-ot, ezért ezek a minták mindkét nevezéktan alapján eklogitnak minősülnek. A többi három mintában ez az arány 10-20% közötti, tehát ezek Giustetto és Compagnoni (2014) nevezéktana alapján gránát-Na-piroxenitnek minősülnek. A gránátos kőzetekre jellemző az irányított szövet, leggyakrabban sávok **(4c ábra)**. A monoklin piroxén szemcsék változatos méretben jelennek meg, akár az 1-2 mm-es szemcseméretet is eléri, sőt meghaladják. A nagyméretű piroxén porfiroblasztok gyakran korrodáltak és deformáltak, szételegyedési lamellákat tartalmaznak. Kémiai összetételüket tekintve elsősorban omfacitos összetételűek ($Jd_{40-55} Q_{20-50} Ae_{10-20}$) amiben ritkán jadeites összetételű (Jd_{80-85}) reliktek jelennek meg. A gránát szemcsék méretüket tekintve kisebbek, mint a Monvisoról származó mintákban, átlagosan 100-300 µm-esek és mennyiségük akár a 40 térfogat %-ot is elérheti. A gránátok korrodáltak, a szélükön kloritos átalakulás a jellemző, gyakori az atoll megjelenés **(4b ábra)**. Kémiai összetételüket tekintve a magtól a perem felé csökkenő grosszulár és növekvő pirop komponens arány a jellemző, közel állandó almandin komponens mellett (mag: $Alm_{62-68} Py_{10-15} Grs_{14-18}$, perem: $Alm_{62-65} Py_{20-22} Grs_{8-12}$).



4. ábra: A Pó-1 és Pó-2 lelőhelyről származó kőzetblokkok szövete és jellemző ásványfázisai polarizációs mikroszkópi (1N) felvételeken (a-c), illetve visszaszórt elektron képen (d)

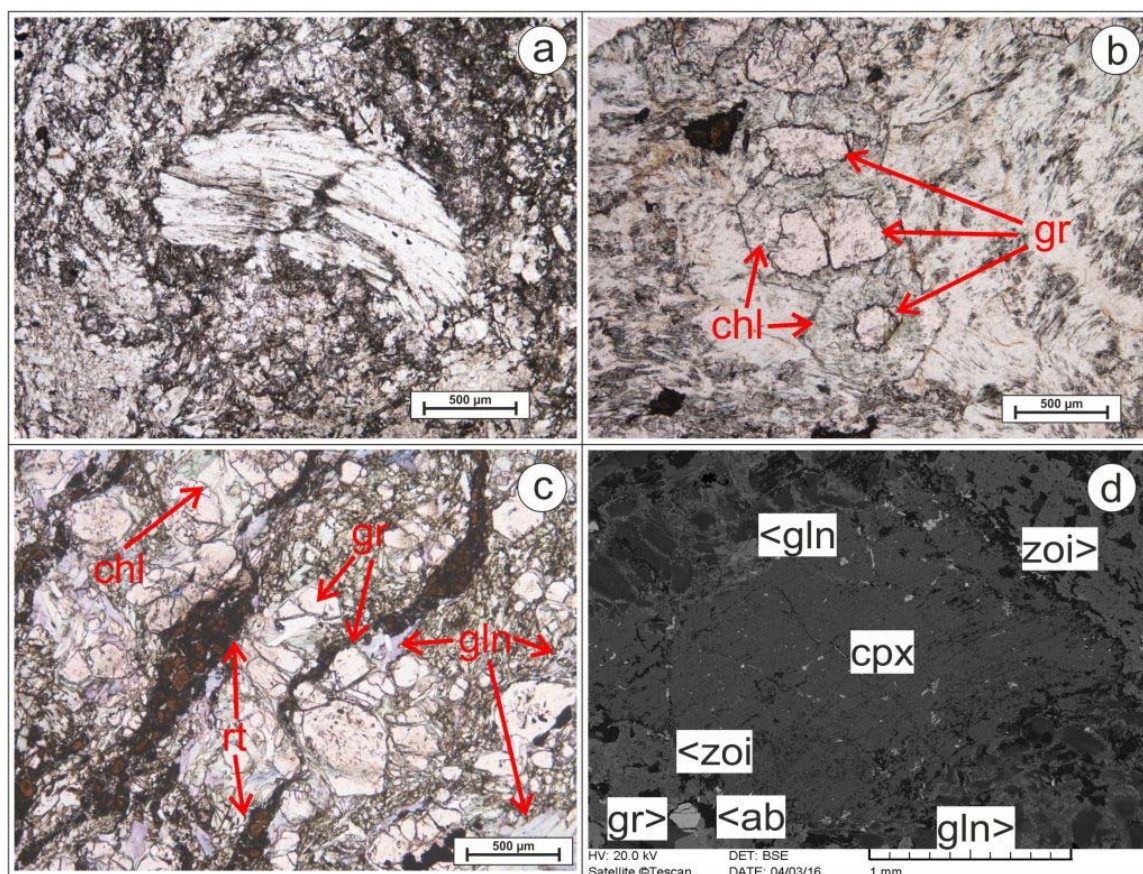
4a: Durvaszemcsés Na-piroxenit. **4b:** Atoll gránátok és finomszemcsés rutilból álló aggregátumok. **4c:** Sávosságot piroxén-, gránát- valamint rutil-domináns sávok okozzák. **4d:** Blasztoporfiros aggregátum visszaszórt elektron képe a leggyakoribb retromorf ásványokkal. Ásványnév rövidítések: ap = apatit, cpx = monoklin piroxén, ep = epidot, gr = gránát, phe = fengit, pl = plagioklász, zoi = zoisit

Fig. 4.: Photomicrograph (1N) (a-c) and backscattered electron image (d) of the general texture and the main rock forming minerals of blocks from locality Po-1 and Po-2

4a: Coarse-grained Na-pyroxenite. **4b:** Atoll-structured garnets and aggregates of fine-grained rutile crystals. **4c:** Banded eclogite, bands built up by pyroxene-, garnet- and rutile-rich domains. **4d:** BSE image of a blastoporphyritic aggregate with the most common retromorphous minerals. Mineral name abbreviations: ap = apatite, cpx = clinopyroxene, ep = epidote, gr = garnet, phe = phengite, pl = plagioclase, zoi = zoisite

