# 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 BENDŐ ZSOLT<sup>1</sup>, OLÁH ISTVÁN<sup>2</sup>, PÉTERDI BÁLINT<sup>3</sup>, SZAKMÁNY GYÖRGY<sup>1</sup>, HORVÁTH ESZTER<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Kőzettan-Geokémiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c

<sup>2</sup>Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Örökségvédelmi Központ, 1113 Budapest, Daróci út 1-3 <sup>3</sup>Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14

<sup>4</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Régészettudományi Intézet, Archeometriai és Régészeti Módszertani Tanszék, 1088 Budapest, Múzeum krt. 4/B

E-mail: bendozs@caesar.elte.hu

#### Abstract

Recently we have developed a new method in the SEM laboratory of Department of Petrology and Geochemistry; Eötvös Loránd University, in order to perform in situ mineral chemical and textural examination of artifacts. This method called as "original surface investigation method" allows to complete non-destructive in situ textural and mineral chemical studies on the archaeological findings. Our SEM is equipped with quite large sample chamber, in which samples up to 300x200x55 mm can be analyzed. This special investigation needs special sample preparation process. The main steps of this process: cleaning, wrapping the sample into aluminum foil, performing an appropriate surface for investigation, and at last carbon coating. After this process we can place the artifacts into the sample chamber of the scanning electron microscope, take photos and achieve EDX measurements.

The aim of this work was a comparative chemical and textural analysis which was carried out on thin sections and original (raw) surfaces of the same samples. We chose easily recognizable and chemically durable mineral phases for the comparative chemical analyses. Mounted gemstones can be well studied too by using this sample preparation method, without doing any harm to them or modifying their state. According to our results this method is a useful tool to perform non-destructive archaeometrical investigations in most cases. It can provide adequate chemical and visual information about several rocks types and gemstones. In some cases this method can provide only partial results, in these cases other – and maybe destructive – methods needed for precise results.

#### Kivonat

A közelmúltban az ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszék Pásztázó Elektronmikroszkóp (SEM) laboratóriumában kialakítottunk, és rutinszerűvé tettünk egy eljárást, amit "eredeti felszín vizsgálati módszer"-nek neveztünk el. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy a régészeti leleteken teljesen roncsolásmentes in situ ásványkémiai és szöveti vizsgálatokat végezzünk el. A laborban rendelkezésünkre áll egy nagyméretű mintakamrával felszerelt SEM, melyben meglehetősen nagy, akár 300x200x55 mm-es mintákat is megvizsgálhatunk. A minták egy speciális mintaelőkészítési eljáráson mennek keresztül, melynek főbb lépései a tisztítás, a felület beburkolása alufóliával, a vizsgálandó felület kialakítása, legvégül pedig az előző lépések során kialakított felület vezetővé tétele vékony szénréteg rágőzölésével, mely a vizsgálat után nyomtalanul eltávolítható. Ezek után kerülnek be a leletek a pásztázó elektronmikroszkóp mintakamrájába, ahol a korábban előkészített területről készíthetünk fotókat és méréseket.

Az itt bemutatott minták töredékesek voltak, ami lehetővé tette, hogy roncsolásmentes vizsgálataink eredményeit a kőeszközökből készített vékonycsiszolatokon elvégzett "hagyományos" SEM-EDX vizsgálatok eredményeivel hasonlítsuk össze, ezzel tesztelve módszerünket. A módszert nem csak kőeszközökön, hanem ékszerekbe foglalt ékköveken is sikeresen kipróbáltuk. Eredményeink azt mutatják, hogy az általunk alkalmazott teljesen roncsolásmentes módszer az archeometriai vizsgálatok során az esetek többségében jól használható, megfelelő képi és kémiai információt ad több kőzettípus, valamint az ékkövek vizsgálata esetén. Munkánk során kiderült, hogy néhány kőzettípus esetén az eredeti felszín vizsgálati módszer csak részeredményeket szolgáltat, ezekben az esetekben pontosabb eredményeket csak további – roncsolásos – vizsgálatokkal kaphatunk.

KEYWORDS: NON-DESTRUCTIVE, SEM, EDX, STONE TOOLS, JEWEL, GEMSTONE

KULCSSZAVAK: RONCSOLÁSMENTES, SEM, EDX, KŐESZKÖZ, ÉKSZER, ÉKKŐ



**1. ábra:** A bemutatott tárgyak régészeti lelőhelyei **Fig. 1.:** Archeological sites of the presented samples

Térkép forrása / Map source: http://www.map.hu/galeria/orig/1258\_a\_karpatterseg\_hegy-\_es\_vizrajza.jpg

#### Bevezetés

Régészeti leletanyagokban a csiszolt kőeszközök között gyakran találhatunk archeológiai szempontból nagyon értékes, igen jól kidolgozott, látványos, ép, szépen polírozott példányokat. Ezeknél a leleteknél szóba sem jöhet a kőzettanban használatos legalapvetőbb vizsgálati módszer, a vékonycsiszolatos petrográfia, annak roncsolásos volta miatt, holott a megfelelő ásványkémiai és szöveti információk nélkül még a kőzet típusa sem határozható meg teljes biztonsággal. Ezek a leletek kizárólag roncsolásmentes módszerekkel vizsgálhatók (pl. Raman-spektroszkópia<sup>i</sup>, PIXE<sup>ii</sup>), de ezen módszerek egyike sem képes arra, hogy megadja azt a szöveti és ásványkémiai információt, amit egy vékonycsiszolat rutinszerű fénymikroszkópi petrográfiai, vagy pásztázó elektronmikroszkópi és/vagv elektronmikroszondás vizsgálatával megkaphatunk. Ugyanakkor ezek a vizsgálatok tovább növelnék a leletek tudományos értékét, mivel hozzájárulnak a vizsgált tárgyak ásványos összetételének és ezáltal nyersanyagának, valamint származási helyének pontosabb meghatározásához. helvben előforduló nyersanyagforrások А meghatározása is rendkívül lényeges, de a távoli területekről idekerült tárgyak jelentősége még nagyobb, mert lehetővé teszi a kereskedelmi kapcsolatok rekonstruálását az adott korban. A környezetszimuláló elektron-mikroszkópok (E-SEM) segítségével lehetséges nem vezető mintákat gőzölés nélkül vizsgálni, de ezeknek is megvannak a méretbeli és technikai korlátaik. Sok esetben túl kicsi a mintakamra, de ha a mérete mégis megfelelő, az elektronszóródás miatt az elektronnyaláb nem egy kisméretű (pontszerű) foltban fókuszálódik a minta felületén, hanem egy nagyobb területet fed le, ezért a mérések nem lesznek megbízhatóak. (Részletesebb leírás az elektronmikroszkópiáról Szakáll (2011) digitálisan elérhető tankönyvében található.)

### Régészeti háttér

A dolgozatban ismertetett módszer segítségével négy régészeti lelőhelyről előkerült tárgyak vizsgálati eredményeit mutatjuk be (**1. ábra**). A vizsgálatok célja minden esetben az volt, hogy a kőzettani és geokémiai jellegek alapján a lehető legpontosabban azonosítsuk a kőeszközök és ékkövek anyagát, és ezáltal megtaláljuk nyersanyaguk legvalószínűbb forrását.

