

Isztriai amphorák és nyersanyagaik nehézasványai

OBBÁGY GABRIELLA

OTDK dolgozat

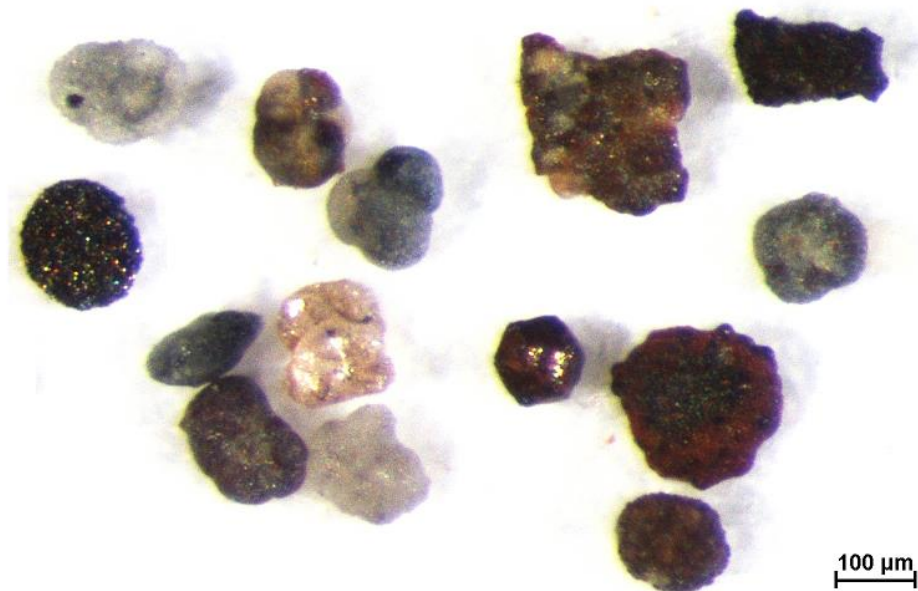
Geológus MSc



Eötvös Loránd Tudományegyetem

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Kőzettan-Geokémiai Tanszék



Témavezető: Dr. Józsa Sándor (ELTE-TTK Kőzettan-Geokémiai Tanszék)

Konzulens: Dr. Szakmány György (ELTE-TTK Kőzettan-Geokémiai Tanszék)

Budapest

2015.

TARTALOMJEGYZÉK

1 Bevezetés, a kutatás célja	4
2 Irodalmi áttekintés.....	5
2.1 Régészeti áttekintés	5
2.2 Földtani háttér	6
2.3 A lehetséges fő nyersanyagok (terra rossa és flis) nehézásványos összetétele	9
2.4 Az amphora-kutatások eddigi eredményei	13
3 Vizsgálati módszerek	19
3.1 Minta-előkészítés	19
3.2 A nehézásványok optikai vizsgálata	21
4 Eredmények.....	22
4.1 A nyersanyagok nehézásványai	22
4.1.1 A terra rossa nehézásványai	23
4.1.2 A flis nehézásványai.....	25
4.2 Az amphorák nehézásványai	30
5 Az eredmények értékelése	33
5.1 A terra rossa és flis nehézásványainak összevetése.....	33
5.2 Amphorákkal való összevetés, a módszer alkalmazása.....	34
6 Összefoglalás.....	36
7 Köszönetnyilvánítás	38
8 Irodalomjegyzék.....	39
9 Mellékletek	42
10 I. Függelék	46

A dolgozatban használt rövidítések

a	agyag	ky	kianit
act	aktinolit	lim	limonit
adr	andradit	lx	leukoxén
aln	allanit	mnz	monacit
amf	amfibol	mt	magnetit
ap	apatit	NÁ	nehézasvány
brk	brookit	op	opak
brt	barit	opx	ortopiroxén
cld	kloritoid	py	pirit
cpx	klinopiroxén	q	kvarc
cr-sp, CrSpl	krómspinell	rt	rutil
dol	dolomit	SEM	pásztázó elektronmikroszkóp (Scanning Electron Microscrope)
EDS	energia diszperzív spektroszkópia (Energy Dispersive Spectroscopy)	sil	szillimanit
ep	epidot-csoport	spl	spinell
for	foraminifera	st	staurolit
grs	grosszulár	tr	tremolit
grt	gránát	ttn	titanit
hbl	homblende	tur	turmalin
i. e.	időszámításunk előtt	XRD	röntgendiffrakció (X-ray Diffraction)
i. sz.	időszámításunk szerint	zo	zoizit
ilm	ilmenit	zrn	cirkon
KÁ	könnyűasvány		

(Az általam használt ásványnév-rövidítések Whitney és Evans (2010) alapján)

1 BEVEZETÉS, A KUTATÁS CÉLJA

A régészet és a geológia egyes ágai viszonylag régóta szorosan összekapcsolódnak, módszereik jól kiegészítik egymást, hiszen a régészeti leletek nyersanyaga általában földtani eredetű. Ez nincs másként a kerámiák, az egyik leggyakrabban és legnagyobb mennyiségben előkerült régészeti leletek esetében sem.

Dolgozatomban Fažanából, a Laecanius család műhelyéből származó Dressel 6B típusú római kori amphorák (1. ábra) nyersanyagául szolgáló terra rossa és flis (SZAKMÁNY és mtsi., 2013) nehézásványait hasonlítom össze a belőlük készült kerámiák nehézásvány-spektrumával.

Az amphorák a Római Birodalomban mindenhol tömegesen használt egyes élelmiszerek



1. ábra: Dressel 6B típusú amphora (Szakmány és mtsi., 2013)

(pl. olívaolaj, bor) nagybani kereskedelmének legfőbb szállítóedényei voltak. Vizsgálatukkal tehát betekintést nyerhetünk az egykori gyártási technológia fejlettségébe, illetve a szállítási és kereskedelemi útvonalhálózat működésrendjébe, ami által az akkori társadalmi és gazdasági viszonyokat is jobban megismerhetjük. A közel 1 m magasságú, alig 1 cm falvastagságú, több szintben szorosan egymáshoz illesztett, termékkel teli amphoráknak akár az 1000 km-es, sokszor hányattatott vízi és szárazföldi szállítást is ki kellett bírniuk törés nélkül.

A fažanai műhely fénykorában évi 10-12000 db-ot gyártott, tehát nagy tömegben kellett tökéletes, de csak egyszer használatos, vagyis nagyon olcsó terméket készíteni. (MANGE és BEZECKY, 2006)

Az amphorák gyártásához tehát jó alapanyag kellett, a fažanai amphorákhoz használt nyersanyag pontos összetétele és származási helye azonban máig nem tisztázott. Ennek meghatározásának egyik lehetséges módszere a mikromineralógia, elsősorban a nehézásványok vizsgálata.

Kutatásom célja a gyártó műhely tágabb környezetéből származó nyersanyagok (terra rossa és flis) és az amphorák nehézásványainak összehasonlításával a kerámiák anyagának és az anyag származási helyének meghatározása.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

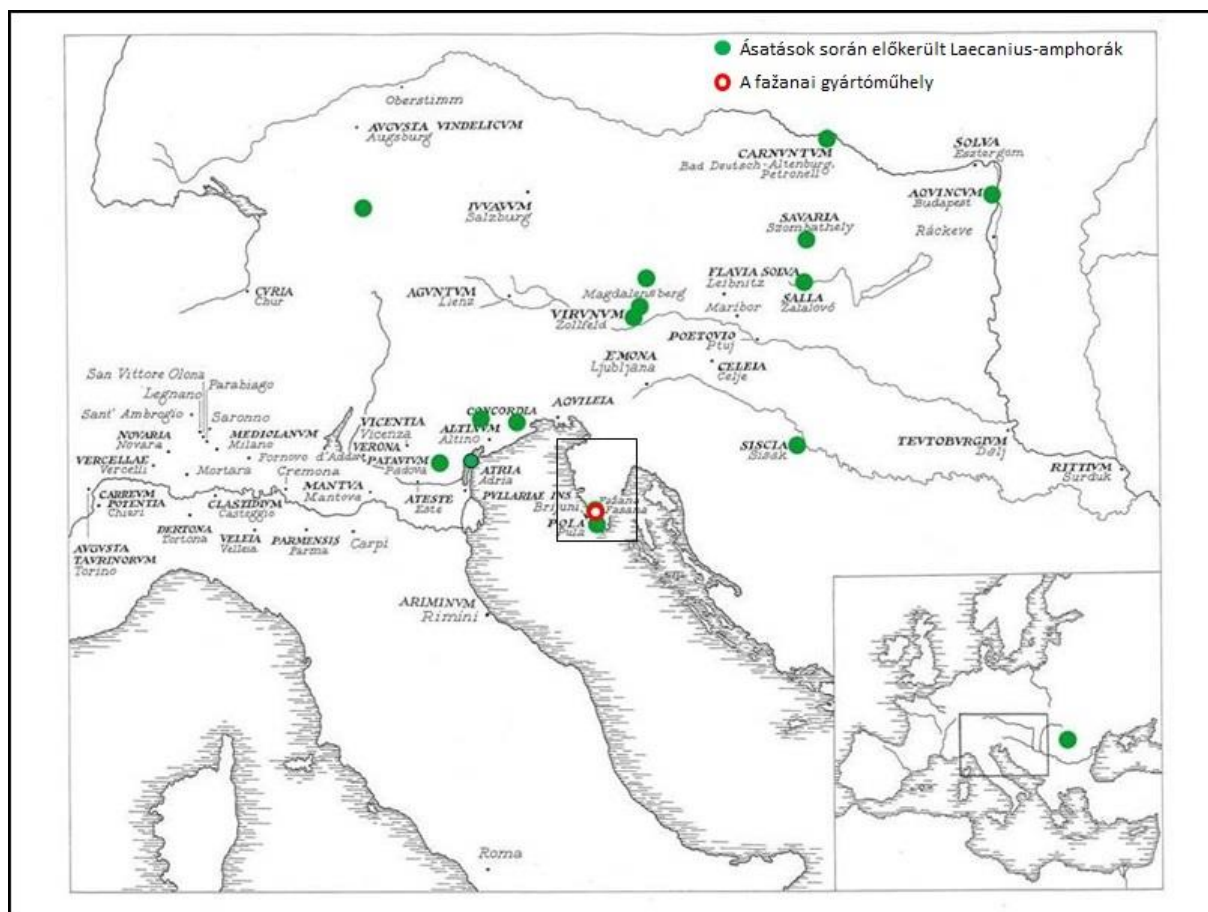
2.1 Régészeti áttekintés

A mediterrán éghajlaton a virágzó mezőgazdaság hatalmas mennyiségű szőlőt és olíwabogyót termelt. Az ősi szöveges források szerint az isztriai olívaolaj a legjobbak közé tartozott a piacon, a római császár asztalára pedig többek közt az innen származó bor került. Saját sajtológépeik, tároló pincéik és kerámiaműhelyük (figlina) volt. Az isztriai birtokokon (villákban) termelt olaj kielégítette az északi római provinciák (Raetia, Noricum és Pannonia) és Észak-Olaszország jelentős részének igényeit több mint egy évszázadon keresztül. Ezekről a területekről nagy mennyiségű amphora került elő az ásatások során. Az i. e. első századtól az i. sz. második század elejéig az isztriai olívaolaj-termelés nagyon jól dokumentált, Hadrianus császár (i. sz. 117-138) uralkodásának vége felé azonban az isztriai olívaolaj hirtelen eltűnt a piacról, és szerepe helyi jelentőségűvé csökkent (MANGE és BEZECKY 2006, 2007 és hivatkozásai).