A Na-piroxenitekhez hasonlóan a gránáttartalmú kőzetekben is a rutil a leggyakoribb akcessória, amely akár közel 10%-ban is megjelenik 100-150 µm-es szemcsékből álló sávok formájában. Ezek jól kirajzolják a foliáció irányát, az egyes szemcsék szélén keskeny titanitból álló korona figyelhető meg. Cirkon, fengit és Fe-ásványok, a Na-piroxenitekhez hasonló módon, ezekben a kőzetekben is megjelennek, valamint legfeljebb 1%-nyi főregjára emlékeztető kifejlődésű allanit. Az egyik minta xenotimot is tartalmaz, viszont monacitot nem mutattunk ki a mintákból. A retromorf fázisok közül megfigyelhető zoisit, epidot, paragonit, kékamfibol, albit és klorit,

amelyek gyakran együtt alkotnak retrográd csomókat, amelyeket D'Amico et al. (2003) blasztoporfiros aggregátumokként definiálták (**4d ábra**). A Pó-2/11-es minta eltér a többitől, ennek a kőzetnek mintegy 20%-át alkotják gránátok, amelyek több mm-es szemcseméretet is elérnek. A kőzet többi részét nagyjából egyenlő arányban piroxén és klorit alkotja. A piroxének finomszemcsések, átlagosan 50 µm-esek, ebben a piroxén mátrixban jelennek meg több mm-es rombusz, négyzet és téglalap alakú metszetek, feltételezhetően lawsonit utáni klorit pszeudomorfózák, továbbá titanit, rutil és zoisit is megfigyelhető a mintában.



5. ábra: A Curone völgyéből származó kőzetblokkok szövete és jellemző ásványfázisai polarizációs mikroszkópi (1N) felvételeken (a-c), illetve visszaszórt elektron képen (d)

5a: Nagyméretű korrodált és deformált omfacit porfiroklast Na-piroxenitben. **5b:** Erős kloritos átalakulást mutató gránát szemcsék. **5c:** Eklogit jellemző szöveti képe, gránát-, rutil-, valamint glaukofán-domináns sávokkal, valamint kloritgazdag csomókkal. **5d:** Korrodált és deformált omfacit szemcse, körülötte a leggyakoribb retromorf ásványokkal. Ásványnév rövidítések: ab = albit, chl = klorit, cpx = monoklin piroxén, gln = glaukofán, gr = gránát, rt = rutil, zoi = zoisit

Fig. 5.: Photomicrograph (1N) (a-c) and backscattered electron image (d) of the general texture and the main rock forming minerals of blocks from Curone localities

5a: Coarse corroded and deformed omphacite porphyroblast in a Na-pyroxenite. **5b:** Strong chloritic alteration around garnet. **5c:** General structural image of an eclogite from Curone, bands built up by garnet-, rutile- and glaucophane-rich domains and chlorite-rich aggregates. **5d:** Corroded and deformed omphacite crystal, surrounded by the most common retro-morphic minerals. Mineral name abbreviations: ab = albite, chl = chlorite, cpx = clinopyroxene, gln = glaucophane, gr = garnet, rt = rutile, zoi = zoisite

Curone

A Curone-folyó hordalékából összesen 22 mintát vizsgáltunk, amelyek közül mindössze három bizonyult Na-piroxenitnek, 12 minta gránát-Na-piroxén kőzet és 7 minta nem eklogit fáciesű metabázit. Ez utóbbiakat a továbbiakban nem tárgyaljuk.

Na-piroxenit: A Na-piroxenit a korábban említett két lelőhely mintáihoz képest erősebb retrográd átalakulással jellemezhető. A retromorf fázisok aránya meghaladhatja a 10%-ot, ezáltal a szoros értelemben vett Na-piroxenit kategóriába nem besorolhatók. Ezeknek a mintáknak a kémiai

összetétele és szöveti képük arra enged következtetni, hogy eredetileg több mint 90 %-ban monoklin piroxénből álltak, és a retrográd hatás következtében változott meg az ásványos összetételük, ezért ezeket a mintákat itt tárgyaljuk. A kőzetek heteroblasztos szövetűek, a mátrixot orientált finomszemcsés piroxén alkotja, amelyben nagyméretű, akár mm-es korrodált piroxén szemcsék jelennek meg (**5a ábra**). A piroxén szemcsék jellemzően omfacitos, Fe-omfacitos összetételűek, ($Jd_{25-45} Q_{40-55} Ae_{10-25}$), a magtól a perem felé csökkenő Jd és növekvő Ae komponens aránnyal. Az akcesszórius és másodlagos elegyrészek aránya megközelítheti a 20-25%-ot

(5d ábra). Az akcesszóriák közül leggyakrabban rutil, cirkon, apatit valamint zoisit jelenik meg. A rutil szemcsék körül vékony titanitból álló átalakulási szegély figyelhető meg. Gyakoriak a blasztoporfíros aggregátumok, amelyek kloritból, zoisitból, epidotból, fehér csillamból és albitből állnak. Az opak ásványok közül leggyakrabban hematit jelenik meg, jellemzően körülötte néhányszor 10 µm-es albit koronával, továbbá pirit és kalkopirit is előfordul. Gránát, valamint gránát utáni pszeudomorfózák megjelennek, ezek mennyisége azonban 1-2%-nál nem több.

Gránátartalmú kőzetek: A gránátartalmú kőzetek közül mindössze 3 olyan minta van, amelyben a gránát szemcsék aránya meghaladja a 25%-ot, ezért ezek mindkét nevezéktan alapján eklogitnak minősülnek, míg a többi 9 minta a gránátos Na-piroxenit és a gránát-Na-piroxenit kategóriába sorolandó Giustetto és Compagnoni (2014) nevezéktana alapján. A gránátos kőzetekről elmondható, hogy erős irányítottságot mutatnak, gyakori a nyírt, ritkán milonitos szövet **(5c ábra)**. A mátrixot 100-300 µm-es omfacitos összetételű piroxén szemcsék alkotják, amelyek irányítottan helyezkednek el. Ebben a piroxén mátrixban jelennek meg nagyméretű, akár 2 mm-es szemcseméretet is meghaladó korrodált, nyírt omfacit porfiroklastok. A mátrix fő alkotói a piroxén mellett a zoisit és a kék amfibol, amelyek szintén irányítottan, a piroxénééhez általában hasonló szemcseméretben jelennek meg, ugyanakkor azonban az amfibolok mérete elérheti akár az 500 µm-t is. Az amfibolok erős kémiai zónásságot mutatnak, magjuk glaukofános, szegélyük aktinolitós összetételű. A gránátok korrodáltak, részlegesen átalakultak kloritá **(5b ábra)**, általában a foliációval párhuzamos sávok formájában jelennek meg. A gránát összetétele változatos ($\text{Alm}_{51-71} \text{Py}_{8-26} \text{Grs}_{9-32} \text{Sps}_{0-8}$), a szemcsék irreguláris zónásságot mutatnak, egységes trend nem figyelhető meg. Gránáttal együtt gyakran jelenik meg fengit, epidot, valamint glaukofán, amely a gránát szemcsék közti teret tölti ki. A fő akcesszória a rutil, amely 50-150 µm-es szemcsékből álló sávokat alkot, a rutil szemcsék peremén titanitból, ritkábban ilmenitből és titanitból álló korona van. Ilmenit egyedi szemcséként ritkán jelenik meg, mindössze néhány rutil szemcse szegélyén sikerült megfigyelni, titanit viszont önálló fázisként is előfordul. Néhány mintában gyakoriak a blasztoporfíros aggregátumok, amelyek retromorf fázisokból (zoisit, epidot, fehér csillám, klorit, albit), valamint újonnan kristályosodott omfacit nematoblasztokból állnak. Ezen kívül megjelennek különféle Fe-ásványok (pirit, hematit), valamint apatit és érkítőltés formájában barit. Ritkaföldfém tartalmú fázisok közül egyedül allanit jelenik meg.