#### Diósviszló (Baranya megye)

A diósviszlói leletek részben a Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központja (MNM-NÖK) által 2010-ben végzett Diósviszló HT-104 jelű megelőző feltárásból származnak, részben egy magánszemély adományozta őket a Múzeumnak. Ennek a leletanyagnak a részletes leírása megtalálható ugyanebben a számban (Oláh et al. 2013), ezért részletes tárgyalásától itt eltekintünk.

#### Veszprém-Kádárta (Veszprém megye)

Feltételezhetően a Lengyel kultúrába sorolható be az a kilenc félkész, bazalt anyagú kőeszköz, mely a Veszprémhez tartozó Kádárta területén, a Gelemér – Ráchalála nevű lelőhelyen, két főút kereszteződésének építéséhez kapcsolódó megelőző feltárás során került elő (Antoni, 2012, Oláh et al 2012a).

A régészeti feltárások során a fentebb említett területen több, időben egymást követő kultúra nyomai jelentkeztek, ezek alapján a terület kb. i.e. 5000 óta folyamatosan lakott. Az általunk vizsgált kőeszközök lelőhelye a 8. sz. főút északi oldalán található sekély gödör volt, melybe – valószínűleg egy tarisznyában – egyszerűen bedobták a félkész kőeszközöket. A kőeszközök megmunkálási foka különböző, vannak közöttük alig megmunkált darabok, amelyeknél csak egy előzetes formát alakítottak ki, de van egy szinte teljesen kész darab is, amelynél csak a nyéllyuk kialakítása maradt el (Antoni, 2012).

#### Balatonőszöd (Somogy megye)

A balatonőszödi Temetői dűlő a legnagyobb és leghosszabb ideig lakott terület a Magyarországon feltárt Bádeni kultúrához tartozó területek közül. Ezen a lelőhelyen a Balaton-Lasinja kultúra és a Boleraz kultúra nyomai is megtalálhatók. (Péterdi, 2011, Horváth T. & Péterdi 2012)

Az ásatás során összesen több mint 500 kőzet anyagú lelet került elő. Ezek főleg őrlőkövek és kőbalták. Felhasználási módjuk szerint anyagukban is eltérnek, a kőbalták többsége (90%-a) bazalt, míg az őrlőkövek nagy része (62%-a) homokkő (Péterdi, 2011). 1. táblázat: A kőeszközök lelőhelye, típusa, és a rajtuk elvégzett vizsgálatok. Az összes mintát megvizsgáltuk sztereomikroszkóppal és az eredeti felszín vizsgálati módszerrel, így ezek külön nem szerepelnek a táblázatban. Rövidítések: VCS: vékonycsiszolat SEM-EDX vizsgálat, ELTE KGT AMRAY 1830; MS: mágneses szuszceptibilitás, ELTE KGT, Kappameter KT-5; PGAA: prompt gamma neutronaktivációs analízis, KFKI EK; EMPA: vékonycsiszolat mikroszondás vizsgálata, JEOL Superprobe 733, MTA Földtani és Geokémiai Intézet

**Table 1.:** List of the samples with archeological sites, type of artifacts and the used archeological investigation methods. All of the samples were investigated by stereomicroscope and the original surface method, therefore this methods aren't on the list. Abbreviations: VCS: SEM-EDX examinations on thin section, ELTE AMRAY 1830; MS: magnetic susceptibility, ELTE Kappameter KT-5; PGAA: prompt gamma activation analysis KFKI; EMPA: thin section EMPA examination, JEOL Superprobe 733, MTA.

	lelőhely	típus	elvégzett vizsgálatok			
mintaszám			VCS	MS	PGAA	EMPA
Dv-349	Diósviszló	kaptafa alakú balta	+	+	-	-
Dv-346	Diósviszló	fejsze	+	+	-	-
Dv-347	Diósviszló	nyéllyukas balta	+	+	-	-
Dv-zz	Diósviszló	lapos vésőbalta	+	+	-	-
Dv-q	Diósviszló	félkész lapos vésőbalta	+	+	-	-
Vpk-1004	Veszprém-Kádárta	félkész balta	+	+	+	-
Bot-X5	Balatonőszöd	lapos vésőbalta	+	+	+	+

#### Gáva (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

A XX. század elején, egészen pontosan 1910-ben, egy különleges leletegyüttes került elő Gáván (ma Gávavencsellő). A szokatlanul nagyméretű fibulák, a jellegzetesen díszített csat, a nyakláncok, valamint a piperekészlet valószínűleg egy arisztokrata származású gepida nő sírmellékletei lehettek. Ezek a tárgyak a nyíregyházi Jósa András Múzeum tulajdonát képezik (Hampel, 1911).

A leletek között egyaránt előfordulnak ezüst, aranyozott ezüst, illetve aranytárgyak. Itt is felfedezhető anyagi különbség a funkciók alapján: a piperekészlet tárgyai ezüstből, az ékszerként viselt tárgyak aranyból készültek. A ruházat díszeként viselt övcsat és két nagyméretű fibula aranyozott ezüstből készült. Az itt bemutatott módszerrel vizsgált gránátberakások az ékszereken és a viseleti elemeken találhatók (Horváth E. 2012, Horváth E. et al., 2013).

#### Vizsgálati módszerek

A bemutatott tárgyak mindegyikére igaz, hogy nemcsak az ebben a munkában ismertetett eredeti felszín vizsgálati módszerrel, hanem több, különféle roncsolásmentes technikával is megvizsgáltuk őket (1. táblázat). Ezek részletes bemutatása nem célja ennek a cikknek, itt csak felsoroljuk őket, mint azokat az eszközöket, amelyek az itt leírt vizsgálati módszerrel kapott eredményeket kiegészítették, a következtetések levonását segítették. Nem titkolt szándékunk azonban, hogy rámutassunk arra, hogy a táblázatban is felsorolt roncsolásmentes vizsgálati módszerek, bár nagyon hasznosak, de nem képesek megadni a kőeszközök és ékkövek meghatározásához, illetve nyersanyaguk forrásterületének azonosításához szükséges szöveti és ásványkémiai információt.

Ennek a munkának egyik fő célja, hogy összehasonlítsuk az eredeti felszínen és a vékonycsiszolatokon készült vizsgálatok eredményeit, bemutatva ezáltal roncsolásmentes módszerünk hatékonyságát. Ezért kizárólag olyan. töredékes vagy félkész kőeszközöket mutatunk be, amelvekből rendelkezésünkre állnak vékonycsiszolatok is. Az ásványkémiai adatok bemutatásához könnyen azonosítható és kémiailag ellenálló ásványokat választottunk. A szöveti vizsgálatokhoz szövetű jellegzetes részeket kerestünk az eredeti felszínen. Tanulmányunk végén mintánként, illetve összegezve is bemutatjuk az eredeti felszín vizsgálati módszer előnyeit, hátrányait, illetve a korlátozó tényezőket.

#### Műszerek és vizsgálati körülmények

A mérések az Eötvös Loránd Tudományegyetem Földrajz- és Földtudományi Intézetének Kőzettan-Geokémiai Tanszékén készültek. A vizsgálatok során használt műszer egy AMRAY 1830 típusú volfrámkatódos pásztázó elektronmikroszkóp, mely EDAX PV9800 típusú energiadiszperzív spektrométerrel van felszerelve (**2. ábra**).