Pula és Tergeste között számos olajtermelő berendezéssel ellátott villa nyomaira bukkantak. Tulajdonosaik többsége szenátor vagy a római elit tagja volt. Az egyik legjobban ismert földbirtokos családnak, a Laecanius családnak is itt volt villája, Fažanában, Pulától 9 km-re északra. Az i. e. első és az i. sz. második század között itt termelt olajat saját készítésű amphorákban, hajókon exportálták Észak-Itáliába és az Alpok-menti provinciákba. Horvátország, Ausztria, Svájc, Szlovénia és Magyarország területéről több mint 50 helyről kerültek elő Laecanius-amphorák (2. ábra).

Hagyományosan a Laecanius-amphorákat mind Dressel 6B típusúnak tekintik, de az egyes példányok között adódhatnak kisebb-nagyobb eltérések. (Sajnos csak néhány egész amphorát találtak eddig, a túlnyomó többségük töredék, ami megnehezíti az esetleges csoportok közötti eltérések azonosítását.) Minden dokumentált amphora szegélyén két pecsét látható, középen a családé, a fül fölött pedig a gazdatiszt (vilicus) pecsétje. A Laecanius pecsét mellett több mint 40 különböző vilicus pecsét szerepel, amelyekből megismerhetjük a műhely relatív kronológiai történetét. A fažanai figlina három szakaszát különítik el a pecsétek és az írott történelmi adatok alapján: (1) az i. e. első sz. végétől i. sz. 78-ig tartozott a Laecanius családhoz, (2) Vespasianus császár (i. sz. 69-79) uralkodása alatt a Laecanius család örökös nélkül maradt, így a tulajdonjog a császárra szállt át. A feljegyzések szerint a műhely

Hadrianus uralkodása alatt is használatban állt. (3) Úgy feltételezik, hogy az i. sz. második század harmadik felétől M. Aurelius Iustus bérelte a műhelyt. (MANGE és BEZECKY 2006, 2007 és hivatkozásai)



2. ábra: A Laecanius-amphorák eddig ismert területi elterjedése (Szakmány és mtsi., 2013)

2.2 Földtani háttér

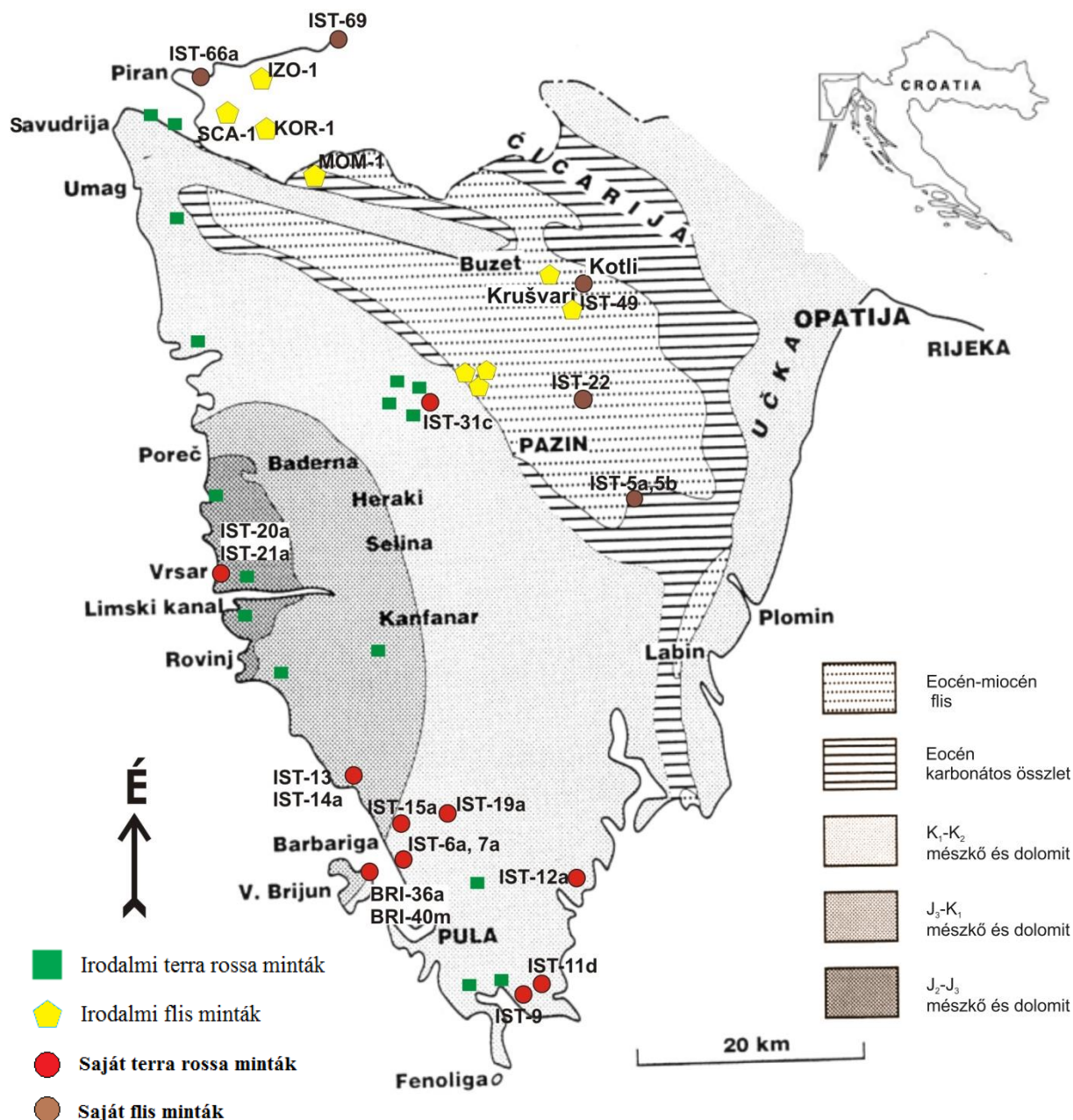
Az Isztriai-félsziget (3. ábra) Horvátország északnyugati részén helyezkedik el. Területe mintegy 2820 km²-t tesz ki, míg a maximális tengerszint feletti magasságát (1400 m) a Čićarija-hegységben, a félsziget északkeleti részén éri el. Délnyugaton tipikus karsztos plató található, 5-10 m mély dolinákkal és karrokkal. Ezt közvetlenül terra rossa talaj fedi. A vízhálózat a félsziget középső részén rendkívül fejlett, három fő folyója (Dragonja, Mirna és Raša) is erről a területről ered.



3. ábra: Isztria domborzata és az említett területei, városai
(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a2/Dinarisches_Gebirge_Topo.png)

Az Isztriai-félsziget geológiai szempontból három régióra osztható (4. ábra): a jura-kréta-eocén karbonát platform Isztria déli és nyugati részén; kréta-eocén karbonátos-törmelékes zóna, jellemzően áttolódásos szerkezetekkel Kelet- és Északkelet-Isztriában (Plomintól és Učkától Ćićarijaig) és a – a horvát szerzők szerint (pl. VELIĆ és mtsi., 2003) hagyományosan eocénnek tartott, MIKES és mtsi. (2008) szerint azonban miocén (a továbbiakban: miocén) – flis medence Isztria középső részén (DURN és mtsi., 1999). Itt gyakran két medencét különböztetnek meg a Mirna jobb (Trieszti-medence) és bal partján (Pazin-medence). A felső-pleisztocén lösz csak a déli és északkeleti régióban jelenik meg.

A karsztos folyamatok és az időjárás hatására a félszigeten különböző típusú üledékek, paleotalajok jöttek létre.



4. ábra: Isztria egyszerűsített földtani térképe és a mintavételi helyek
Irodalmi minták: Durn és mtsi. (2007) és Mikes (2003)
(térkép: Velic és mtsi., 1995 alapján)

A geológiai sajátosságoknak megfelelően Isztria különböző területei speciális neveket is viselnek, ezek „Vörös”, „Szürke” és - néhány helyen - „Fehér” Isztria.

Az Isztriai-félsziget az Adriai-karbonátplatform északnyugati része, földtani értelemben két részre osztható: a félsziget nagy részét a vörös talajjal, vagy terra rosszával fedett mezozoós-paleogén karbonátos összlet („Vörös Isztria”) borítja (délen és nyugaton), míg északkeleten a márgás vagy homokos talajjal fedett miocén flis („Szürke Isztria”) jellemző.

Isztria keleti-északkeleti részén a kréta-eocén karsztosodó mészkőkibúvásokat esetenként „Fehér Isztria” néven emlegetik (VELIĆ és mtsi., 2003).

2.3 A lehetséges fő nyersanyagok (terra rossa és flis) nehézásványos összetétele

A terra rossa egy vöröses (Munsell skála szerint 5YR és 10R közé eső) színű agyagos, iszapos-agyagos talaj, ami leginkább a Mediterrán régióban terjedt el, mészkőre vagy dolomitra diszkordánsan települ. Egyes kutatók szerint a karbonátos kőzetek oldási maradékából származik, mások szerint azonban nem képződhetett kizárólag a karbonátos kőzetekből, hozzájárulhatott a magasabban fekvő területek törmelékes üledékes kőzeteinek lepusztuló anyaga is (DURN és mtsi., 1999).

A flis képződése ennél kevésbé vitatott téma, egyértelműen hegységképződési folyamatokhoz és a hegység kiemelkedéséhez kapcsolódó megnövekedett reliefkülönbség miatti lepusztuláshoz kapcsolódik. A Pazin-medencében felhalmozódott tengeri üledékösszlet elsősorban a meszes-terrigén turbiditeket képviseli.

Az első mikromineralógiai vizsgálatokat WOLETZ (1962) végezte a Pazin-medencéből származó márgával összefogazódó jól osztályozott homokkő 50-100 μm közötti mérettartományán. Ez alapján a medencében meglehetősen sok (átlagosan 64%) az opak ásvány (vagy az opak ásvánnyal kitöltött foraminifera), arányuk egyes esetekben akár a 98%-ot is eléri. Néhány helyről jelentős mennyiségű autigén ásvány (anhidrit és barit) került elő. Az áttetsző ásványok jelentős részét gránátok (32-65%) alkotják, majd ezt követi a cirkon (8-32%) és a turmalin (4-24%). Kromit nem minden esetben jelenik meg, de ha igen, számuk jelentős: 8-24 %. Jellemző még a rutil (3-11%) és az apatit (3-9%), valamint szórványosan anatóz, staurolit és kloritoid is előfordul. WOLETZ a Trieszti-medencében végzett korábbi megfigyelései alapján megállapította, hogy a Trieszti-medence jóval gazdagabb az áttetsző és az összes nehézásvány tekintetében is, mint a Pazin-medence. Az áttetsző elegyrészek egyes fajtái közel azonos részarányt képviselnek a két medencében, csak a klorit, apatit és kloritoid esetében adódik kis különbség.

MAGDALENIĆ (1972) Pazin-medencei vizsgálatai is megerősítik, hogy a homokkő és márga mikroásványai között sok az opak elegyrész (homokkőben: ~60%, márgában: ~70-80%). Emellett nagyon változékony klorit- és biotittartalmat (0-59%) tapasztalt. Az autigén barit egyes márgákban akár a 98%-ot is elérheti, a homokkövekből viszont általában hiányzik (1.

táblázat). Mindkét közettípus áttetsző ásványai közt uralkodnak a gránátok (25-50%) és az ultrastabil ásványok (cirkon, turmalin, rutil). A homokkövek nehézásványai között második leggyakoribb a turmalin (8-30%), míg a márgák több cirkont tartalmaznak. (A márgák nehézásványainak százalékos arányait azonban nem közölte.) A homokkövek a fent említetteken kívül még krómspinellt (3-13%) tartalmaznak, a többi ásvány megjelenése viszont nem konzekvens: apatit 0-45%-ban, epidot 0-8%-ban, zoizit 0-6%-ban, kloritoid szintén 0-6%-ban, brookit 0-4 %-ban, staurolit és titanit 0-2%-ban, glaukofán 0-1%-ban fordul elő. A márgák nehézásvány-fázisában a krómspinellek mennyisége körülbelül azonos az egyes ultrastabil ásványok mennyiségeivel, a többi ásvány: apatit, kloritoid, epidot, brookit, titanit és staurolit csak kis mennyiségben fordul elő.