Teljes kőzet kémia

A főelem összetétel alapján D'Amico (2003) kilenc csoportot különített el a nagynyomású metaofiolitokon belül az ebből a nyersanyagból készített köeszközök részletes vizsgálata során: jadeitit, Fe-jadeitit, kevert jade, Fe-kevert jade, omfacitit, Fe-omfacitit, Mg-eklogit, intermedier eklogit és Fe-eklogit. A Prompt-Gamma Aktivációs Analitikai mérési eredmények alapján az összesen vizsgált 32 mintából 22 besorolható ezen kategóriák egyikébe, a maradék 10 db minta azonban nem, a retromorf fázisok jelentős aránya miatt.

Monviso dél

A Monvisoról összesen 14 db mintát elemeztünk PGAA-val, amelyek eredményei azt mutatták, hogy közöttük a különféle Na-piroxenit változatok dominálnak. Főelem összetételük alapján az eklogitok hiányoznak a minták közül, ami az irányított mintavételnek köszönhető. Összesen 6 db Fe-kevert jade összetételű, két Fe-jadeititet, két jadeititet, valamint egy-egy kevert jade és omfacitit összetételű kőzetet azonosítottunk. A D'Amico által definiált eklogit kategóriákba egyik minta sem sorolható be. A maradék kettő minta nem sorolható be egyik kategóriába sem, mivel az egyik a már fentebb említett zöldpala fáciesű ásványokból álló metabázit, a másik pedig egy kevert minta, amely két kőzet kontaktusáról származik.

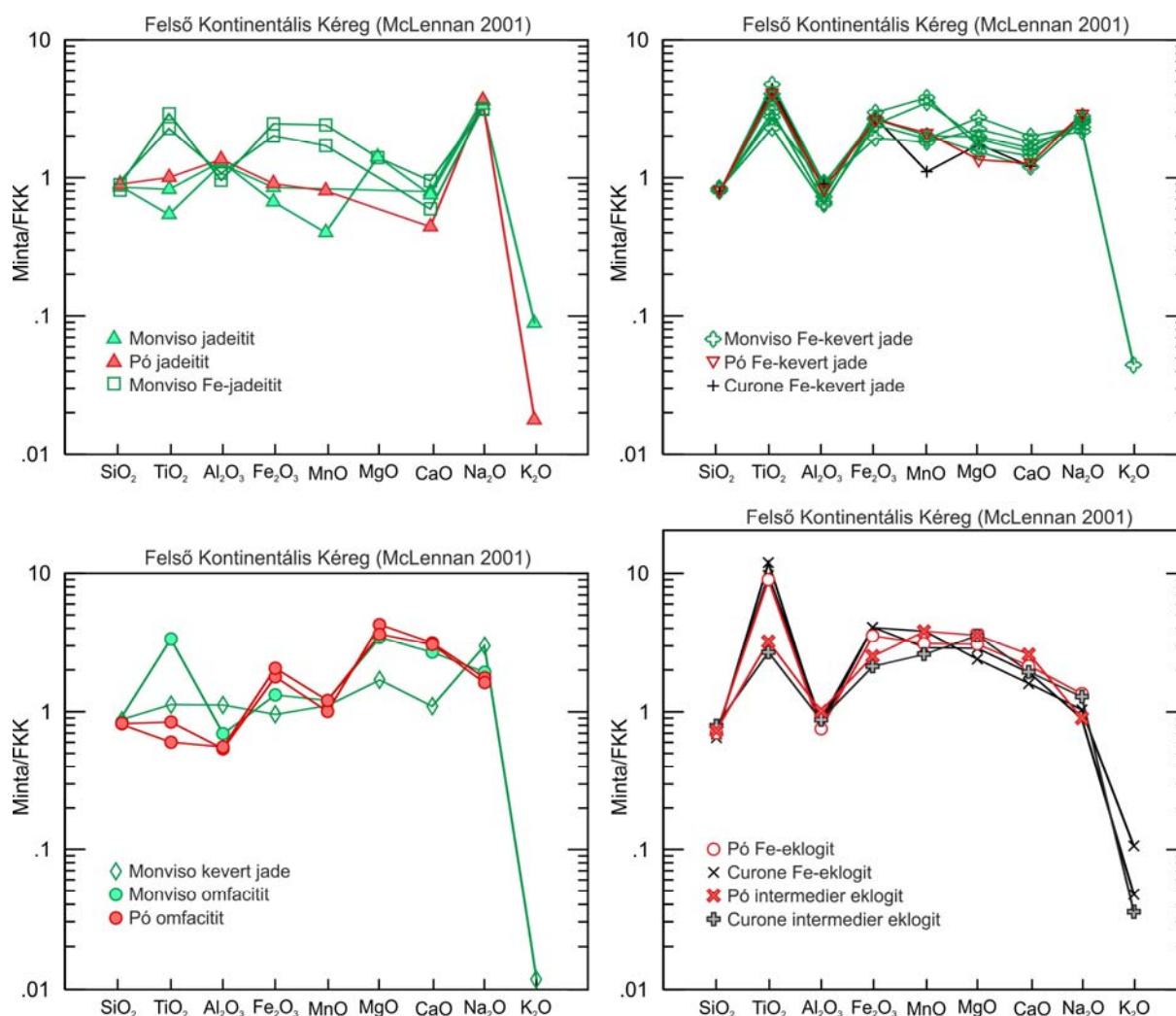
Pó

A Pó alluviumából származó minták közül 7 mintát vizsgáltunk PGAA-val, ezek közül mindössze egy minta volt, amely egyik D'Amico (2003) által definiált csoportba sem sorolható. Főelem összetételük alapján a többi hat db minta nagy diverzitást mutat, összesen öt csoportba sorolhatók: két omfacitit, valamint egy-egy jadeitit, Fe-kevert jade, intermedier eklogit és Fe-eklogit.