A műszernek öttengelyű manuális mintatartója van (X, Y, Z, R, T), ennek köszönhetően a vizsgálandó felszíneken nagyon jól megközelíthető a lehető legpontosabb vizsgálatokhoz szükséges vízszintes állapot. A műszer mintakamrája meglehetősen nagy, ami akár 300x200x55 milliméteres méretű tárgyak egészben történő vizsgálatát is lehetővé teszi. А 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 ásványkémiai elemzések kiértékelése nemzetközi sztenderdek<sup>iii</sup> és ZAF korrekció segítségével történt. A vizsgálatok vákuumban, 10-3 Pa nagyságrendű nyomáson történtek, ezért a minták felületét vezető szénréteggel kellett ellátni. Ehhez a művelethez egy JEOL JEE-4B típusú vákuumgőzölőt használtunk.

#### Eredeti felszín vizsgálati módszer

általunk kialakított vizsgálati Az eljárás legfontosabb része a megfelelő mintaelőkészítés, melyet lépésről lépésre ismertetünk.

1. lépés: A minta vizsgálható részein ki kell választani a leginkább megfelelő felületet (3. ábra). Ennek megtalálása egy egyszerű geometriai vizsgálattal kezdődik: melyek azok a pozíciók, ahol a minta – minimális kitámasztással – képes stabilan, billegés nélkül megállni. Utána a vizsgálható részek közül sztereomikroszkóp segítségével megkeressük a lehető legsimább és leginkább sík felszínű, reprezentatív szövetű és ásványos összetételű részt. Ha szükséges, több területet is kiválaszthatunk ugyanazon minta felszínén.

# Dv-346 Dv-349 Dv-347 Dv-q Dv-zz BOT-X5

3. ábra: Hat darab kőeszköz a mintaelőkészítés első két lépcsőfoka után, vagyis a vizsgálandó területek kiválasztása és megtisztítása után

Fig. 3.: The presented 6 stone tools after the cleaning

2. ábra:

A laboratóriumunkban lévő AMRAY 1830-as SEM készülék. mintatartóján (balra középen) egy vizsgálatra előkészített kőeszköz.

Fig. 2.:

The AMRAY 1830 SEM in our laboratory with a prepared stone tool on its sample holder. Nagyméretű minta esetén a mérési pontok kiválasztásánál meg kell találni a megfelelő kompromisszumos megoldást, vagyis egy olyan területet kell kijelölni, ami jellemző a mintára, és az elektronmikroszkóp lehetőségei megengedik vizsgálatát. A vizsgálandó terület kiválasztásakor lehetőleg kerülni kell azokat a helyeket, ahol használati vagy megmunkálási nyomok látszanak a mintán.

2. lépés: A kiválasztott felület(eke)t alaposan megtisztítjuk szerves oldószerek használatával (pl. aceton, petroléter). Ha nem sikerült megmunkálási vagy használati nyomoktól mentes területeket találnunk, akkor tisztításkor különösen ügyelni kell arra, hogy ezek a nyomok ne sérüljenek. A kiválasztott terület két oldalára vékony áramvezető ragasztócsíkot helyezünk.

3. lépés: A leletet alufóliába burkoljuk, majd a vizsgálatra kijelölt helye(ke)n ablakot vágunk a fóliába, és feliratozzuk (**4. és 5. ábra**).



**4. ábra:** A **3. ábrán** bemutatott kőeszközök alufólia burkolatban, a szelektált területű gőzöléshez előkészítve

**Fig. 4.:** The six stone tools presented on **Fig. 3.** wrapped into aluminium foil and prepared for the selected area carbon coating



**5. ábra:** Az egyik nagyméretű gávai fibula alufóliába burkolva, gőzölés előtt (a tárgy szélessége kb. 35 cm)

**Fig. 5.:** The large brooch wrapped into aluminium foil (the horizontal edge of the object is about 35 cm)

4. lépés: A vizsgálandó tárgyakat legőzöljük. Gőzöléskor érdemes figyelni arra, hogy a lehető legvékonyabb szénréteget vigyük fel a minták felszínére (**6. ábra**).



**6. ábra:** A kőeszközök vizsgálatra kijelölt felülete legőzölve

Fig. 6.: Carbon coated samples



vizsgálatra bekészítve az elektronmikroszkóp mintatartójára

Fig. 7.:

7. ábra:

Sample Dv-346 prepared for SEM-EDX investigation

A Dv-346 jelű minta

8. ábra:

A 6. ábrán is bemutatott nagyméretű fibula vizsgálatra előkészítve

Fig. 8.:

The large brooch mounted onto the sample holder of the SEM

5. lépés: A mintát geometriai viszonyainak megfelelően elhelyezzük az elektronmikroszkópban (7. és 8. ábra). Nagyon fontos a vízszinteshez legközelebbi helyzet elérése, a lehető legpontosabb eredmények elérése érdekében.

Mj: Az eddig leírt előkészítési eljárás vonatkozik az ékszerekre is, az egyedüli különbség az, hogy a 4. lépés után az ékszerekről eltávolítjuk a fóliát, melynek ebben az esetben csak védőszerepe van, az áramvezető képességére nincs szükség.

A megfelelően vezető felszín kialakítása után következhet a SEM-EDX vizsgálat. Érdemes a vezető felület kialakítása után a lehető leghamarabb elvégezni a vizsgálatokat, és utána minél hamarabb eltávolítani a vezető szénréteget.

## Esettanulmányok

Az itt ismertetett esettanulmányok részletes eredményei több munkában és konferencián bemutatásra kerültek (Oláh et al., 2012a, 2012b, 2012c, Bendő et al 2012), illetve ebben a kötetben is megtalálhatóak (Oláh et al. 2013), ezért ebben a tanulmányban a proveniancia-vizsgálatokra csak érintőlegesen térünk ki. A bemutatott kőeszközök mindegyike töredékes vagy félkész volt, ezért mindből lehetőségünk nyílt vékonycsiszolat készítésére is. Az egyes minták jellemzése során egy rövid leírást adunk, mely az eredeti felszínen végzett elektronmikroszkópi petrográfiai, valamint SEM-EDX vizsgálati eredményekre támaszkodik. A leírás második részében az eredeti felszínen és a vékonycsiszolatokon elvégzett vizsgálatok eredményeit hasonlítjuk össze. Minden esetben értékeljük a kétféle vizsgálatsorozattal kapott adatokat, összefoglalva az egyes adattípusok (kép és ásványkémia) különbségeit, és az eredeti felszín vizsgálati módszer használhatóságát az adott kőzettípus esetén. A kőzetmintákból készült vékonycsiszolatok optikai mikroszkópi és SEM-EDX vizsgálati eredményeinek részletes leírása elérhető az itt felsorolt munkákban: Oláh et al. (2012a); Péterdi (2011); Horváth T. & Péterdi (2012); Oláh et al. (2013). Az ékkövekre vonatkozó adatok Horváth E. et al. (2013) munkájában találhatók meg.