1. táblázat: Mennyiségi nehézásvány-meghatározások a Pazin-medence homokköveiből
(Magdalenic, 1972 adatai)

Paz=Paz, Dra= Draguč, Krp= Krpani, Kot= Kotle, MK=, Pin= Pintor, SvK= Sv. Križ, Kas= Kaščerga, Gre= Gračišće

minta	Paz 817	Paz 819	Paz 825/4	Paz 826	Paz 828	Dra 36	Dra 38	Dra 40	Dra 42	Dra 43	Dra 44	Dra 46	Dra 47	Dra 51	Dra 52	Krp 54	Krp 55a	Krp 56	Kot 104	Kot 103
Grt	50	26	25	19	14	28	30	23	45	33	51	52	26	27	46	48	45	46	43	30
Zrn	3	5	8	3	2	40	30	44	20	19	19	11	19	38	21	6	9	25	6	12
Tur	40	42	40	30	28	6	4	6	5	7	12	18	13	6	10	17	14	7	27	41
Rt	1	4	10	2	2	13	18	15	13	21	11	11	17	10	10	11	18	10	9	5
CrSpl	1	5	6	6	4	11	17	7	14	16	5	6	23	16	7	12	10	8	10	7
St	1	1	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
Ttn	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ep	0	6	5	5	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Zo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ap	2	6	4	28	45	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Brk	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Cld	1	4	2	3	0	2	1	4	2	2	2	2	2	2	6	3	4	2	4	4
Gln	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

minta	Kot 107	Kot 159	MK 61a	MK 63a	MK 65a	Pin 32	SvK 11c	SvK 10b	SvK 9	Kas 350a	Kas 348	Kas 346a	Kas 345a	Kas 373a	Kas 367	Kas 362a	Kas 354	Grc 850	Grc 854	Grc 856
Grt	85	78	41	33	73	44	39	61	39	44	36	20	36	37	36	26	24	42	27	20
Zrn	2	2	35	33	8	20	22	23	23	6	10	15	24	10	13	13	18	6	8	4
Tur	6	14	7	14	11	25	6	11	17	19	28	21	24	21	20	22	25	31	35	38
Rt	3	0	8	7	0	7	16	0	5	6	7	6	7	7	12	9	9	5	5	1
CrSpl	1	0	5	11	6	3	11	5	14	7	6	2	4	3	7	4	3	4	6	2
St	3	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	2	1	0
Ttn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	1	1	0	0	0	0	2
Ep	0	3	1	1	0	0	0	0	0	8	6	5	0	1	2	0	1	4	1	3
Zo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	1	0	0	0	0	0
Ap	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	19	0	19	7	23	16	2	16	23
Brk	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2
Cld	0	2	2	1	1	1	6	0	0	2	3	3	3	1	1	3	3	2	0	5
Gln	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0

ALBERTI és mtsi (1999) krómspinellt, különböző típusú gránátokat, cirkont, turmalint, rutilt, piritet, kloritoidot, orto-és klinopiroxént, staurolitot és amfibolokat írtak le a flis kőzetekből. Ez egybevág a PAVIČIĆ és mtsi. (2003) által közöltekkel, miszerint a félszigeten található flis fő nehézasványai a gránát, cirkon, turmalin, rutil és a krómspinell. 2% alatti mennyiségben kloritoidot is meghatároztak.

MIKES TAMÁS diplomamunkájában (2003) foglalkozott többek között ÉNy-Isztria (Trieszti-medence) nehézasvány-társulásával is (2. táblázat), eredményeit a csillámok és az opak szemcsék figyelmen kívül hagyásával közölte.

2. táblázat: Északnyugat-isztriai flisek nehézasványainak százalékos összetétele (MIKES, 2003)

Medence Minta	Isztria KOR-1	Isztria SCA-1	Isztria IZO-1	Isztria MOM-1
CrSpl	13.2	17.0	16.3	27.1
Spl	0.0	0.6	0.3	1.1
Zrn	5.5	19.1	7.1	12.9
Tur	10.7	6.1	4.3	4.7
Rt	7.4	9.7	8.0	8.7
Lcx	4.0	3.9	2.8	3.9
Ap	6.1	2.4	2.5	0.8
Grt	47.5	29.4	50.3	37.1
Cld	1.2	1.5	1.8	0.8
St	1.2	0.9	1.2	0.0
Ep	0.0	0.3	0.3	0.0
Zo	0.0	0.6	0.3	0.0
Czo	0.9	0.0	0.0	0.0
Gln	0.0	0.3	0.3	0.3
Hbl	0.0	0.3	0.3	0.0
Tr	0.0	0.0	0.6	0.0
And	0.0	0.6	0.0	0.0
Sil	0.3	0.9	0.9	0.0
Ky	0.0	0.0	0.0	0.0
Opx	0.0	3.0	0.9	0.0
Cpx	0.3	0.6	0.6	1.1
Mnz	0.3	0.3	0.0	0.3
Ttn	1.2	2.4	1.2	1.3
Aln	0.0	0.0	0.0	0.0
Összes szemcse	326	330	328	380

Az általa vizsgált 63-125 µm közötti mérettartomány ezen a területen viszonylag egységes képet mutat. Az uralkodó nehézasvány a gránát (30-51%), de a krómspinell aránya (17-23%) is nagyon jelentős. A rutil és a turmalin részaránya körülbelül 10-10%-ot képvisel. A cirkon mennyisége mintánként nagyon eltérő lehet (5-20%), az apatit viszont szinte mindig csak kis mennyiségben van jelen (2%). Járulékos nehézasványként kloritoid (~1%), nyomokban staurolit, andaluzit, szillimanit, epidot, zoizit, klinozoizit, glaukofán, tremolit, zöld spinell (pleonaszt), ilmenit, magnetit, klinopiroxén, hornblende, monacit és titanit fordul elő. A klorit, a szerpentin és az ortopiroxén viszonylag ritka. Érdekesség, hogy a glaukofán és a

tremolit a környék flismedencéinek nehézásvány-eloszlását vizsgálva csak az Isztriai-medencében jelenik meg.

MIKES az isztriai mintákban található gránát és turmalin optikai tulajdonságait is részletesen vizsgálta (3. táblázat). Ezek alapján a gránátok túlnyomó többsége szintelen (sztereomikroszkópban halványrózsaszín), a maradék 2-12% pedig rózsaszínű. Jellemzően nem korrodáltak, de egyes minták esetén kis mértékben korrodált, vagy kerekített gránát szemcsék is szokványosak. A turmalin szemcsék töröttek vagy prizmás termetűek, a koptatottság és a korrózió nem jellemző rájuk. (Mivel a mintaelőkészítést kalapácsolmalomban végezte – amelynek előnye, hogy az anyag a kristályok mentén válik el – szinte teljesen elhanyagolható a nehézásványok mintaelőkészítés során való összetöredezése.) A kéktől eltekintve szinte minden színben megtalálhatók.

3. táblázat: Az Isztriai-medence gránátjainak és turmalinjainak optikai vizsgálati eredményei (MIKES, 2003)

minta	medence	szintelen	rózsaszínű	sárga gránát megjelenik	kagylós törés, nincs korrózió	csomós, mirigyes felület;	kismérvű korrózió	fűrészfogszerű felület; erős korrózió	kerekített	szemcsék száma
MOM-1	Is	96	4		++	.	.			141
SCA-1	Is	98	2		+	+	.			97
KOR-1	Is	88	12		+	.	.		+	155
IZO-1	Is	98	2		++	.	.	.	.	166

TURMALIN	szintelen-zöld	szintelen-barna	szintelen-fekete	rózsásbarna-fekete	sárgásbarna-fekete	halványbarna-sötétbarna	bázis szerinti elválás; zöld	halványzöld-sötétzöld	zöld-barna	zöld-fekete	kék	barna-kék	szintelen-kék	törött	prizmás termetű	nagy prizma + piramis	koptatott	korrodált felületű	szemcsék száma
MOM-1	22	11	0	22	11	11	6	0	6	11	0	0	0	++	+				18
SCA-1	5	20	0	15	15	25	20	0	0	0	0	0	0	+	+			.	20
KOR-1	11	11	0	23	9	17	14	9	0	6	0	0	0	+	+			.	35
IZO-1	0	43	0	14	7	0	36	0	0	0	0	0	0	++	+				14

DURN és mtsi. (2007) vizsgálták a terra rossa és a flis nehézásványait, közülük is a 45-63 µm közötti frakciót. Nehézásványtani szempontból négy főbb csoportba sorolták a szemcséket: áttetsző nehézásványok, opak szemcsék, limonitos elegyrészek és pirittel kitöltött foraminiferák.

Az áttetsző ásványok DURN és mtsi. megállapítása alapján a terra rosszában (15-86%) sokkal nagyobb arányban vannak jelen, mint a flisben (9-37%). Vizsgálataik alapján mind a két nyersanyagban a leggyakoribbak az epidot-csoport (epidot-klinozoizit-zoizit) ásványai, amelyek a terra rosszában általában üdék, mennyiségük 10-66%, míg a flis mintákból csak mennyiségi adat ismert, ez 4-30%. Általában mindkét nyersanyagban azonos méretűek és szabálytalan alakúak. A cirkon a terra rossa mintákban jellemzően éles, szögletes, bipiramisos megjelenésű és nagy számban, akár 15%-ban is előfordulhat, míg a flis mintákban inkább a lekerekített formák, és viszonylag szerényebb mennyiség (max. 6%) jellemző. Mindkét

esetben találhatunk azonban olyan mintát, amelyben egyáltalán nem fordul elő cirkon. A rutil szórványosan jelentkezett mind a terra rossa (0-8%), mind a flis (0-4%) mintákban. Gránátot minden vizsgált minta tartalmazott, ezek polarizációs mikroszkópban mind színtelenek, általában szabálytalan alakúak és korrózió nyoma is gyakran megfigyelhető rajtuk. A gránátok a flisben általában gyakoribbak (átlagosan 9%), mint a terra rossában (átlagosan 4%). A turmalin szemcsék Durn és mtsi. (2007) szerint mind a terra rossában mind pedig a flisben prizmásak, időnként függőleges barázdákkal vagy véletlenszerű zárványokkal jelennek meg, végük pedig általában szabálytalan. A törött példányok nem jellemzőek. Főként barnák, de terra rossa mintákban – ahol egyébként is gyakoribbak (átlagosan 5%) – néhány kék fajtát is megfigyeltek. A flis mintákban részarányuk átlagosan 3% (*A melléklet*)

Opak szemcséket és limonitos elegyrészeket minden minta tartalmaz, nagyobb mennyiségben a flisben fordulnak elő (átlagosan 25%). de a terra rossában sem ritka (átlagosan 16%). A pirites foraminiferák a terra rossában nem, csak a flisben találhatók, a bennük található pirit autigén eredetű. (*B melléklet*)

A flis típusú üledékek a terra rossánál – az irodalmi adatok alapján – sokkal heterogénebb képet mutatnak.

2.4 Az amphora-kutatások eddigi eredményei

A Laecanius műhelyből származó, i. e. 10-5 és i. sz. 78 között készült amphorákat már számos régészeti és geológiai vizsgálatnak vetették alá.

A régészeti leírás után általában a makroszkópos és fénymikroszkópos szöveti analízis az első a kerámiák leírása során, hiszen fontos információkat hordoz a kerámia nyersanyagára és gyártási technológiájára vonatkozóan. Ide tartozik a szín, a fizikai tulajdonságok, a szövet, az alkotórészek és a zárványok. Ezen tulajdonságok alapján a jelzett időszakban kilenc szövettípusba sorolhatók az amphorák, de a töredékek nagy részére főleg két szövettípus jellemző. Ez azt jelzi, hogy az edények nyersanyaga és a gyártási technológia tulajdonképpen változatlan maradt a műhely működése során.