Curone

A Curone völgyéből származó minták, mint korábban említettük, erősebb retrográd hatást szenvedtek a másik két lelőhely mintáihoz viszonyítva, ennek megfelelően a PGAA-val vizsgált 11 mintából 7 db nem sorolható be a kilenc D'Amico által létrehozott kategória egyikébe sem. A maradék négy mintából egy minta képviseli a Na-piroxeniteket, amely Fe-kevert jade, míg a többi három mintából kettő bizonyult Fe-eklogitnak, egy pedig intermedier eklogitnak. Fontos kiemelni, hogy a Curone-völgyéből származó minták között egy jadeitit sincs. A főelem összetétel alapján kialakított csoportosítást az **1. táblázat** és a **6. ábra** szemlélteti.

Ez a fajta felosztás a potenciális forrásterület azonosításához viszonylag kevés információt nyújt, mivel láthatjuk, hogy egy területen több különböző kategóriába sorolható kőzet is megjelenik, valamint azonos kategóriába sorolható kőzetek több területen is előfordulnak.



6. ábra: A D'Amico et al. (2003) rendszerébe besorolható geológiai minták főelem összetétele a PGAA eredmények alapján a Kontinentális Felső Kéregre normálva (McLennan 2001)

6a: A jadeitit és Fe-jadeitit minták összetétele. **6b:** A Fe-kevert jade minták összetétele. **6c:** A kevert jade és az omfacitit minták összetétele. **6d:** A Fe-eklogit és az intermedier eklogit minták összetétele.

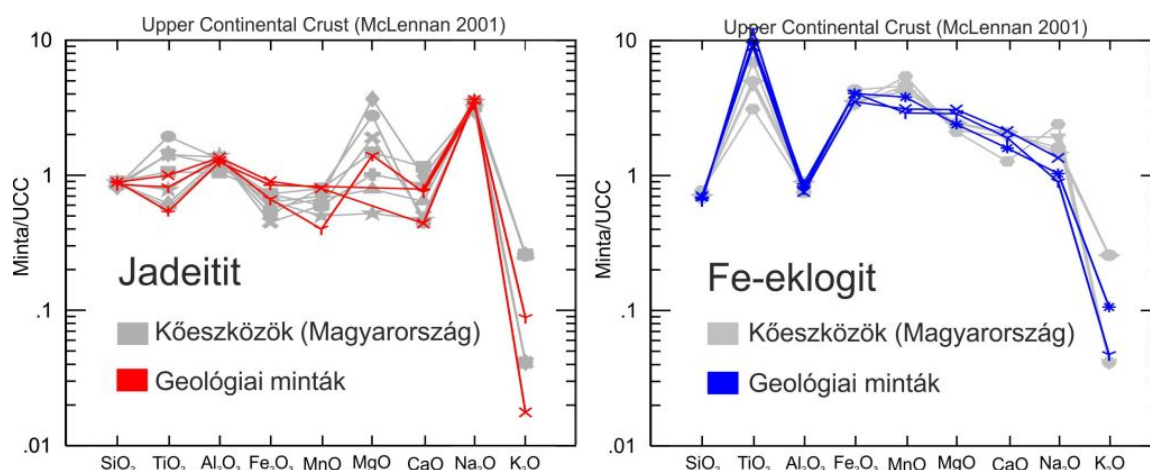
Fig. 6.: Major element compositions of geological specimens that can fit into D'Amico's chemical groups (D'Amico et al. 2003) based on PGAA, normalised to the Upper Continental Crust (McLennan 2001)

6a: Composition of jadeitite and Fe-jadeitite samples. **6b:** Composition of Fe-mixed jade samples. **6c:** Composition of mixed jade and omphacitite samples. **6d:** Composition of Fe-eclogite and Intermediate eclogite samples.

1. táblázat: Az egyes lelőhelyek mintáinak csoportosítása a PGAA eredmények alapján D'Amico et al. (2003) rendszerének megfelelően

Table 1.: The classification of the samples from each location based on PGAA results, according to the pattern of D'Amico et al. (2003)

	Monviso dél	Pó	Curone
Jadeitit	2 db	1 db	-
Fe-jadeitit	2 db	-	-
Kevert jade	1 db	-	-
Fe-kevert jade	6 db	1 db	1 db
Omfacitit	1 db	2 db	-
Fe-eklogit	-	1 db	2 db
Intermedier eklogit	-	1 db	1 db
Egyéb	2 db	1 db	7 db
Összesen	14 db	7 db	11 db



7. ábra: A jadeitit és a Fe-eklogit minták főelem összetétele a kontinentális felsőkéregre (UCC) normálva (McLennan 2001). Szürkével az azonos anyagú magyarországi kőeszközök összetétele a PGAA eredmények alapján.

Fig. 7.: Upper continental crust (UCC) normalised (McLennan 2001) bulk rock compositions of the jadeitite and the Fe-eklogite samples based on PGAA. Grey signs indicate the composition of the artefacts have found in Hungary.

Mindamellert a többi vizsgálati módszer eredményével együtt már értékes információt adhat a nagynyomású metaofiolitos nyersanyagok besorolásához. A módszer nagy előnye, hogy roncsolásmentes, ezért a kőeszközök is vizsgálhatók vele, ezzel megkönnyítve a kőeszköz és a nyersanyag összehasonlítását (7. ábra).