A képeken és a diagramokon található rövidítések megfelelnek a nemzetközi gyakorlatnak (Whitney & Evans 2010), azonban az egyszerűség kedvéért a 2. táblázatban feltüntettük őket. A földpátok és a piroxének esetében az elfogadott nevezéktani diagramokat használtuk (piroxének: Morimoto et al. 1988). Az amfibolok esetében azoknak az elemeknek a kationszámait jelenítettük meg, amelyek az adott amfibol-típusokra jellemzőek. Az összes diagramon az eredeti felszínről mért ásványkémiai adatokat kék színű üres körökkel jelöltük, míg a vékonycsiszolatból kapott adatokat piros színű teli körök reprezentálják.

#### Dv-349 minta

Alkáli dolerit anyagú kőeszköz-töredék, felszíne a sík részeken jobban, a domború részeken kevésbé jól polírozott. Szövete porfíros, fenokristályként és mikrofenokristályként klinopiroxént találtunk a kőzetben (**9. ábra**). Alapanyaga főleg albitból áll, ezen kívül epidotot, káliföldpátot, ilmenitet és rétegszilikátokat tartalmaz. A klinopiroxén kristályok zónásak, de ez az eredeti felszínen nem látható, csak az EDX adatokból derül ki. A nagyméretű, magas Cl-tartalmú apatitok gyakori, a cirkonok viszont ritka akcesszórikus elegyrészek.



**9. ábra:** A Dv-349 jelű minta eredeti felszínéről készített szöveti képe, középen egy nagyméretű, homogénnek tűnő klinopiroxén kristállyal

**Fig. 9.:** Texture of the original surface of the sample Dv-349. There is a large apparently homogenous clinopyroxene crystal in the center

**2. táblázat:** A képeken és a diagramokon használt ásványnevek rövidítései a nemzetközi irodalom alapján, ez alól csak a két dőlt betűvel jelzett rövidítés kivétel

**Table 2.:** Abbreviations of the mineral names used

 on pictures and diagrams are after the international

 articles except the two abbreviations in italics

rövidítés	magyar ásványnév	angol ásványnév
ab	albit	albite
act	aktinolit	actinolite
adr	andradit	andradite
aeg	egirin	aegirine
aega	egirinaugit	aegirine-augite
afs	alkáli földpát	alkaline feldspar
alm	almandin	almandine
amp	amfibol	amphibole
an	anortit	anortite
ар	apatit	apatite
aug	augit	augite
chl	klorit	chlorite
cl	agyagásvány	clay mineral
cpx	klinopiroxén	clinopyroxene
cum	cummingtonit	cummingtonite
en	ensztatit	enstatite
ep	epidot	epidote
fs	ferroszilit	ferrosilite
grs	grosszulár	grossulare
grt	gránát	garnet
hbl	hornblende	hornblende
ilm	ilmenit	ilmenite
jd	jadeit	jadeite
mag	magnetit	magnetite
mnz	monacit	monazite
ort	ortoklász	orthoclase
pl	plagioklász	plagioclase
prp	pirop	pyrope
ser	szericit	sericite
sps	spessartin	spessartine
trm	tremolit	tremolite
wo	wollastonit	wollastonite
zrn	cirkon	zircone

A vékonycsiszolat vizsgálata során a fentebb felsorolt ásványokon kívül találtunk barkevikites összetételű primer, illetve a klinopiroxén átalakulásából (uralitosodásából) származó másodlagos amfibolokat is.



Megállapítottuk, hogy az eredeti felszínen látott szöveti bélyegek figyelhetők meg а vékonycsiszolatban is. Az amfibolon kívül az összes ásványfázis megtalálható az eredeti felszínen, illetve a klinopiroxén esetében az átalakulás és a zónásság nem látható. Az ásványkémiai adatok is jó egyezést mutatnak, a háromszögdiagramokon megfigyelhető, hogy az adatok egybeesnek, bár az eredeti felszínen végzett vizsgálatok esetében láthatóan nagyobb a szórás (10. ábra). A piroxének esetében az eredeti felszínről készített BSE képeken nem látható zónásság is megjelenik a kémiai adatokban. A fent leírt információvesztések ellenére ez a kőzettípus biztosan azonosítható az eredeti felszín vizsgálati módszerrel.

#### Dv-346 minta

Szodalitos fonolit anyagú kőeszköz-töredék, jól megmunkált, oldalai különböző mértékben polírozottak. A kőzet porfíros szövete jól látható az eredeti felszín vizsgálata során (11. ábra). Fenokristályai alkáli földpátok és zónás piroxének.



**11. ábra:** Eredeti felszínről készített szöveti kép a Dv-346 jelű minta alapanyagáról. A képen összesen háromféle ásvány azonosítható: alkáli földpát, egirinaugit és a cl jelzésű nem azonosítható agyagásvány.

**Fig. 11.:** Texture of the original surface of the sample Dv-346. Alkaline feldspar and aegirine-augite crystals can be seen in the surface. Cl: clay mineral which is unidentifiable by EDX.

10. ábra: A Dv-349-es minta eredeti felszínéről és a vékonycsiszolatból származó ásványkémiai adatok összehasonlító diagramjai A: piroxén, B: földpát.

**Fig. 10.:** Diagrams of mineral chemistry analyses of comparing results of sample Dv-349 obtained on the original surface and thin section

A: pyroxene, B: feldspar

Az alapanyag nagyrészt alkáli földpátokból és egirinaugitból áll, járulékos elegyrészként apatitot és monacitot azonosítottunk. Az alapanyagban nagy mennyiségű, SEM-EDX-el pontosabban meg nem határozható agyagásvány található, melyek a kőeszköz felszínének mélyedéseit töltik ki.

A vékonycsiszolat vizsgálata során több olyan ásványfázist azonosítottunk, melyek az eredeti felszínen nem találhatók meg. Ezek a földpátpótlók, a hainit, a namanszilites piroxén és a kaersutit. Az eredeti felszín vizsgálata során találtunk viszont nagy mennyiségű agyagásványt, melyeknek a vékonycsiszolatban semmi nyoma nem volt. Ezek valószínűleg a különböző ásványok – főleg a földpátpótlók – mállása során keletkeztek. Az eredeti felszínen és a vékonycsiszolatban látott szöveti kép megegyezik. Az ásványkémiai eredményekből ugyanakkor jól látható, hogy az eredeti felszínen is megtalálható ásványtípusok (földpát, egirinaugit) mért összetétele nagyon hasonló a vékonycsiszolaton mért értékekhez (12. ábra). Ennél a kőeszköznél tehát a csak az eredeti felszínen végzett SEM-EDX vizsgálat nem elegendő a benne előforduló összes elegyrész pontos azonosításához. Ebben az esetben vékonycsiszolatos vizsgálat nélkül nem azonosítottuk volna megfelelően ezt a kőzettípust. Ugyanakkor a nagy mennyiségű agyagásvány jelenléte szintén fontos információ, mert arra utal, hogy bizonyos ásványfázisok hiányoznak az eredeti felszínről. Ezek az ásványok a betemetődés során a talajban átalakultak és/vagy eltűntek. Miután sok, a kőzetek pontos besorolásához nélkülözhetetlen ásvány instabil a talajban, ilyen esetekben mindenképpen meg kell fontolni további – esetleg roncsolásos - vizsgálatok elvégzését.