Mivel a kerámia színe alapvetően az égetéstől függ, azon belül is az égetés, illetve a szorososan ezt követő hőntartás oxidációs-redukciós viszonyaitól, pusztán az amphorák színe alapján nem követhetünk bizonyos nyersanyagok jelenlétére vagy hiányára. Ha az égetés vagy hőntartás oxigén jelenlétében történik, akkor téglavörös-vörös, sárgászöld-sárga színű

(ritkán fehér) kerámiát kapunk. Ezt a Kőzettan-Geokémiai tanszék és a Nemzeti Örökségvédelmi Központ kísérletei is igazolták, melyeket Pánczél Péter végzett: 750°C-on, elektromos kemencében, egy óra sütés és hűtőtartás mellett a flis is vörösre ég.

A kerámia egy természetes eredetű anyagokból álló antropogén, magas hőmérsékleten keletkezett metaüledékes kőzetként kezelhető, így a geológiai laboratóriumi módszerek éppolyan jól használhatóak, mint egy közönséges kőzet esetén. PEACOCK (1967, 1970) volt az első, aki nehézasvány-vizsgálatot végzett kerámiákon. Ő ismerte fel a módszerben rejlő lehetőségeket a nyersanyag származását, illetve a kerámiák osztályozását és csoportosítását illetően. A különböző műhelyek gyártási technológiájának rekonstruálásához szükséges a soványítóanyag azonosítása, a nehézasvány-vizsgálat pedig ehhez is hatásos módszernek bizonyult (DICKINSON, 2007). Számos kutató alkalmazta már a nehézasvány-analízist kerámiák, főleg amphorák tanulmányozására (pl. WILLIAMS, 1977; PEACOCK és WILLIAMS, 1986)

A röntgendiffrakciós (XRD) és petrográfiai vizsgálatok azt mutatták, hogy a Dressel 6B típusú amphorák legfőbb törmelékes elegyrésze a kvarc, földpátokat, illitet és csillámokat csak kisebb mennyiségben tartalmaznak (JÓZSA és SZAKMÁNY, 1987; JÓZSA és mtsi., 1994). A legújabb kutatások szerint (SZAKMÁNY és mtsi. 2013) az amphorák alapanyagát vörösbarnára égett agyag alkotja, a nem plasztikus elegyrészek száma meglehetősen változó, méretük többségében 100 µm alatti. Kevésbé orientáltak és jól osztályozottak. Porozitásuk változó, eredetileg kompaktak. A nem plasztikus elegyrészek dominánsan kvarc, illetve kvarcit anyagúak, ritkábban földpátok (ortoklász, plagioklász, mikroklin) vagy csillámok. A csillámok között a muszkovit jellemzően nagyobb részarányt képvisel ezekben a kerámiákban, mint a biotit. A kis számban előforduló akcesszóriák petrográfiai vizsgálatok alapján gránát, hornblende, turmalin, zoizit, rutil és cirkon. Karbonátos ősmaradványokban (molluszkák és foraminiferák) gazdag, és változó mennyiségében mikritet és pátitot is tartalmaz. Néhány kovás anyagú maradvány (szivacsstű és Sterraster) is előfordul, ezek nagyjából opál anyagúak, de van közöttük kalcedon kitöltésű is. Ritkán különböző kőzettörmelékek (homokkő, aleurolit, agyagkő és mészkő) is feltűnnek.

SZAKMÁNY és mtsi. (2013) petrográfiai vizsgálatai alapján az amphorák három különböző nyersanyagból tevődnek össze, ezek a terra rossa, flis és tengeri üledék. A terra rossa eredetre utalnak az amphorákban talált terra rossa zárványok, és a korábbi munkákból (MANGE és BEZECZKY, 2006, 2007) ismert nehézasvány-együttes, amely nagy hasonlóságot mutat az

amphorák és a terra rossa nehézasványai között. Az amphora-töredékekben található recens foraminiferák, molluszkák és opál anyagú szivacsstűk a mai tengerparti homokban is megtalálhatók. A flisre az amphorákban található globigerinoid foraminiferák és egy kalcedon illetve egy opál anyagú fosszilis szivacsstű is utal. A szivacsstűk közül a kalcedon anyagúak a leggyakoribbak, ezek jellegadóak az amphorában, a homokos flis törmelékanyagban és az eredeti flisben is megtalálhatóak.

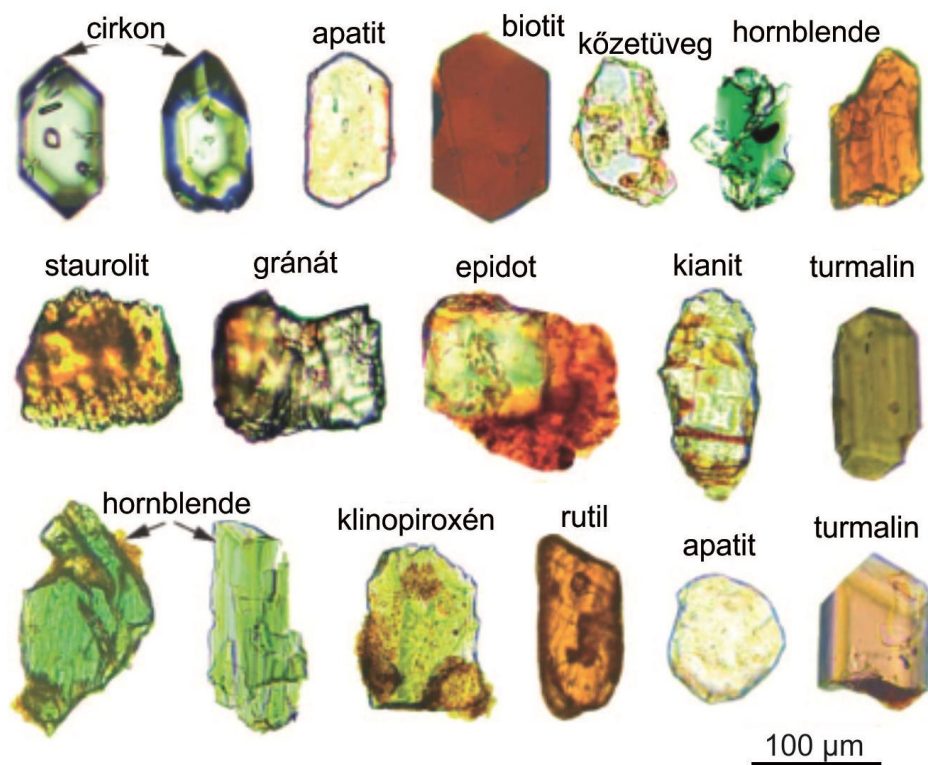
Az amphorák kiégetési hőmérsékletére is következtetni lehet az XRD vizsgálatok alapján, ez 750 és 900 °C közötti hőmérsékletnek adódott (WEISZBURG és PAPP, 1987). Ezt az intervallumot további három hőmérsékleti tartományra bonthatjuk az égetést átvészelt karbonát, és az égetéssel keletkezett piroxén és gehlenit ($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSiO}_7)$, melilit csoport) megjelenési arányai alapján. (1) „alacsony” kiégetési hőmérséklet esetén a karbonát a meghatározó, a piroxén és a gehlenit hiányzik; (2) „közepes” kiégetési hőmérséklet esetén a karbonát már átalakult, de még felismerhető, ugyanakkor piroxén és gehlenit is megjelenik; (3) „magas” kiégetési hőmérséklet esetén karbonát már nem jelenik meg, a kalcium-szilikátok (piroxén és gehlenit) azonban jól felismerhetők. A vizsgált minták általában az „alacsony” hőmérsékleti tartományba estek (MANGE és BEZECZKY, 2006).

A cserépdarabokból készült nehézasvány-vizsgálatok kimutatták (4. táblázat, 5. ábra), hogy az amphorák változatos és jó megtartású nehézasványokat tartalmaznak, az epidot csoport tagjaiban és gránátban a leggazdagabbak. Cirkon, turmalin és barnaamfibol meglehetősen nagy számban fordul elő. Az apatit, rutil és a kianit eléggé gyakori. Más fajták kis számban, de gyakran fordulnak elő, úgy, mint: zöld és barna spinell, számos amfibolfaj, piroxén, staurolit, kianit, ritkán anatóz, brookit, allanit, korund, kék alkáli amfibol, szerpentin és szillimanit. A csillám csoportból a biotit a leggyakoribb, alkalmanként kis számban klorit is előfordul, a fehér csillámok azonban ritkák.

Az eredeti szemcsealakok ugyan módosulhattak a gyártás során, de mivel az idiomorf és prizmás alakok meglehetősen gyakoriak és a tipikus oldási tulajdonság jelentkezik néhány piroxénon, stauroliton és kianiton, - ami a diagenezis során az eredeti üledékes kőzetben jöhetett létre – a csiszolódás mértéke nem lehetett nagyon nagy.

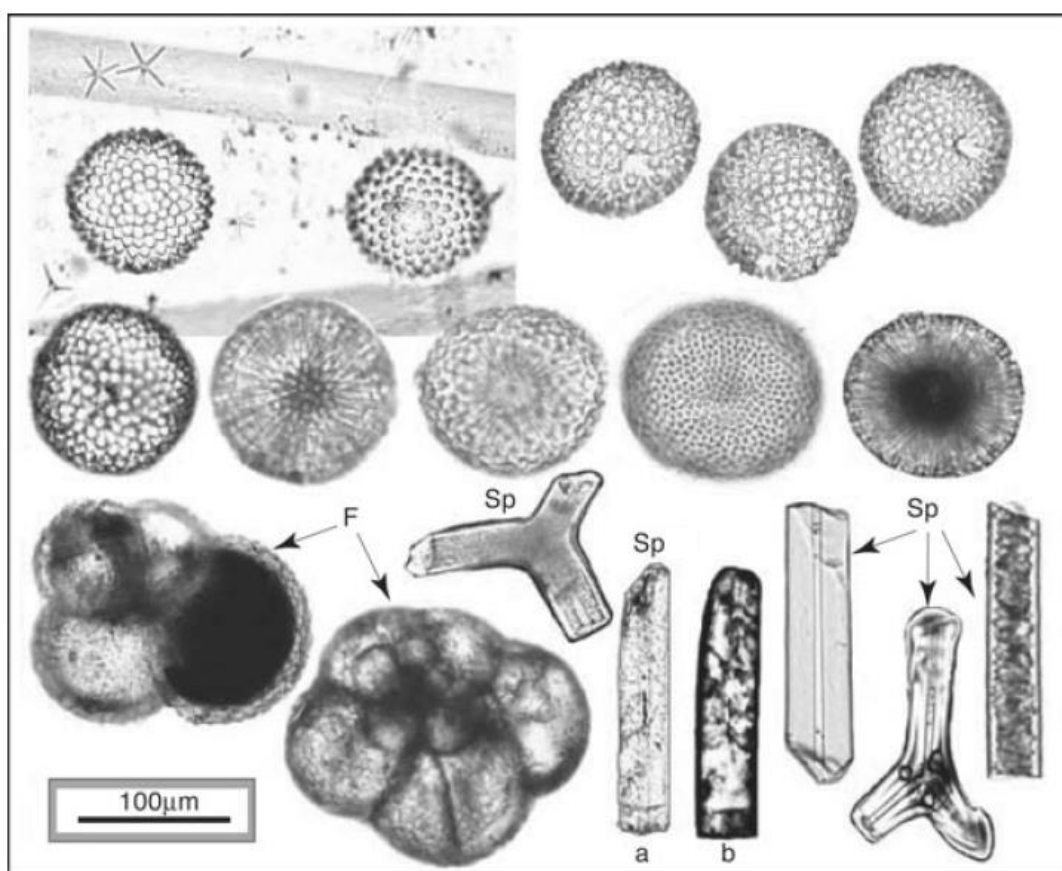
4. táblázat: A Laecanius amphorák nehézásványos összetétele (MANGE és BEZECZKY adatai, 2007)