Diszkusszió

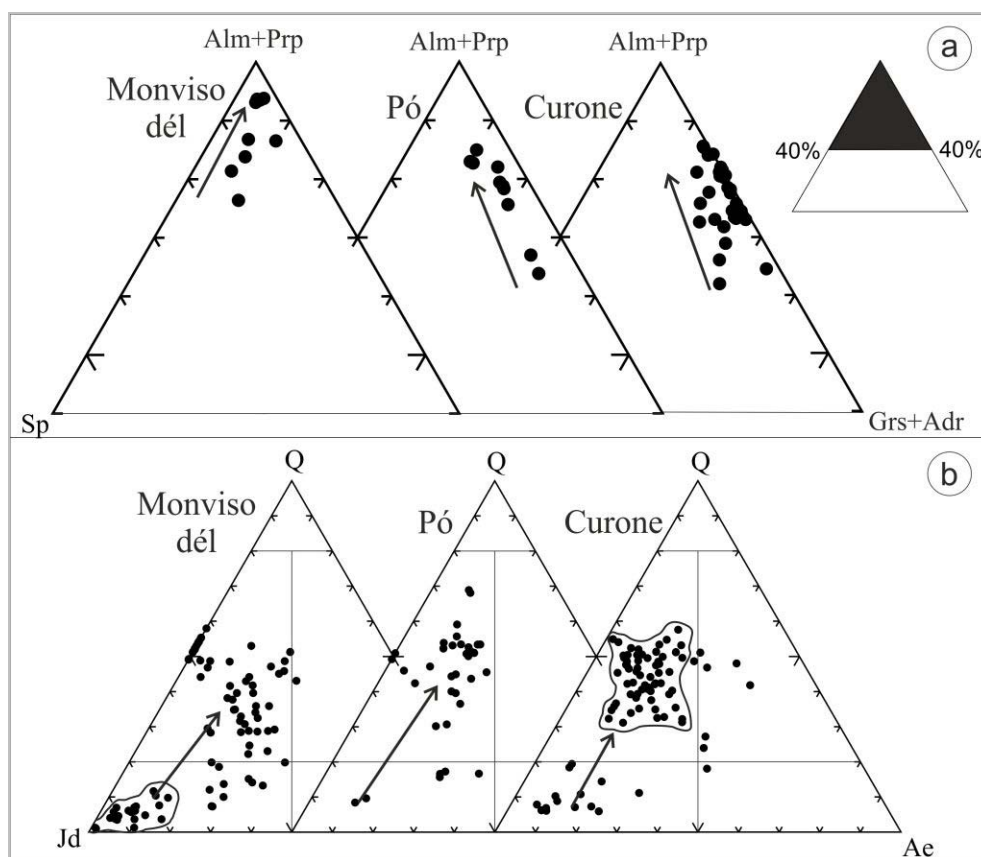
A potenciális forrásterületek együttes értékelése

Jelen munka célja, hogy a nagynyomású metaofiolit anyagú csiszolt kőeszközök nyersanyagának potenciális forrásterületei között szignifikáns közettani, geokémiai különbségeket tudjunk megállapítani annak érdekében, hogy a hasonló összetételű nyersanyagból készült régészeti leletek származási helyét lehatároljuk. Összesen három lelőhelyről vizsgáltunk mintákat: a Monvisótól közvetlenül délre eső területekről, a Pó folyó törmelékanyagából a folyó Nyugati-Alpokból való kilépéséhez közeli alluviális síkságból valamint a Curone folyó völgyéből. A mintavételezés a Monvison kifejezetten a finomszemcsés Na-piroxenitkre irányult, ezért ezen minták között felülreprezentáltak a gránátmentes kőzetek. Ezen oknál fogva a Na-piroxenit/gránáttartalmú kőzet arány az egyes lelőhelyekről nem informatív. A petrográfiai és geokémiai vizsgálatok segítségével az egyes lelőhelyek között egyértelmű különbségek állapíthatók meg. A minták zöme mindegyik lelőhelyről a finomszemcsés Na-piroxenit, illetve eklogitok közé sorolható, durvaszemcsés kőzetek elvétele jelennek meg. A fő kőzetalkotó ásványok megjelenésében is kimutatható némi különbség, a

Monvisora a relikjt jadeit magvú piroxének a jellemzők, míg a másik két területen leggyakrabban omfacitos összetételűek a relikjt, korrodált és deformált piroxének (8b ábra). A gránátok megjelenési formája karakterisztikus az egyes területeket illetően, továbbá összetételüket tekintve is kisebb eltérések mutathatók ki (8a ábra).

A Monviso déli oldaláról gyűjtött minták gránátjai zárványgazdag maggal és idioblasztos peremmel rendelkeznek, valamint jelentős Mn-tartalmúak, amely a magtól a perem felé folyamatos csökkenést mutat. Ezzel szemben a Pó lelőhelyről származó mintákban a gránátokra az atoll kifejlődés jellemző, valamint összetételüket tekintve a kisebb Mn-tartalom: a kémiai zónásság leginkább a Ca-, és a Mg-tartalom változásában nyilvánul meg. A Curone-völgyi mintákban leggyakrabban deformált, erősen átalakult gránátok jellemzők, melyek kémiai összetételüket tekintve a Pó-völgyi mintákra hasonlítanak inkább.

A területek között a legszembevetőbb különbség mégis a Ti-tartalmú fázisokban mutatkozik. A Monvisoról származó minták leggyakrabban és legnagyobb mennyiségben ilmenit tartalmaznak, ritkábban rutilt, ezzel szemben a másik két lelőhely mintáiban a fő Ti-hordozó egyértelműen a rutil, az ilmenit csak elvétve jelenik meg. Az elmúlt közel másfél évtizedben több Na-piroxenit anyagú kőzetblokkot találtak a Monviso területén, amelyekről részletes közettani és geokémiai leírás is készült (Compagnoni et al. 2007, Compagnoni et al. 2012).



8. ábra: A fő kőzetalkotó ásványok kémiai összetétele a SEM-EDX mérések alapján

8a: A gránátok összetétele az Alm+Prp – Sp – Grs+Adr diagramon ábrázolva. A nyilak az összetételbeli változást mutatják a magtól a perem felé. **8b:** A különböző területekről származó minták piroxénjeinek összetétele a Q – Jd – Ae diagramon ábrázolva, kiemelve a monvisoi mintákban megjelenő nagymennyiségű jadeites összetételű és a curone-völgyi mintákban megjelenő nagymennyiségű omfacit összetételű szemcsék. A nyilak az összetételbeli változást mutatják a magtól a perem felé.

Fig. 8.: Composition of the main rock forming minerals based on SEM-EDX measurements

8a.: Garnet compositions plotted on the Alm+Py – Sp – Grs+Adr ternary diagram. Arrows show the compositional change from core to rim. **8b:** Pyroxene compositions of the samples from each location plotted on the Q – Jd – Ae ternary diagram, highlighted the great amount of jadeitic pyroxenes from the Monviso samples and the great amount of omphacitic pyroxenes from the Curone samples. Arrows show the compositional change from core to rim.