#### Dv-347 minta

Zöldpala anyagú kőeszköz-töredék, sík felületei jól polírozottak. Erősen palás, porfiroblasztos szövetű kőzet, mely pretektonikus eredetű klinopiroxén kristályokat tartalmaz (13. ábra). Ezek a kristályok zónásak, de ez az eredeti felszínen a nagyon hasonló összetétel miatt nem figyelhető meg, csak az EDX adatokból derül ki.



12. ábra: A Dv-346-es minta eredeti felszínéről és a vékonycsiszolatból származó ásványkémiai adatok összehasonlító diagramjai A: piroxén, B: földpát. Fig. 12.: Diagrams of mineral chemistry analyses of comparing results of sample Dv-346 obtained on the original surface and thin section A: pyroxene, B: feldspar



13. ábra: A Dv-347 jelű minta szöveti képe, balra és felül egy-egy nagyméretű, látszólag homogén klinopiroxén kristállyal

Fig. 13.: Texture of the original surface of the sample Dv-347. There are two large apparently homogenous clinopyroxene crystals on the left and the upper side of the picture.

A kőzet alapanyaga nagy mennyiségű kloritot, epidotot tartalmaz. Az albit aktinolitot és sávokban-csomókban koncentleggyakrabban rálódva jelenik meg. Ritkábban hornblende is található a kőzetben. Akcesszórikus ásványok: titanit és apatit.

vizsgálatakor vékonycsiszolatos А minta megállapítottuk, hogy annak szövete és minden ásványfázisa azonosítható az eredeti felszín



klinopiroxén zónásságáról nem kaptunk képi információt. Az ásványkémiai adatok szintén jó egyezést mutatnak, különösen az amfibolok és a piroxének esetében (14. ábra). Mindezek alapján tehát ez a kőzettípus biztosan azonosítható az eredeti felszín vizsgálatával.

vizsgálata során. A vizsgált területen egyedül a

#### Dv-zz minta

Biotit-tartalmú kontakt metabázitból készült, jól polírozott felszínű kőeszköz-töredék. Szövete nemato-fibroblasztos, három különféle amfibolt (aktinolit, cummingtonit vagy antofillit, és Mgkloritot és szericitet tartalmaz hornblende), (15. ábra). A három különböző amfibol általában együtt jelenik meg (bár időben nem egyszerre képződtek), az aktinolitos összetételű magra cummingtonitos és/vagy Mg-hornblende összetételű perem nőtt rá. Akcesszóriaként ilmenit, titanit és apatit található a kőzetben. Földpátot és/vagy kvarcot ebben a mintában nem találtunk.

A vékonycsiszolat vizsgálata során megállapítottuk, hogy ennek a mintának a szövete is jól felismerhető az eredeti felszín vizsgálatával. Ebben az esetben az felszínen a biotiton kívül minden eredeti megtaláltunk. ásványfázist Az amfibolok ásványkémiai adatai is jó egyezést mutatnak (16. ábra), tehát ez a minta azonosítható az eredeti felszín vizsgálatával.

> 14. ábra: A Dv-347-es minta eredeti felszínéről és a vékonycsiszolatból származó ásványkémiai adatok összehasonlító diagramjai

A: piroxén, B: amfibol.

Fig. 14.: Diagrams of mineral chemistry analyses of comparing results of sample Dv-347 obtained on the original surface and thin section.

A: pyroxene, B: amphibole



**15. ábra:** A Dv-zz jelű minta szöveti képe, középen jól láthatóan többfázisú amfibolkristállyal

**Fig. 15.:** Texture of the original surface of the sample Dv-zz. There is a large, obviously multiphasic amphibole crystal in the center.



**16. ábra:** A Dv-zz jelű minta eredeti felszínéről és a vékonycsiszolatból mért amfibolok ásványkémiai adatainak összehasonlító diagramja

**Fig. 16.:** Comparing amphibole chemistry diagram of the sample Dv-zz results obtained on the original surface and thin section

#### Dv-q

Zöldpala anyagú félkész kőeszköz, egyes oldalai jól polírozottak. A kőzet erősen palás, szövete nematoblasztos, fő ásványfázisai az albit, az aktinolit, az epidot és a klorit (**17. ábra**). Ezeken kívül kis mennyiségben titanit is előfordul.

A kőzet szövete az eredeti felszínen is felismerhető, habár kis nagyításon az egyes ásványfázisok nem különíthetők el megfelelően, de nagyobb nagyításon az összes ásványfázis felismerhető, amit a vékonycsiszolat vizsgálata során is megfigyelhettünk.



**17. ábra:** A Dv-q jelű minta szöveti képe. Felül egy jellegzetes albitsáv, az alsó részen pedig az irányított aktinolitkristályok között véletlenszerűen elhelyezkedő epidotszemcsék láthatók.

**Fig. 17.:** Texture of the original surface of the sample Dv-q. There is a characteristic albite band in the upper part, and epidot crystals among the orientated actinolite grains in the lower part of the sample.

A két vizsgálat során mért ásványkémiai adatok is hasonlóan jól egyeznek (**18. ábra**), tehát ez a kőzettípus is jól azonosítható az eredeti felszín vizsgálatával.

#### Vpk-1004

Olivin-tartalmú bazaltból készült, durva felszínű, félkész kőbalta. A kőzet szövete porfíros interszertális, fő fenokristály fázis az olivin, ezen kívül augit mikrofenokristályok fordulnak elő benne (19. ábra). Az olivin nagyobb méretű kristályainak peremén iddingzites átalakulás figyelhető meg. Az alapanyag homogén, hipokristályos; plagioklászból, klinopiroxénből, finomszemcsés, részben iddingzitesedett olivinből, titanomagnetitből, illetve alárendelt mennyiségben kőzetüvegből és apatitból áll. Plagioklászok csak az alapanyagban fordulnak elő, a SEM-EDX mérések alapján összetételük a labradorit-bytownit mezőkbe esik. Több, zónás szerkezetű, kéreg eredetű xenolitot tartalmaz.

Megállapítottuk, hogy az eredeti felszínen a kőzet szövete felismerhető, valamint az összes ásványfázis és a kéregzárványok is megtalálhatók, egyedül a kőzetüveg hiányzik. A kétféle vizsgálat során mért SEM-EDX adatsor jó egyezést mutat. A földpátok esetében az egyezés jó, az összes mérési eredmény a bázisos plagioklászokra jellemző értékeket mutat (labradorit és bytownit, 20b ábra). A piroxén adatokban nagyobb eltérés mutatkozik. Az eredeti felszínen magasabb Ca-tartalmat láthatunk (20a ábra), ami több tényezőre is visszavezethető (zónásság, mállás, kéregzárványok átalakulásából származó piroxének stb). Ennek ellenére ez a kőzettípus is jól azonosítható az eredeti felszín vizsgálatával.