	cirkon	turnalin	apatit	rutil	staurolit	kianit	epidot-csoport	titanit	hornblende	piroxén	krómspinell	gránát	egyéb	Megjegyzések, egyéb fajok
Amphora cserépdarabok														
A 62	11	14	9	4	0	1	29	1	7	0	1	23	0	Antofillit nyomokban
A 75	11	14	8	5	0	0	29	3	8	0	0	22	0	
A 336	18	7	5	10	0	0	27	0	9	0	0	24	0	
A 388	4	13	15	3	0	1	31	2	20	0	0	12	0	
A 414	6	9	7	5	1	1	30	1	25	0	1	12	2	Antofillit, tremolit
A 433	8	12	4	8	0	1	30	1	15	1	1	19	2	Tremolit
A 656	4	12	4	2	0	0	38	3	11	1	0	25	0	
B 151	8	18	6	1	0	0	26	4	1	3	0	28	3	Sillimanit, ortopiroxén
B 453	7	9	20	2	0	2	29	1	10	0	0	21	0	
B 339	1	3	7	6	0	1	38	2	15	0	0	28	0	Kőzetüveg töredékek
C 169	21	17	5	8	0	1	17	2	8	0	1	20	2	Allanit, tremolit, kianit nyomokban
D 461	4	4	7	3	1	0	33	5	4	1	1	36	2	Allanit
D 595	4	5	12	1	1	1	23	3	4	0	1	43	1	Allanit
E 71	10	12	4	8	2	0	23	0	12	0	0	29	0	
E 362	16	1	13	7	0	1	15	4	12	1	2	28	0	Ortopiroxén nyomokban
F 161	17	10	10	2	0	0	27	0	8	0	0	25	0	
F 254	16	11	6	2	0	0	32	3	13	1	0	16	1	Halványkék amfibol
G 459	11	3	13	2	0	0	38	1	12	5	1	12	3	Korund, zöld spinell
H 467	3	2	10	1	0	1	43	2	19	0	0	16	4	Glaukofán, szerpentin, tremolit
H 125	2	5	9	0	0	0	36	3	11	0	1	32	1	Sillimanit
I 370	6	6	9	4	0	0	46	1	15	0	0	12	1	Tremolit, szillimanit nyomokban
I 472	9	5	5	2	0	1	48	3	9	1	0	17	0	Ortopiroxén nyomokban
I 611	2	7	2	3	0	1	47	3	18	0	0	12	4	Tremolit



5. ábra: Nehézásványok amphora cserepekből (MANGE és BEZECZKY, 2007)

MANGE és BEZECZKY (2006, 2007) összehasonlító értékelésében az isztriai terra rossa és a Laecanius töredékek nehézasványai jelentős hasonlóságot mutatnak, ami véleményük szerint azt jelenti, hogy a műhely valószínűleg ezt a nagy mennyiségben és területen helyben rendelkezésre álló anyagot használta az amphorák alapanyagaként, amit valamilyen karbonátos és/vagy törmelékes soványító-anyaggal keverték. Az amphora és a terra rossa nehézasványai között mutatkozó különbségeket a terra rossa térbeli és időbeli heterogenitásának tulajdonították. Szerintük a terra rossa nagy mennyisége és területi elterjedése magyarázza a műhely sikerességét és hosszú ideig tartó fennállását. Ezt segíthette elő a soványító anyag helyi, adriai eredete is. Űde, opál anyagú szivacstűket is találtak az amphora töredékekben (6. ábra), amik nagy hasonlóságot mutatnak az Adriai-tenger mai szivacsfaunájával. A tipikusan alpi eredetű nehézasványok megjelenését az amphorákban a Pó folyó hordalékszallító tevékenységével magyarázzák. Azt állapították meg, hogy a világosabb színű, iszaposabb/homokosabb amphorák nyersanyagai ettől eltérő eredetűek. A mikrofauna alapján adriai eredetű alapanyagot elképzelésük szerint valószínűleg helyi lösszel keverték. Erre utal a finomszemcsés szórt karbonát is a mátrixban, mert a lösz – röntgen pordiffrakciós vizsgálatok alapján – rosszul kristályosodott karbonátot tartalmaz.



6. ábra: Plankton foraminiférák (F) és szivacstűk (Sp) a Laecanius amphorákból (MANGE és BEZECZKY, 2007)

Mindezek az irodalmi adatok hasznos áttekintését adják a területnek, azonban pusztán ezekből nem tudunk közvetlen következtetéseket levonni az amphorák nyersanyagaira és azok keverési/keveredési arányára vonatkozóan. Ehhez egységes szemléletű nehézásvány-vizsgálatra van szükség, ez viszont ez idáig még nem történt meg. Kellő figyelmet kell fordítanunk az egyes ásványok megjelenésére: alakjára, színére, esetleges zárványaira, illetve koptatottságára; a vizsgált és minden esetben azonos mérettartományra és a nehézásványok teljes szemcsefrakcióhoz viszonyított relatív mennyiségére is, hiszen döntő jelentőségük lehet különböző forrásterületek azonos ásványainak megkülönböztetésében, vagy kevert anyagok (pl. folyóhordalék, kerámiák) forrásközet-arányának meghatározásában is. Például WOLETZ (1962) munkája remek adalék lehet ehhez, hiszen kis mérettartományt (50-100 μm) vizsgált, vannak mennyiségi adatok a nehézásványok egymáshoz és a teljes szemcsefrakcióhoz viszonyított arányairól is, a minőségi adatok azonban hiányoznak. MAGDALENIC (1972) sajnos nem tüntette fel a vizsgált szemcsék méretét és alakját és azoknak a teljes szemcsefrakcióhoz viszonyított arányát, így ez összehasonlításra nem igazán alkalmas. MIKES (2003) munkájából értékes információkhoz juthatunk Isztiria ÉNy-i részének nehézásványait tekintve, és ha az összeközzethez viszonyított arányokról nincs is információnk, az egymáshoz viszonyított mennyiségek, és az ásványok, alakja, színe, zárványossága, koptatottsága mind jól dokumentált. DURN (2007) munkájából is egyedül a keverési/keveredési arányok meghatározásához szükséges teljes közzethez viszonyított arány hiányzik.

Mivel az irodalmi adatokból is látszik a nyersanyagok és főleg a flis közzetek nehézásvány-spektrumának sokfélesége, szükséges volt egy új, egységes szemléletű, a feltételezett forrásterületről (Koperi-öböl) és összehasonlító területekről is származó mintavételezés és részletes mikromineralógiai vizsgálat, amelyet e dolgozat keretein belül mutatok be.

3 VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A kiválasztott terra rossa, flis és amphora mintákat törés, savazás, iszapolás, szitálás és nehézasvány-leválasztás után sztereomiroszkópban vizsgáltam, majd az ezek alapján kiválasztott mintákból preparátumot készítettem, amelyeket polarizációs és elektronmikroszkópos vizsgálatoknak is alávettem.

Összességében 37 minta iszapolása és szitálása történt meg (14 terra rossa, 11 flis, 2 összehasonlító talajminta és 10 kerámia), az így keletkező mintákból pedig 34-ből készült valamilyen típusú preparátum (részletesen lásd *C melléklet*). A minták mindegyikének megmértem a tömegét a nehézasvány-arányok vizsgálata érdekében (*D melléklet*).

3.1 Minta-előkészítés

A kimért 200 g-os mintákat terra rossa esetében vízzel, konszolidáltabb kőzetek – mint pl. a flis kőzetváltozatainak nagy része – esetén híg savval (4%-os ecetsavban, illetve 5%-os sósavban) dezaggregálva, iszapolással és nedves szitálással általában 4 (<63 µm, 63-125 µm, 125-250 µm, 250 µm<), durvaszemcsés esetben 5 frakcióra (250-1000 µm) különítettem el. Az amphorák esetében csak 0,25-1,5 g-os töredékek álltak rendelkezésemre, ezeket a kis mennyiségük miatt száraz szitálással különítettem 4 szemcseméret-tartományra.

A nyersanyagok esetében két mérettartományból (125-250 µm és 63-125 µm közötti frakció) a nehézasványok bromoformmal (sűrűsége 2,89 g/cm³) történő elkülönítése után preparátumot készítettem. Mivel erre egyelőre nincs jól bevett eljárásrend, számos variációt kipróbáltam, ezért ezek módszerét és tanulságait részletesen rögzítem.

A preparátumkészítés során egy tárgylemezt a kívánt méretben műgyantával (Araldit D és térhálósító 5:1 arányú keveréke) kell bekenni, majd a nehézasványokat óvatosan a gyantába szórni, ügyelve arra, hogy a lehető legkevesebb szemcse kerüljön egymás fölé. Körülbelül 15 perc szilárdulási idő után még egy vékony réteg műgyanta kerül a szemcsékre, majd egy kemény, sík műanyaglap, amelyet le kell súlyozni, hogy a szemcsék lehetőleg egy szintben legyenek (*7. ábra*). Miután megszáradt, a műanyag lap leválasztását követő csiszolás és polírozás után tulajdonképpen egy fedetlen vékonycsiszolatot kapunk.



7. ábra: Lesúlyozott preparátumok

Az így készült preparátumok előnye, hogy az üveggel fedett rész felől a szemcsék épek, így a színük és alakjuk kiválóan vizsgálható sztereomikroszkópban, ugyanakkor a másik oldaluk sík, ezért a polarizációs mikroszkóp is segítheti a szemcsék meghatározását. Hátránya azonban, hogy a szemcsék minden igyekezet ellenére gyakran nem egy síkban helyezkednek el, a műgyanta buborékos lehet, főleg a szemcsék környezetében, ezzel is rontva láthatóságukat és tapadásukat, minek következtében csiszolás és polírozás során kipereghetnek a műgyantából. Nehezíti a szemcsék meghatározását, hogy ebben az esetben nem tudhatjuk biztosan, hogy milyen vastagságúak az adott ásványszemcsék, illetve mivel nem minden szemcse van a felszínen, elektronmikroszkóppal nagyon nehéz tájékozódni a mintában. Annak érdekében, hogy a szemcsék egy síkban helyezkedjenek el, kétoldalú ragasztóra, egy üveglemezre szórtam a szemcséket, amire egy formát helyeztem és ebbe vékony rétegben műgyantát öntöttem. Ezután az üveglemezt eltávolítva lepolíroztam a ragasztót. A szemcsék ezzel a módszerrel egy síkban helyezkednek el, de a műgyanta ilyen vastagságban anizotrópnak bizonyult, ami nagyban nehezítette a meghatározást. Mivel az ásványi összetétel meghatározásához elektronmikroszkópban nem feltétlenül szükséges sík felület, a szemcsék széntartalmú kétoldalú ragasztóba szórásával sikerült ilyen jellegű információkhoz jutnunk. Ugyanezt a preparátumot azonban már nem lehet sztereo-és polarizációs mikroszkópban használni, viszont akármilyen vékony műgyantába szórva a szemcséket, azok lesüllyednek és rettenetesen megnehezítik a preparátumban való tájékozódást.

Az amphorák esetében a kis mintamennyiség és a 63-125 μm -es tartomány csekély nehézasvány-tartalma miatt indokolt volt a 63 μm alatti szemcseméret-tartományt is vizsgálni, így azonban mindkét nyersanyagtípusból szükség volt még egy mintára ebből a szemcsenagyságból.