Ezen leírások és a mi vizsgálati eredményeink jó átfedéseket mutatnak, azonban Compagnoni és munkatársai (2007) egy nagyméretű jadeitit blokk vizsgálata során olyan részt különítettek el a kőzetben, amelyben a rutil a domináns Ti-ásvány, mennyisége akár a 10%-ot is meghaladhatja, ilmenit viszont csak nagyméretű gránát és piroxén poikiloblasztokban jelenik meg zárvány formájában. A JADE program (Pétrequin et al. 2012) keretében több mint 300 mintát vizsgáltak meg a Monviso és a Voltri területéről, melynek célja szintén a lelőhelyek közti különbségek megállapítása volt. A Ti-fázisok megjelenése ebben a munkában is fontos szerepet kap, a legnagyobb mennyiségben rutilt írtak le a kőzetekből, azonban jelentős mennyiségben jelenik meg ilmenit,

elsősorban a monvisoi mintákban, leggyakrabban a Fe-kevert jade és Fe-omfacit típusú kőzetekben (D'Amico 2012). Az általunk vizsgált minták, amelyek a Monvisoról származnak zömében a Fe-kevert jade kategóriába sorolhatók és D'Amico munkájával összhangban jelentős arányban jelenik meg bennük ilmenit.

Mind a három vizsgált terület mintáira jellemző, hogy a fő Ti-hordozó (rutil vagy ilmenit) titanitá alakult át, azonban az átalakulás mértéke eltérő az egyes területeken. A monvisoi minták szinte kivétel nélkül üdék, gyenge retrográd hatás érte őket, ennek megfelelően a titanit is csak vékony szegély formájában jelenik meg ilmenit körül.

2. táblázat: Az egyes lelőhelyek fő petrográfiai sajátosságai; rövidítés: Jd – jadeit; Omp - omfacit

Table 2.: The main petrographic characters of the possible source areas; abbreviations: Jd – jadeite; Omp – omphacite

	Monviso dél	Pó	Curone
Leggyakoribb közettípus	Na-piroxenit	Eklogit, Na-piroxenit	Eklogit
Jellemző szemcseméret	Finomszemcsés	Finomszemcsés és durvaszemcsés is	Finomszemcsés
Irányítottág	Nem jellemző	Gyakori	Domináns
Piroxén	Gyakori relikit Jd magok	Változatos összetétel, gyakori korrodált és deformált Omp szemcsék	Gyakori korrodált és deformált Omp szemcsék
Gránát	Nagyméretű, zárványos mag, idioblasztos perem	Kisméretű, gyakori atoll kifejlődés	Közepes méretű, zónás
Akcesszóriák	Ilmenit, cirkon, allanit, rutil	Rutil, cirkon	Rutil
Fe-hordozó	Ilmenit	Pirit, hematit, kalkopirit	Pirit, hematit, kalkopirit
Ti-hordozó	Ilmenit, (rutil)	Rutil	Rutil, (titanit)
RFF-hordozó	Allanit, monacit, xenotim	Allanit	Nem jellemző
Retrográd átalakulás	Gyenge	Erősebb	Erős
Retromorf ásványok	Klorit, zoisit/klinozoisit	Zoisit/klinozoisit, plagioklász, epidot, paragonit, glaukofán, klorit	Zoisit/klinozoisit, plagioklász, epidot, paragonit, glaukofán, aktinolit, klorit

A Pó-völgyéből származó mintákban ugyanez a jelenség megfigyelhető, azonban nem ilmenit, hanem rutil szegélyén, míg a Curone-völgyéből származó minták jóval erősebb átalakulást szenvedtek a retrográd szakaszban, ezért a rutil szemcsék/sávok szegélyén a titanit koszorú vastagsága akár az 50 μm -t is meghaladja, esetenként pedig a titanit önálló fázisként is megjelenik. Az erősebb retrográd hatás – amely kisebb mértékben a Pó-völgyi, nagyobb mértékben a Curone-völgyi mintákra jellemző – nem csak a titanit mennyiségében, hanem egyéb retromorf fázisok jelenlétében is megnyilvánul. A monvisoi mintákban megjelenő retromorf fázisok a klorit és zoisit, ezzel szemben a másik két lelőhely mintáiban gyakran jelennek meg blasztoporfiros aggregátumok, amelyek kloritból, zoisitból, epidotból, fehér csillámból (paragonit és fengit), valamint albitból állnak. Ezen kívül kékamfibol (glaukofán) önálló fázisként gyakori mind a Pó-völgyi mind pedig a Curone-völgyi mintákban, utóbbiakban aktinolit is előfordul. További jelentős különbségek mutathatók ki a ritkaföldfém-tartalmú fázisok esetében is; a monvisoi mintákban gyakori az allanit jelenléte, valamint xenotim és monacit is előfordul, míg a másik két lelőhely mintáiban csak allanit jelenik meg, és azokban is ritka. A curone-völgyi minták közül mindössze egyben sikerült megfigyelni allanit jelenlétét. Az egyes lelőhelyek összehasonlító petrográfiai jellemzőit mutatja be a **2. táblázat**.

A geológiai minták és a kőeszközök összehasonlítása

A magyarországi nagynyomású metaofiolit anyagú csiszolt kőeszközökről részletes szöveti, valamint ásvány-, és teljes kőzet kémiai vizsgálatok történtek az elmúlt években (Szakmány et al. 2011, Szakmány et al. 2013, Bendő et al. 2014, Bendő et al. 2015, Bendő et al. in prep). Ezen kőeszközök összesen nyolc csoportba sorolhatók be főleg összetételük alapján: jadeitit, Fe-jadeitit, kevert jade, Fe-kevert jade, omfacitit, Fe-eklogit, Mg-eklogit és glaukofánpala. Mivel mind a kőeszközök, mind pedig a geológiai minták azonos módszerekkel, azonos paraméterekkel kerültek vizsgálatra, ezért a kapott eredmények jól összehasonlíthatóak. Az azonos geokémiai csoportba sorolt geológiai minták és kőbalták nagyon hasonló főleg összetétele mellett egyes csoportokban jelentős hasonlóság mutatható ki mind a szöveti jellegek, mind pedig az akcesszóriák terén. A magyarországi jadeitit kőeszközök szöveti megjelenésére jellemzőek a relikit, szételegyedett jadeit magvú és omfacitos peremű piroxének (Bendő et al. 2015), amely a monvisoi geológiai mintákra is jellemző, továbbá az akcesszóriák közül a leggyakrabban cirkon, allanit, xenotim, monacit, ilmenit, TiO_2 -változat (rutil) jelenik meg a geológiai és a régészeti mintákban egyaránt. Jelentős hasonlóságok mutathatók ki egyéb kémiai csoportokban is - pl.: Fe-eklogit kőeszközök és a curone-völgyi Fe-eklogitok - azonban a minták kis száma miatt további következtetések levonásához újabb terepi

minták gyűjtésére és részletes vizsgálatára van szükség.