18. ábra: A Dv-q jelű minta eredeti felszínéről és a vékonycsiszolatból származó ásványkémiai adatok összehasonlító diagramjai A: amfibol, B: földpát.
 Fig. 18.: Diagrams of mineral chemistry analyses of comparing results of sample Dv-q obtained on the original surface and thin section

A: amphibole, B: feldspar



**19. ábra:** Szöveti kép a VPK-1004 jelű minta alapanyagáról. A bemutatott kőeszközök közül ennek a példánynak a felszíne a legkevésbé kidolgozott, durvasága jól látható a BSE képen.

**Fig. 19.:** Texture of the original surface of the sample VPK-1004. This is the most incomplete finding, the roughness of the original surface is very well visible on the BSE picture.

#### Bot-X5

Ennek a mintának a vizsgálata azért különleges fontosságú, mert a vékonycsiszolatot egy másik műszeren, az MTA Földtani és Geokémiai Intézetében található JEOL Superprobe 733 típusú elektron-mikroszondán mérték le, Oxford Instrument INCA Energy 200 energiadiszperzív spektrométerrel (Péterdi, 2011). A mérések mellett a visszaszórt elektronképek is ott készültek. Ezáltal teszteltük, hogy egy laborunktól független méréssorozat eredményei mennyire hasonlók, illetve eltérők a mi eredményeinkhez képest.

Nefrit anyagú, jól polírozott felszínű lapos vésőbalta. Fibroblasztos szövetű, monomineralikus kőzet, mely vékony, tűs-szálas megjelenésű tremolitkristályokból épül fel, melyek között ritkábban nagyobb méretű, irányítatlan, rombusz átmetszetű kristályok is előfordulnak (21. ábra). A kristálycsoportok szálas sokszor sugaras megjelenésűek, de néha legyezőszerű, vagy teljesen szabálytalan kristálycsoportokat is találhatunk. A vékonycsiszolatos vizsgálat eredményeiből megállapítottuk, hogy a kőzet szövete az eredeti felszínen is jól felismerhető.



20. ábra: A VPK-1004 jelű minta eredeti felszínéről és a vékonycsiszolatból származó ásványkémiai adatok összehasonlító diagramjai,

A: piroxén, B: földpát.

(Egyedül ennél a leletnél fedezhető fel nagyobb különbség az elemzési adatok között, mindkét esetben a Ca-tartalom magasabb az eredeti felszínről származó adatokban.)

# Fig. 20.:

Diagrams of mineral chemistry analyses of comparing results of sample VPK-1004 obtained on the original surface and thin section. A: pyroxene, B: feldspar.

(Here are the largest differences between the EDX data from the original surface and from the thin section. The Ca-content of minerals is higher on the original surface than the thin section.)



**21. ábra:** A Bot-X5 jelű minta szöveti képe. Jól látható a felszín kitűnő polírozottsága, valamint az, hogy a kőzet szinte teljesen monomineralikus. Két magnetitszemcse kivételével az egész felület tremolitból áll. Több helyen megfigyelhetők sugaras és elágazó kristálycsoportok.

**Fig. 21.:** Texture of the original surface of the sample BOT-X5. This is the most elaborated finding, the original surface is very well polished. This sample is almost monomineralic, it consist of elongated, sometimes fan-like tremolite crystals. The only mineral beside the tremolite is the magnetite.



**22. ábra:** A Bot-X5 jelű minta eredeti felszínéről és a vékonycsiszolatból mért amfibolok ásványkémiai adatainak összehasonlító diagramja. Ebben az esetben az eltérő jelzés (csillag) az eltérő műszeren történt mérésre utal.

**Fig. 22.:** Diagrams of mineral chemistry analyses of comparing results of sample BOT-X5 obtained on the original surface and thin section. The results of control analyses, which made on a JEOL 733 Superprobe are signed in black star.



**23. ábra:** Az egyik gávai aranyékszert díszítő gránátberakás nagyméretű zárványainak fotója. Érdemes megfigyelni a szinte tökéletesen polírozott felszínt.

**Fig. 23.:** One of the garnet inlays from a gold level from Gava with large mineral inclusions. The surface is almost perfectly polished.

A két laborban elvégzett vizsgálatok során mért ásványkémiai eredmények is nagyon közel állnak egymáshoz, ami igen pozitív visszajelzés a módszer használhatóságára (22. ábra). Számszerűen nézve az adatok között a legnagyobb eltérés a Mgértékekben mutatkozik, de ott is kisebb, mint 2 %. A többi elem esetében az eltérés kisebb, mint 1 %. Ez a kőzet is biztosan azonosítható az eredeti felszín vizsgálatával.

#### Ékkövek

A bemutatott módszer ékszerekbe foglalt ékkövek vizsgálatához is eredményesen használható. Ezeknél a vizsgálatoknál előny, hogy a foglalat vezető, illetve a kövek felülete polírozott. Nagy hátrány viszont, hogy a vizsgált leletek alakja akár nagyon összetett, méretük pedig meglehetősen nagy is lehet. Ennek következtében a mintakamrába való behelyezésük, és a méréshez szükséges geometria kialakítása nem egyszerű. A műszer öttengelyű mintatartója segítségével azonban nagyon sokféle konfiguráció, ennélfogva az ideális helyzet is beállítható, és szükség szerint vizsgálat közben is változtatható. A képeken különösen egy nagyméretű, és emiatt nehezen kezelhető ékszer előkészítését és vizsgálatát mutatjuk be.

Az ilyenkor alkalmazott eljárás nagyrészt megegyezik a korábbiakban bemutatottal. A leletet itt is alufóliába csomagoljuk, amit a kiválasztott pontokon kilyukasztunk, majd az így előtűnő felületet legőzöljük. Az egyetlen különbség, hogy gőzölés után eltávolítjuk a fóliát. Ezután a tárgyat az előzetesen kigondolt módon beépítjük az elektronmikroszkópba.



A: A gránát összetétele a keletkezési feltételekről tanúskodik (Morton et al. 2003 után módosítva). B: A MgO vs. CaO diagram segíthet

meghatározni a gránátok származási helyét (Calligaro et al. 2008, Gilg et al. 2010).

A különböző színű mezők az egyes lelőhelyekről származó gránátok összetételét jelzik (A: Dél-India, B: Észak-India, C: Skandinávia, D: Portugália, E: Csehország, X: Sri Lanka).

#### Fig24.:

A: Garnet composition depends on conditions of formation (modified after Morton et al. 2003). B: MgO vs. CaO diagram can help to determine the locality of garnets (Calligaro et al. 2008, Gilg et al. 2010).

Fields signed by different colors correspond to the compositions of garnets form distinct localities (A: Southern India, B: Northern India, C: Scandinavia, D: Portugal, E: Bohemia, X: Sri Lanka).

Miután a megmunkált ékkövek felszíne általában sík és jól polírozott, vizsgálatuk során megfelelő felület áll rendelkezésre, amint az a 23. ábrán is jól látható. Ennek a leletegyüttesnek a vizsgálatakor összesen 8 darab ékszerbe foglalt 41 darab gránátot vizsgáltunk meg, melyek közül 40 db a piralspit, 1 db az ugrandit sor tagja. A piralspit csoportba tartozó gránátok besorolásakor az összetétel ismeretében lehet következtetni a keletkezési környezetre (24a ábra), illetve a nyersanyagok forrásterületére (24b ábra) (Horváth E. & Bendő, 2011 és a benne hivatkozott irodalmak). A gránátok ásványzárványainak ismerete kémiai – a összetételhez hasonlóan а keletkezési körülményeik, és azokon keresztül származási helyük pontosabb megismeréséhez segíthet hozzá (ezek a zárványok azonban SEM-EDX-el csak akkor azonosíthatók, ha kiérnek közvetlenül a felszínre). A vizsgált gránátok felszínén apatit, monacit, rutil és cirkon zárványokat találtunk.