3.2 A nehézasványok optikai vizsgálata

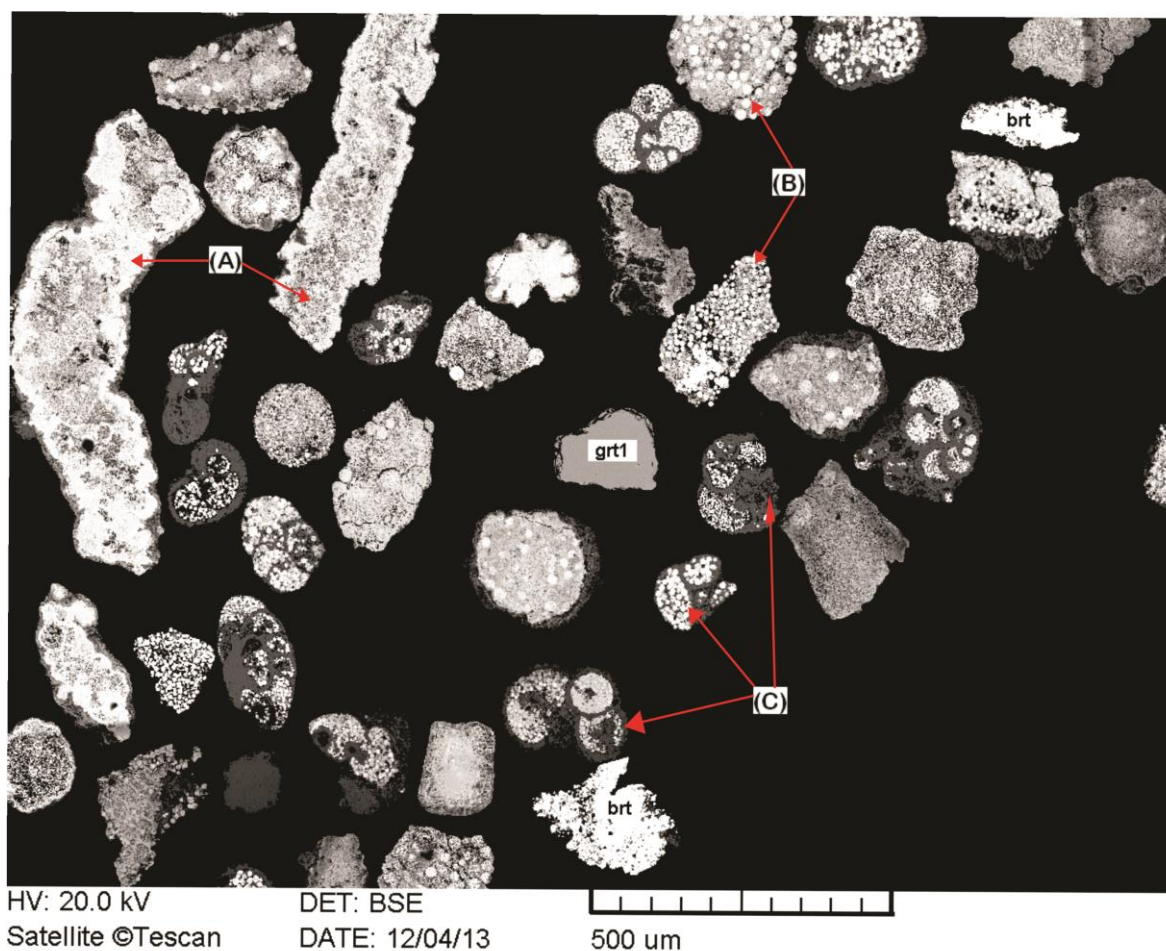
Sztereo- és – ahol lehetett – polarizációs mikroszkópi vizsgálatok alapján a mintákat kategorizáltam, és később a fő típusokat (összesen 15 minta) részletes elektronmikroszkópos vizsgálatoknak vettem alá. A fénymikroszkópos vizsgálatokat Nikon SMZ800 és Nikon Optiphot 2 – Pol típusú műszerekkel végeztem, amelyekhez Nikon Digital Sight DS-Fi1 típusú fényképezőgépet csatlakoztattam. Az elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz az ELTE-TTK, Kőzettan-Geokémiai Tanszék AMRAY 1830 típusú, EDAX PV 9800 EDS detektorral ellátott pásztázó elektronmikroszkópját használtam 1 nA mintaáram, 20 kV gyorsítófeszültség és 100 másodperc mérési idő mellett. Az adatok kiértékeléséhez nemzetközi standardokat használtam. Körülbelül 600-700 ásványszemcsét határoztam meg így módon, majd a mért szemcséket – ha ez lehetséges volt – újra megnéztem polarizációs mikroszkóp alatt, ezzel is javítva a többi, hasonló megjelenésű ásvány azonosíthatóságát. A mennyiségi meghatározások során mintánként 100-300 szemcsét számláltam meg polarizációs vagy sztereomikroszkóp alatt.

A nehézasványok sztereomikroszkópos elemzéséhez MANGE és MAURER (1993) és KUBOVICS (1993) határozókönyvét és a Kőzettan-Geokémiai Tanszék nehézasvány-bemutató gyűjteményét hívtam segítségül.

4 EREDMÉNYEK

4.1 A nyersanyagok nehézasványai

A nyersanyagok nehézasványainak különböző szemcseméret-tartományaival elkülönítve foglalkoztam. Így munkám során 19 mintát (14 terra rossa, 3 flis és 2 összehasonlító talajminta) vizsgáltam meg a 125-250 μm közötti tartományból, 9-et (5 terra rossa, 4 flis) a 63-125 μm -es mérettartományból és 1-1 flis illetve terra rossa mintát a 63 μm alatti szemcsetartományból az amphorák lehetséges nyersanyagaiban előforduló nehézasványok pontosabb megismerése érdekében.



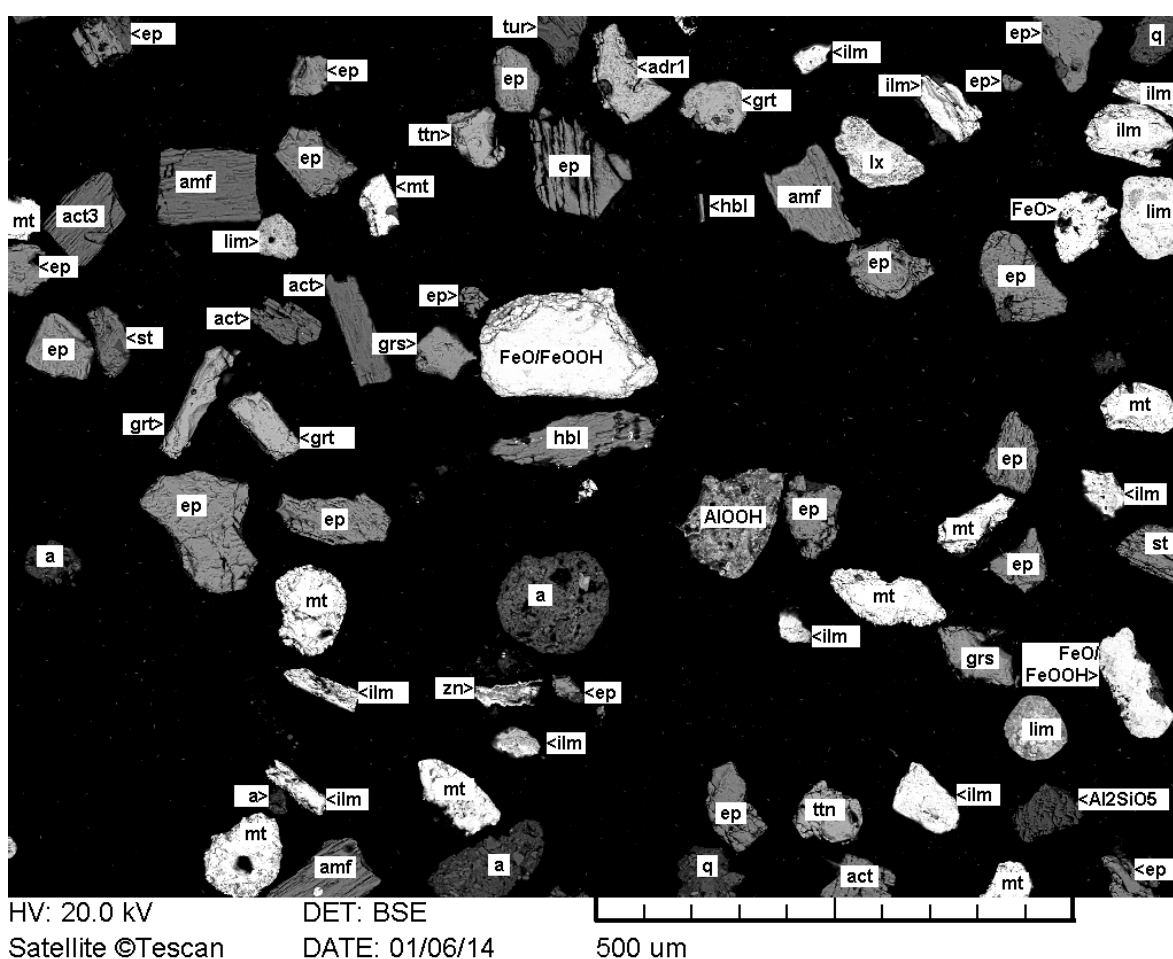
8. ábra: Nyúlt vasas szemcsék (A), framboidális pirit (B) és foraminiferák (C) az IST-31 N 125-250 (flis) mintában
grt: gránát, brt: barit

A fény- és elektronmikroszkópos vizsgálatok alapján megállapíthatóvá vált, hogy a nyersanyagok durvább szemcseméretű frakciója (125-250 μm) – a minta típusától függetlenül – főleg autigén opakásvány-szemcsékből áll (~90%), az áttetsző ásványokat a terra rossaiban

főleg gránát, cirkon, az epidot-csoport tagjai és kékes-zöld amfibolok jelentik, emellett staurolit és turmalin is előfordul. A flis mintákban elsősorban opakásvánnyal (elsősorban framboidális pirit, de sok helyen ez már átalakult) kitöltött foraminiferák és nyúlt, vasas szemcsék találhatók nagy számban (8. ábra).

A 63-125 μm közötti szemcseméret-tartomány azonban ennél sokkal változatosabb, de még jól vizsgálható fénymikroszkópban, így ebből a mérettartományból készítettem a nyersanyagok nehézasványainak fő összehasonlítását.