Összefoglalás

Munkánk során összesen 60 db mintát vizsgáltunk meg a Nyugati-Alpok és az Észak-Appenninek és környezete elsődleges és másodlagos nagynyomású metaofiolit lelőhelyeiről annak érdekében, hogy szignifikáns ásvány-közetani és/vagy geokémiai különbségeket állapíthassunk meg köztük, ezzel segítve a nagynyomású metaofiolit anyagú csiszolt kőeszközök nyersanyaga forrásterületének azonosítását. Vizsgálataink alapján levonható az a következtetés, hogy az egyes lelőhelyek nyersanyagai közt a legnagyobb különbséget az akcesszóriák tekintetében találjuk, főként a Ti-ásványok és a RFF-ásványok közt. Azon kőzetekben, melyek gránátot tartalmaznak, a gránát összetétele és megjelenése jellemző az egyes lelőhelyekre. A monvisoi mintákban jelentős spessartin komponens arány mutatható ki, amely a magtól a perem felé folyamatosan csökken, a másik két lelőhely mintáiban pedig a pirop komponens arány növekedése figyelhető meg a grosszulár komponens rovására a magtól a perem felé. Továbbá a Na-piroxének megjelenésében, kémiai összetételében is kimutatható némi különbség. A Monvisoról származó mintákban a relik, szételegyedett jadeit magvú piroxén szemcsék a leggyakoribbak, míg a Pó és Curone folyók völgyéből származó mintákban a korrodált, deformált relik omfacit szemcsék gyakoriak. Összehasonlítva a magyarországi csiszolt kőeszközök vizsgálati eredményeivel elmondható, hogy a Monviso déli oldaláról származó jadeit minták és a magyarországi jadeit kőeszközök között jelentős ásványkémiai és szöveti hasonlóság van. Mind a monoklin piroxének kémiai összetételében, megjelenésében (szételegyedett jadeit mag, omfacitos perem) mind pedig az akcesszóriás ásványok tekintetében (ilmenit, cirkon, rutil, RFF ásványok) jelentős hasonlóság mutatható ki. Továbbá az eklogit kőeszközökhöz a Curone-völgyéből származó eklogitok hasonlóan leginkább. Ezen megállapítások alátámasztani látszanak Pétrequin elméletét mely szerint a nagyméretű presztízis balták anyagául szolgáló Na-piroxénit a Monvisoról, nagy blokkokból származik (Pétrequin & Pétrequin 1993), azonban a mindennapi használat során alkalmazott kis-, és közepes méretű – elsősorban eklogit, kisebb mértékben Na-piroxénit nyersanyagú – munkaeszközöket alluviális hordalékok kavicsaiból, hömpölyeiből készíthették (D'Amico & Starnini 2012). Ahhoz azonban, hogy egyértelmű következtetéseket vonhassunk le, további potenciális forrásterületek közeteinek vizsgálata szükséges, pl.: a Monviso déli oldalán lefutó patakok medrében megjelenő nagy blokkokat, tömböket ez idáig nem vizsgálták részletesen,

amelyek között a Monvisoról lepusztult és áthalmozott kőzetanyag jelentős részt képvisel (Roberto Compagnoni szóbeli tájékoztatása, illetve előzetes terepi tapasztalataink alapján).

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük Józsa Sándornak a vékonycsiszolatok elkészítésében nyújtott segítséget, Bendő Zsoltnak és Oláh Istvánnak a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok során nyújtott segítséget, valamint a PGAA mérésekhez nyújtott anyagi támogatást a K 100385-ös számú NKFIH (OTKA) projektnek.

Irodalomjegyzék:

BENDŐ Zs., OLÁH I., PÉTERDI B., SZAKMÁNY Gy. & HORVÁTH E. (2013): Csiszolt kőeszközök és ékkövek roncsolásmentes SEM-EDX vizsgálata: lehetőségek és korlátok / Non-destructive SEM-EDX analytical method for polished stone tools and gems: opportunities and limitations. *Archeometriai Műhely / Archaeometry Workshop X/1* 51–66.

BENDŐ, Zs., SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs., MARÓTI, B., SZILÁGYI, Sz., SZILÁGYI, V. & T. BIRÓ, K. (2014): Results of non-destructive SEM-EDX and PGAA analyses of jade and eclogite polished stone tools in Hungary. *Archeometriai Műhely/Archaeometry Workshop, XI/4* 187–205.

BENDŐ, Zs., SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs., SZILÁGYI, Sz., MILE, V., HARSÁNYI, I., T. BIRÓ, K., OSZTÁS, A. & OLÁH, I. (2015): Nagynyomású metaofiolit nyersanyagú csiszolt kőeszközök magyarországi régészeti leletanyagokban. Meddig tart a takarónk? *A magmaképződéstől a regionális litoszféra formáló folyamatokig. 6. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés kiadványa*, Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Közettani Tanszék 36–39.

BENDŐ, Zs., SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs., T. BIRÓ, K., OLÁH, I., OSZTÁS, A., HARSÁNYI, I. & SZILÁGYI, V. (in prep.): High pressure metaophiolite polished stone implements from Hungary: Na-pyroxenites, eclogites and related rocks. *Archaeological and Anthropological Sciences*

CAPPONI, G., CRISPINI, L., FEDERICO, L., PIAZZA, M. & FABBRI, B. (2009): Late Alpine tectonics in the Ligurian Alps: constraints from the Tertiary Piedmont Basin conglomerates. *Geological Journal* **44** 211–224.

COMPAGNONI, R. (2003): HP metamorphic belt of the western Alps. *Episodes* **26/3** 200–204.

COMPAGNONI, R., ROLFO, F., MANAVELLA, F. & SALUSSO, F. (2007): Jadeitite in the

Monviso meta-ophiolite, Piemonte Zone, Italian western Alps. *Periodico di Mineralogia* **76** 79–89.

COMPAGNONI, R., CASTELLI, D. & ROLFO, F. (2012): Jadeite from the Monviso meta-ophiolite, western Alps: Occurrence and genesis. *European Journal of Mineralogy* **24** 333–343.

D'AMICO, C., STARNINI, E., GASPAROTTO, G. & GHEDINI, M. (2003): Eclogites, jades and other HP-metaophiolites employed for prehistoric polished stone implements in Italy and Europe, *Periodico di Mineralogia* **73/3** 17–42.