Elmondható tehát, hogy ezzel a vizsgálattal nagyon jó képi és kémiai információ kapható. Az ásványkémiai adatok, valamint a zárványasszociációk ismeretében a módszer a nyersanyag forrásterületének meghatározására – legalábbis gránátok esetében – biztosan alkalmas.

#### Konklúzió

A bemutatott eredeti felszín vizsgálati módszerről bebizonyosodott, hogy nagyon hasznos lehet a régészeti leletek és más műtárgyak vizsgálata során, különösen azokban az esetekben, ahol roncsolásos vizsgálatra nem kerülhet sor. A fentebb bemutatott esettanulmányokból kiderült, hogy a felszínről kapott képi (pl. 15. ábra) és ásványkémiai adatok (pl. 12. ábra) a legtöbb esetben nagyon hasonlók a vékonycsiszolatból mért adatokkal. Vizsgálataink során az is nyilvánvalóvá vált, hogy a módszer nem minden alkalmazható egyértelmű sikerrel kőzettípusnál. Ugyanakkor ezekben az esetekben is kapunk olyan információkat (szövet, az eredeti felszínen megjelenő ásványok kémiája, a hiány, és a hiányzó fázisok helye a szövetben), melyek a többi roncsolásmentes vizsgálati eljáráshoz hasonlóan jelentős többlet információt tartalmaznak.

#### Képalkotás

Az eredeti felszín vizsgálat során kapható képi információ nagyon közel áll a vékonycsiszolatból információkhoz. Minden esetben kapott felismerhető volt a kőzet szövete, bár bizonyos esetekben, főleg a durván csiszolt felszínű, finomszemcsés, esetleg szálas-tűs ásványokból álló kőzetek esetén nagyobb nagyítás szükséges a különböző ásványfázisok biztos elkülönítéséhez, mint a vékonycsiszolaton (pl. 17. ábra). Ugyanez vonatkozik a szemcsehatárokra is: durva felszínű. finomszemcsés kőzet esetén nehezen megfigyelhetőek. Azokban az esetekben, amikor jól polírozott felszínű kőeszközt, vagy egyéb tárgyat vizsgálunk, a zónásság is jól megfigyelhető (pl. Szakmány et al. 2013 ebben a kötetben). A legtöbb esetben azonban az eszközök eredeti felszíne nem teljesen sima és sík, emiatt a BSE kép nem kizárólag összetételi információt ad. A több fotón is megfigyelhető morfológiai információk zavarók lehetnek (pl. 11. ábra), miattuk több esetben nem látható megfelelően az összetételi változatosság. Ez az oka annak is, hogy a zónásság sokkal ritkábban látható az eredeti, egyenetlen felszínen (pl. 9. ábra), illetve annak, hogy az egymáshoz közeli átlagos tömegszámmal rendelkező ásványfázisok (pl. kvarc-albit) sokkal nehezebben különböztethetők meg, mint vékonycsiszolatban.

#### Ásványkémia

A felületek mérése során kapott ásványkémiai adatok nagyrészt hasonlók a vékonycsiszolatokon mért értékekhez, a szórásuk viszont minden esetben nagyobb. Több olyan esetben, mikor az ásványszemcsék zónásságát nem sikerült képileg megjeleníteni, az ásványkémiai adatokból felismerhető volt a szemcsén belüli összetétel-

24. ábra:

változás. Fontos kiemelni ugyanakkor, hogy a betemetődés után a talajban eltöltött akár több ezer év során módosulhat a kőzet felszínén megtalálható ásvány-asszociáció. Azon fázisok, melyek a talajban uralkodó körülmények között instabilak, akár el is tűnhetnek, illetve új ásványokká alakulhatnak. Ebben az esetben a minta eredeti felszínén nem a kőzet eredeti ásványos összetételét látjuk. Az instabil ásványok közé tartozó legfontosabb fázisok a földpátpótlók és a kőzetüveg. Ezáltal egyes kőzettípusok (pl. a Dv-346 szodalitos fonolitja) nem minta mindig egyértelműen módszerrel. azonosíthatók а Amennyiben felmerül a gyanú, nem nélkülözhetők a vékonycsiszolatos optikai és nagyműszeres vizsgálatok. Mindazonáltal megállapításunk az, hogy az eredeti felszín vizsgálatával jelentősen pontosítható, és akár meg is határozható a legtöbb kőeszköz nyersanyaga és – közvetve – annak forrásterülete.

# 6. Összefoglalás

Eredményeink egyrészt azt mutatják, hogy a csiszolt kőeszközökről használható jól ásványkémiai adatokat kaphatunk, emellett a kőzetek jellegzetes szöveti sajátosságairól, az ásványok zárványairól, illetve esetenként zónásságáról is információt nyerhetünk. Mindez megkönnvíti a nyersanyag keletkezési viszonyainak tisztázását, és lehetséges lelőhelyének leszűkítését. Másrészt képet alkothatunk a kőeszközök felszínének átalakulási viszonyairól, elsősorban az egyes ásványok átalakulását követhetjük nyomon.

Az ékszerekbe foglalt ékkövek bár nem vizsgálhatók foglalatuktól elválasztva, kémiai összetételük és a zárványaik meghatározása szintén segít azonosítani a keletkezési viszonyaikat és nyersanyaguk forrását. Az itt leírt módszerrel még az ékszerekbe foglalt ékkövek is jól vizsgálhatók anélkül, hogy megsérülnének, vagy állapotuk bármilyen formában változna.

Elemzéseink célja az volt, hogy ezzel a módszerrel a legszebb, legjobb állapotú ép leletek nyersanyaga, esetleg azok forrásterülete is meghatározható legyen anélkül, hogy az adott mintát roncsolásos vizsgálati eljárás alá kellene vetni. nagyrészt Vizsgálatsorozatunk igazolta elvárásainkat. Az előbbiekben bemutatott nyolc esettanulmányból hét pozitív eredményeket adott, módszerünk tehát számos kőzettípus és ásvány esetén jól használható. Ugyanakkor a 4.2. pontban bemutatott Dv-346 jelzésű lelet vizsgálati eredményei azt mutatják, hogy a kőzet típusát és minden esetben forrását nem lehet vékonycsiszolatos vizsgálat nélkül, csak az eredeti felszín vizsgálatával meghatározni. Ez a tapasztalat így azt mutatja, hogy ahol lehetőség van rá, mindenképpen ajánlott, sőt szükséges lenne vékonycsiszolatokat készíteni.

# Irodalomjegyzék:

ANTONI, J. (2012): "Metamorphosis of the rock". Depot find of stone tool preforms near Veszprém. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungarica* **63**/1 5–42.