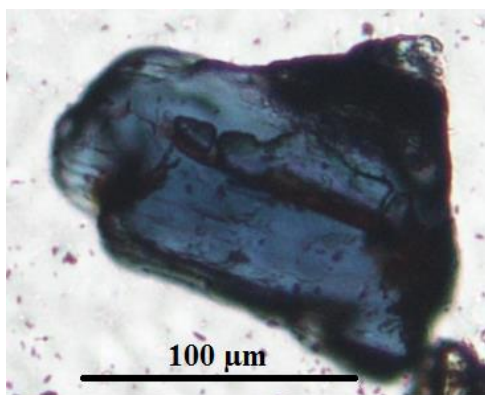
4.1.1 A terra rossa nehézasványai



9. ábra: Az IST-7a N 63-125 jelű terra rossa minta visszaszórt elektron képe
(A használt ásványnév-rövidítéseket lásd a rövidítéslistában)

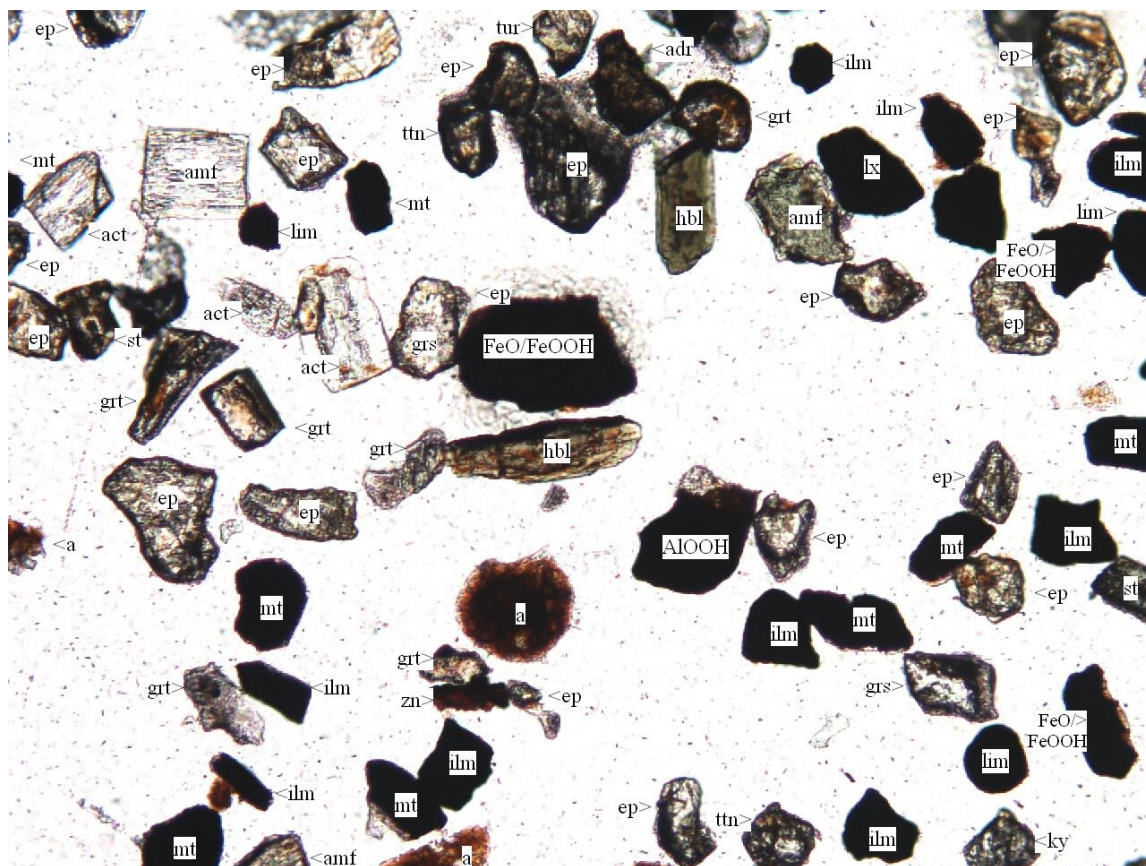
Az IST-7a N 63-125 egy Fažanától keletre, 600 m-re található út menti mezőről, a szántásból származik, jellegét tekintve terra rossa talaj. A nehézasvány-fázisok közül még mindig az opak elegyrészek a leggyakoribbak (~34%), de az áttetsző ásványok már meghaladják a részarányukat a mintában. A SEM vizsgálatok alapján az opak ásványok 34%-

a valószínűleg magnetit, 25%-a pedig ilmenit. A leggyakoribb áttetsző ásványok az epidot csoportba tartoznak, a szemcsék kb. 30%-a ide sorolható (15. ábra). Jellemzően színtelenek, vagy gyengén sárgásan színezettek, alakjuk legtöbbször szabálytalan, esetleg lekerekített



10. ábra: Terra rossából származó glaukofán

prizmás. A gránát csoport ásványai 10%-át alkotják a mintának. Ezek ásványos összetétele nagyon változatos, nem csak színtelen változatai, de a sárgásbarna andradit is megjelenik. A limonitos elegyrészek aránya – a többi mintához képest – meglehetősen kevés, mindössze 5%. Kis mennyiségben Ti-tartalmú ásványokat (rutilt, titanitot és anatózt), a tremolit-ferroaktinolit sor tagjait, hornblendét, staurolitot, cirkont tartalmaz (9. és 11. ábra). Nyomokban glaukofán (10. ábra), turmalin, apatit és kianit is előfordul. Az ásványok megjelenése szinte kivétel nélkül sajátalakú vagy hipidiomorf.

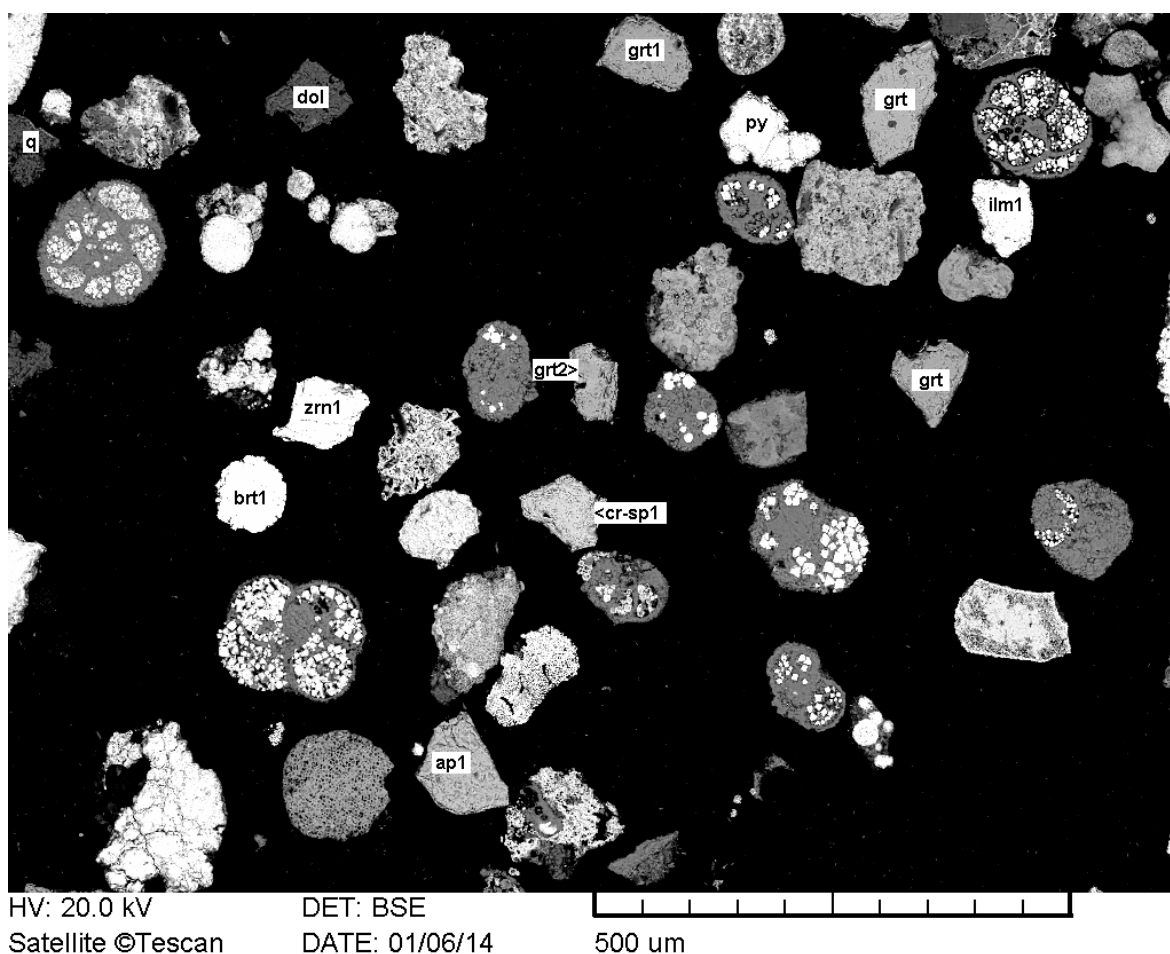


11. ábra: Az IST-7aN 63-125 jelű terra rossa minta polarizációs mikroszkópi képe (A használt ásványnév-rövidítéseket lásd a rövidítéslistában)

Az IST-14aN 63-125 jelű preparátum Barbarigától 1 km-re délkeletre, a tengerpartról származik. Jellegét tekintve terra rossa, szálból, a lemezes mészkő közvetlen tetejéből. Az opak szemcsék aránya nagyon hasonló az előző mintához, 32%. A limonitos elegyrészek viszont nagyobb részarányt képeznek, 18%-ot. Az epidot csoport aránya jóval kisebb, mindössze 17%. A gránát részaránya jóformán megegyezik (12%). Kis mennyiségben hornblendét, a tremolit-ferroaktinolit sor tagjait, Ti-ásványokat tartalmaz. Nyomokban kianit, staurolit, cirkon (16. ábra), glaukofán és krómspinell is előfordul. Az előző mintához nagyon hasonlóan gazdag elemi összetételű, sokféle, leggyakrabban idiomorf ásvány alkotja.

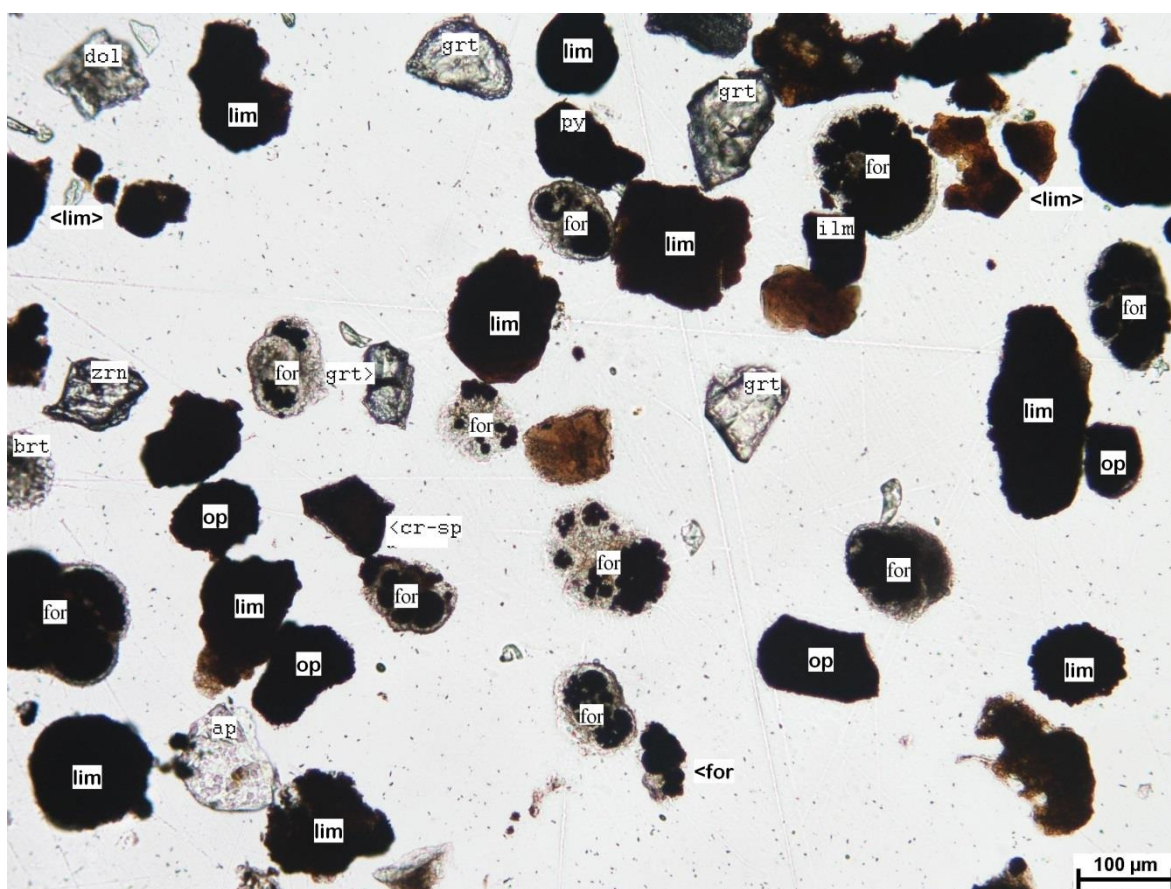
Ugyanezen IST-14a jelű minta 63 µm alatti mérettartományának elektronmikroszkópos vizsgálata alapján a két szemcseméret nehézásvány-társulása nagyon hasonló képet mutat a terra rossában: főleg ilmenit, limonit, epidot, zoizit, gránát, cirkon, turmalin, titanit, hornblende, biotit, klorit, kloritoid, staurolit, esetenként monacit fordul elő.