D'AMICO, C. (2005): Neolithic 'greenstone' axe blades from Northwestern Italy across Europe: a first petrographic comparison. *Archaeometry* **47** 235–252.

D'AMICO, C. (2012): Jades and other greenstones from the Western Alps. A petrographic study of the geological sampling Jade. In: PÉTREQUIN, P., CASSEN, S., ERRERA, M., KLASSEN, L., SHERIDAN, A. & PÉTREQUIN, A. M. eds., *Jade. Grandes haches alpines du Néolithique européen. Ve et IVe millénaires av. J.-C.*, Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Ain, Gray Chapitre 7, 420–439.

D'AMICO, C., NENZIONI, G., FABRIS, S., RONCHI, S. & LENZI, F. (2012): Neolithic tools in S. Lazzaro di Savena (Bologna): a petro-archaeometric study. *Rendiconti Lincei*, 18 p.

D'AMICO, C. & STARNINI, E. (2012): Circulation and provenance of the Neolithic „greenstone” in Italy. In: PÉTREQUIN, P., CASSEN, S., ERRERA, M., KLASSEN, L., SHERIDAN, A. & PÉTREQUIN, A.M. eds., *Jade. Grandes haches alpines du Néolithique européen. Ve et IVe millénaires av. J.-C.*, Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Ain, Gray Chapitre 12, 728–743.

D'AMOUR, A. (1863): Notice et analyse sur le jade vert. Réunion de cette matière minérale à la famille des wernérites. *Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, Institut Impérial de France, Académie des Sciences 861–865.

ERRERA, M., PÉTREQUIN, P., PÉTREQUIN, A. M. (2008): De l'image à l'objet: détermination de la provenance d'artefacts archéologiques par spectroradiométrie en réflectance diffuse. *Revue française de photogrammétrie et de télédétection* **193** 27–38.

FRIEDEL, O. (2008): Az Ebenhöch csiszolt kőeszköz gyűjtemény archeometriai vizsgálatának eredményei. *Közöletlen diplomamunka*, ELTE FFI, Közzettan-Geokémiai Tanszék, Budapest 96 p.

FRIEDEL, O., BRADÁK, B., SZAKMÁNY, G., SZILÁGYI, V., & T. BIRÓ, K. (2008):

Összefoglaló az Ebenhöch csiszolt kőeszköz gyűjtemény archeometriai vizsgálatának eredményeiről. *Archeometriai Műhely / Archaeometry Workshop V/3* 1–12.

GIUSTETTO, R. & COMPAGNONI, R. (2014): Petrographic classification of unusual high-pressure metamorphic rocks of archaeometric interest. *European Journal of Mineralogy* **26** 635–642.

MATSUMOTO, K. & HIRAJIMA, T. (2005): The coexistence of jadeite and omphacite in an eclogite-facies metaquartz diorite from the southern Sesia Zone, Western Alps, Italy. *Journal of Mineralogical and Petrological Science* **100** 70–84.

MCLENNAN, S. M. (2001): Relationship between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **2/4** 1–24.

PAIN, C. & VIELZUF, D. (1988): Les granulites de haute-pression d'Europe moyenne temoins d'une subduction eo-hercynienne. Implications sur l'origine des groupes leptyno-amphiboliques. *Bulletin de la Societe Geologique de France* **4** 13–20

PETREQUIN, P. & PETREQUIN, A.M. (1993): Ecologie d'un outil : la hache de pierre en Irian Jaya. *Monographie du CRA* **12** Paris, CNRS Editions (réédition complétée, 1999). 461 p.

PÉTREQUIN, P., CASSEN, S., ERRERA, M., KLASSEN, L., SHERIDAN, A. & PÉTREQUIN, A. M. eds. (2012): *Jade. Grandes haches alpines du Néolithique européen. Ve et IVe millénaires av. J.-C.* Besançon, Presses Universitaires de Franche-Comté et Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Ain, Vol. **1** 1537 p.

PÉTREQUIN, P., CASSEN, S., ERRERA, M., KLASSEN, L., PÉTREQUIN, A. M. AND SHERIDAN, J A (2013): The value of things: the production and circulation of Alpine jade axes during the 5th–4th millennia in a European perspective. In: KERIG, T. & ZIMMERMANN, A. eds., *Economic Archaeology: from structure to performance in European archaeology*. University Research on Prehistoric Archaeology (237). Habelt, Bonn, 65–82.

RÉVAY, Zs. (2009): Determining elemental composition using Prompt Gamma Activation Analysis. *Analytical Chemistry* **81** ACS Publications, Washington, 6851–6859.

SZAKMÁNY, Gy., KASZTOVSZKY, Zs., SZILÁGYI, V., STARNINI, E., FRIEDEL, O. & BIRÓ, K. T. (2011): Discrimination of prehistoric polished stone tools from Hungary with nondestructive chemical Prompt Gamma Activation Analyses (PGAA). *European Journal of Mineralogy* **23** 883–893.

SZAKMÁNY Gy., T. BIRÓ K., KRISTÁLY F., BENDŐ Zs., KASZTOVSZKY Zs. & ZAJZON N. (2013): Távolsági import csiszolt kőeszközök nagynyomású metamorfitokból Magyarországon / Long distance import of polished stone artefacts: HP metamorphites in Hungary, *Archeometriai Műhely/Archaeometry Workshop*, **X/1** 83–92.

SZENTMIKLÓSI, L., BELGYA, T., RÉVAY, Zs. & KIS, Z. (2010): Upgrade of the prompt gamma activation analysis and the neutron-induced prompt gamma spectroscopy facilities at the Budapest research reactor. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **286** 501–505

T. BIRÓ, K., PÉTREQUIN, P., ERRERA, M., PŘICHYSTAL, A., TRNKA, G., ZALAI-GAÁL,

I., OSZTÁS, A. (2017): Des Alpes a l'Europe centrale (Autriche, République Tchèque, Slovaquie et Hongrie) (From the Alps to central Europe (Austria, the Czech Republic, Slovakia and Hungary)). In PÉTREQUIN, P., GAUTHIER, E., PÉTREQUIN, A.-M. eds. *JADE. Objets-signes et interprétations sociales des jades alpins dans l'Europe néolithique*, Tome 3. 1. vyd. Besançon: Presses universitaires de Franche-Comté, Les Cahiers de la MSHE Ledoux no. 27 431–466.

TSUJIMORI, T. & HARLOW, G.E. (2012): Petrogenetic relations between jadeitite and associated high-pressure and low-temperature metamorphic rocks in worldwide jadeitite localities: A review. *European Journal of Mineralogy* **24** 371–390.