BENDŐ, ZS., OLÁH, I., PÉTERDI, B. & HORVÁTH, Eszter (2012): Case studies on a nondestructive SEM-EDX analytical method for polished stone tools and gems. In: BRAEKMANS, D., HONINGS, J. & DEGRYSE, P. (Eds.): 39<sup>th</sup> International Symposium on Archaeometry, Centre for Archaeological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium, ISBN 978 94 6165 043 6, 136.

CALLIGARO, T., PÉRIN, P., VALLET, F., POIROT, J.-P. (2008): Contribution à l'étude des grenats mérovingiens (Basilique de Saint-Denis et autres collections du musée d'Archéologie nationale, diverses collections publiques et objects fouilles récentes). *Antiquités Nationales* **38** 111– 144.

GILG, A., GAST, N., CALLIGARO, T. (2010): Vom Karfunkelstein. In: WAMSER, L. (ed.) Karfunkelstein und Seide. Neue Schätze aus Bayerns Frühzeit. *Ausstellungskataloge der archäologischen Staatssammlung*, Verlag Friedrich Pustet, München **37** 87–100.

HAMPEL J. (1911): A gávai sírlelet (Szabolcs m.). Archaeologiai Értesítő **31** 135–147.

HORVÁTH E. (2012): Ékkő- és üvegberakásos ötvöstárgyak a Kárpát-medence hun kori és kora Meroving-kori leletanyagában. *Közöletlen Ph.D. dolgozat*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Archeometriai és Régészetmódszertani Tanszék, 1– 298, 1–281.

HORVÁTH, E. & BENDŐ, Zs. (2011): Provenance study on a collection of loose garnets from a Gepidic period grave in Northeast Hungary. *Archeometriai Műhely* **8/1** 17–32.

HORVÁTH, E., BENDŐ, ZS., MAY, Z. (2013): One hundred years later... Characteristics of materials technology and workshop affinities of the polychrome metalwork from Gáva (North-East Hungary). In: HEINRICH-TAMÁSKA, O. (Hrsg.), Macht des Goldes, Gold der Macht. Herrschaftsund Jenseitsrepräsentationen zwischen Antike und Frühmittelalter im mittleren Donauraum, 23. Internationales Symposium, Grundprobleme der frühgeschichtlichen Entwicklung im mittleren Donauraum. 251–280.

HORVÁTH T. & PÉTERDI B. (2012): Csiszolt kőeszközök, őrlőkövek, egyéb megmunkált és megmunkálatlan kőzetanyagú leletek. *In: Horváth T. (szerk.): Balatonőszöd-Temetői dűlő őskori településrészei. A középső rézkori, késő rézkori és*  kora bronzkori települések. MTA BTK Régészeti Intézet, Budapest. ISBN 978-615-5254-00-0 (Kézirat) 403–526.

MORIMOTO, N., FABRIES, J., FERGUSON, A.K., GINZBURG, I.V., ROSS, M., SEIFEIT, F.A., ZUSSMAN, J. (1988): Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist* **73** 1123–1133.

MORTON, A., ALLEN, M., SIMMONS, M., SPATHOPOULOS, F., STILL, J., HINDS, D., ISMAIL-ZADEH, A. & KROONENBERG, S. (2003): Provenance patterns in a neotectonic basin: *Pliocene and Quarternary sediment supply to the South Caspian Basin Research* **15** 321–337.

OLÁH, I., BENDŐ, ZS., SZAKMÁNY, GY., SZILÁGYI, V., PÉTERDI, B. (2012a): Results of the archaeometric analyses of stone implement preforms from Veszprém-Kádárta (W-Hungary). *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 63/1 43–68.

OLÁH, I., BENDŐ, ZS., SZAKMÁNY, GY. SZILÁGYI, V. (2012b).: Archaeometric studies of polished stone artefacts from Mecsek-Villány Mts. (South Hungary) *Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series,* Szeged, 7: 97.

OLÁH I., BENDŐ ZS., SZAKMÁNY GY. & SZILÁGYI V. (2012c): Csiszolt kőeszközök archeometriai vizsgálatának eredményei Diósviszló (Dél-Magyarország) lelőhelyről. *III. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés* absztraktkötet 25.

OLÁH I., LIGNER J., BENDŐ ZS., SZAKMÁNY GY. & SZILÁGYI V (2013).: Különösen gazdag

kőbalta és csiszolt kőeszköz leletegyüttes előzetes vizsgálati eredményei Diósviszlóról. *Archeometriai Műhely* **10/1** 67–82.

PÉTERDI B. (2011): Szerszámkövek és csiszolt kőeszközök archeometriai vizsgálatának eredményei (Balatonőszöd- Temetői dűlő lelőhely, késő rézkor, bádeni kultúra). *Közöletlen Ph.D. dolgozat,* Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kőzettan- Geokémiai Tanszék, 1–136.

SZAKÁLL S. (2011): Ásvány- és kőzettan alapjai. TÁMOP 4.2.5 pályázat digitális tankönyve, <u>http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0</u> 033\_SCORM\_MFFAT6101/adatok.html

letöltés időpontja 2013. március 26.

SZAKMÁNY GY., T. BIRÓ K., KRISTÁLY F., BENDŐ ZS., KASZTOVSZKY ZS., ZAJZON N. (2013): Távolsági import csiszolt kőeszközök nagynyomású metamorfitokból Magyarországon. *Archeometriai Műhely* **10**/1 83–92.

WHITNEY, D. L. & EVANS, B. W. (2010): Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* **95** 185–187.

#### WIKIPEDIA:

http://en.wikipedia.org/wiki/Raman\_spectroscopy, letöltés időpontja: 2013. augusztus 27.

http://en.wikipedia.org/wiki/Particle-induced\_Xray\_emission, letöltés időpontja: 2013. augusztus 27.

F. G.; olivin: AS5200-AB; spessartin: garnet No. 3d.

<sup>&</sup>lt;sup>i</sup> Gyorsan fejlődő, roncsolásmentes, korszerű analitikai technika. Monokromatikus (általában lézer) fénnyel gerjesztett mintáról visszaszóródó fényt vizsgál, molekulaszerkezetek, kristályrácsok azonosíthatók vele. Gáz, folyadék és szilárd anyagok vizsgálatára egyaránt alkalmas. (http://en.wikipedia.org/wiki/Raman\_spectroscopy)

<sup>&</sup>lt;sup>ii</sup> Roncsolásmentes, korszerű analitikai technika. Nagyméretű, töltött részecskékből, általában protonokból álló nyalábbal gerjesztik a mintát, az így kiváltott röntgensugárzás segítségével kémiai információt kaphatunk. Főleg szilárd anyagok vizsgálatára használják. (http://en.wikipedia.org/ wiki/Particle-induced X-ray emission)

<sup>&</sup>lt;sup>iii</sup> A mérésekhez használt sztenderdek: albit: Amelia # AS5010-AB; ortoklász: MAD-10; augit: ENM-augit; kromit: Australia, C. M. Taylor Company; titanit: C. M. Taylor Company; kaersutit: Glen Innes, Australia, C. M. Taylor Company; biotit: LP-6; apatit: Wilberforce apatite # AS1040-AB; Ba-, Zn-, U-tartalmú mesterséges üveg: K-378