4.1.2 A flis nehézásványai



12. ábra: Az IST-48N 63-125 jelű flis minta visszaszórt elektron képe
(A használt ásványnév-rövidítéseket lásd a rövidítéslistában)

Az IST-48N 63-125 a Mirna partjáról, közvetlenül a part mentén, az ártér üledékéből származó finom homok. Ebben a mintában a legtöbb szemcse már utólagos limonitosodáson ment át (34%). Az opak elegyrészek a flis mintákban is elég nagy számban vannak jelen. Nagyon jellemző, hogy pirit tölti ki a foraminiferákat, így a nehéz frakcióba kerülnek. Ezek a pirites, vagy utólagosan elmállott pirites foraminiferák a minta 22%-át teszik ki. A gránát mennyisége a terra rossa üledékekhez hasonlóan 10%. Nyomokban Ti-tartalmú ásványok, apatit, a tremolit-ferroaktinolit sor tagjai, krómspinell, cirkon, turmalin, titanit és staurolit fordul elő (12. ábra). Az ásványok alakja jellemzően inkább hipidiomorf, az élek sokkal koptatottabbak, mint a terra rossa-beli nehézásványok esetében.



13. ábra: Az IST-49/5N 63-125 jelű flis minta polarizációs mikroszkópi képe
(A használt ásványnév-rövidítéseket lásd a rövidítéslistában)

Az IST-49/5N 63-125 jelű minta a Kotli-Krušvari közötti út mentén, a Kotlitól kb. 1 km-re lévő flis szelvény meszes homokkőéből, a vékony padok agyagos-meszes rétegei közül származik. A limonitos elegyrészek itt is nagy mennyiségben, 36%-ban vannak jelen. A titán-tartalmú ásványok (rutil, titanit, anatáz) aránya számottevő a terra rossa mintákhoz képest (20%). Az opak ásványok aránya itt a legkevesebb, csupán 13%. A minta jelentős mennyiségű krómspinellt (17. ábra) (10%) tartalmaz. A gránát csoport részaránya 7%-nak

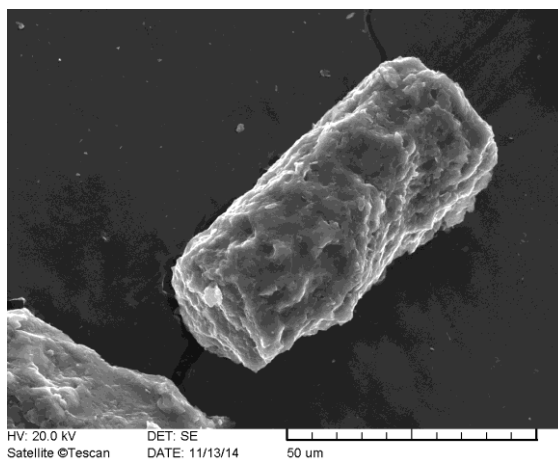
adódott. Nyomokban turmalin, cirkon, epidot, apatit és staurolit fordul elő (13. ábra). Az IST-48-hoz hasonlóan itt is elmondható, hogy az ásványok sokkal több utólagos hatásnak voltak kitéve, koptatottabbak, töredezetebbek, mint a terra rossa nehézásványai (16. és 17. ábra).

Az IST-66aN 63-125 jelű minta Fiesából (Portorožtól K-re), egy kis öbölben levő egykori bányatótól 300 m-re, a tengerparton található 50-60 m vastag flisszelvényből, a flisszelvény alján finomszemcsés talajosodott törmelékből származik (13. ábra). A nehézásvány-frakcióban szteromikroszkópos vizsgálatok alapján uralkodó a limonitos elegyrészek aránya (86%), melyet 6,5% opak elegyrész követ. A szűk értelemben nehézásványok közül a leggyakoribbak a halványrózsaszín gránátok (4%), de hipidiomorf (barna) és xenomorf (kékeszöld) turmalin és vörösesbarna hipidiomorf rutil is megjelenik. Cirkont 258 szemcse meghatározásával nem találtam. Krómspinell, hornblende, zoizit, biotit és egy zöld, koptatott, de nem kerekített, beöblösödő szemcse (piroxén?) tűnt még fel a minta 63-125 µm közötti nehézásvány-társulásában.

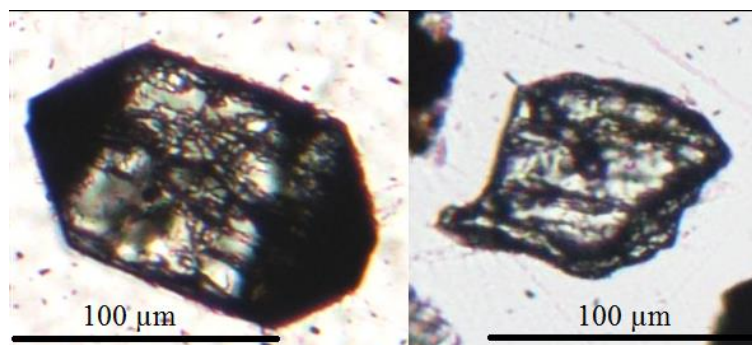


14. ábra: Az IST-66a mintavételi helye (piros kör). Fiesa, flisszelvény

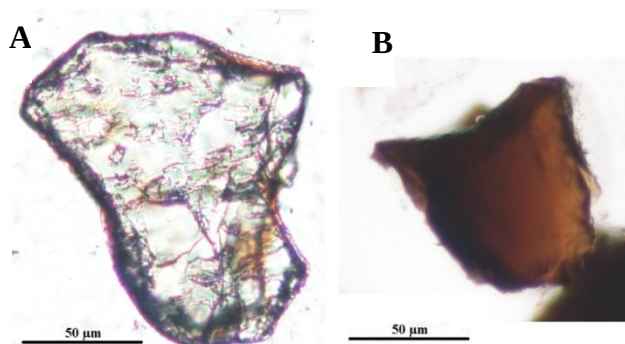
Ugyanezen IST-66a minta 63 μm alatti szemcseméretének tanulmányozásával megállapítható, hogy a két szemcseméret nehézasványai között nincs lényegi különbség, nehézasványként a limonitos elegyrészeken kívül ilmenit, cirkon, biotit, gránát, barit, kromit és krómspinell jelenik meg. A könnyűasvány-frakcióban ronsolt felületű szivacsstűk fordulnak elő (15. ábra).



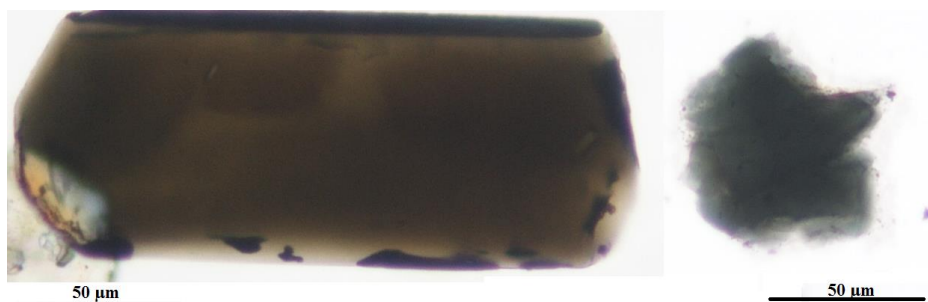
15. ábra: Ronsolt felületű szivacsstű az IST-66a jelű flis mintából szekunder elektron (SE) képen



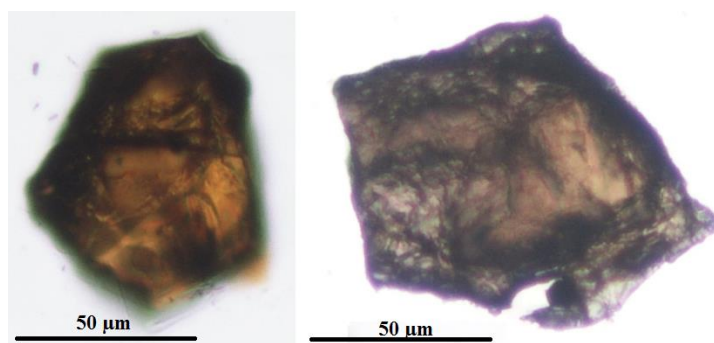
16. ábra: A terra rossa idiomorf (balra) és a flis hipidiomorf (jobbra) cirkonja



17. ábra: Jellemző ásványok A) a terra rossában (epidot csoport) és B) a flisben (krómspinell)



18. ábra: A terra rossa (balra) és a flis (jobbra) turmalin polarizációs mikroszkópi képe



19. ábra: A terra rossa (balra) és a flis (jobbra) rutil polarizációs mikroszkópi képe

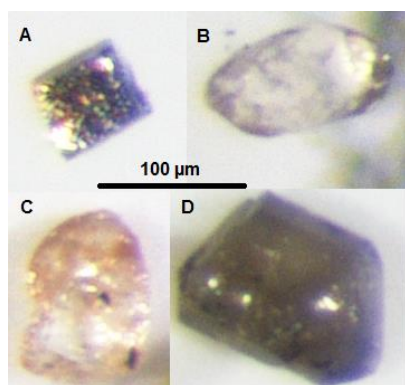
5. táblázat: Két terra rossa (piros) és három flis (barna) minta nehézásványos összetétele

	IST-7a N 63-125		IST-14a N 63-125		IST-48 N 63-125		IST-49/5N 63-125		IST-66a N 63-125	
opak	71	33,6%	64	32,5%	33	24,3%	12	13,3%	17	6,6%
filloszilikátok	2	0,9%	3	1,5%			5	5,6%	2	0,8%
limonitos elegyrészek	11	5,2%	36	18,3%	46	33,8%	32	35,6%	222	86,0%
pirites foraminiferák					30	22,1%				
epidot csoport	63	29,9%	34	17,3%			1	1,1%	1	0,4%
cirkon	3	1,4%	1	0,5%	1	0,7%	2	2,2%		
TiO ₂	9	4,3%	5	2,5%	3	2,2%	18	20,0%	2	0,8%
gránát csoport	21	10,0%	23	11,7%	13	9,6%	6	6,7%	10	3,9%
turmalin	2	0,9%	4	2,0%	1	0,7%	3	3,3%	2	0,8%
hornblende	5	2,4%	9	4,6%					1	0,4%
tremolit-ferroaktinolit	6	2,8%	8	4,1%	2	1,5%				
glaukofán	2	0,9%	1	0,5%						
egyéb amfibol	4	1,9%								
titanit	6	2,8%	4	2,0%	1	0,7%				
krómspinell			1	0,5%	2	1,5%	9	10,0%	1	0,4%
apatit	1	0,5%			3	2,2%	1	1,1%		
kianit	1	0,5%	2	1,0%						
staurolit	4	1,9%	2	1,0%	1	0,7%	1	1,1%		
Összes szemcse	211		197		136		90		258	

Összességében elmondható, hogy a terra rossa és a flis nehézasványai nagyjából megegyeznek, azonban egymáshoz viszonyított arányuk (5. táblázat), ugyanazon ásványok flisben és terra rossában való megjelenése (16-19. ábra), illetve a két nyersanyag relatív nehézasvány-tartalma (D melléklet) jelentős mértékben eltér egymástól. Krómspinell, barit, pirit nem jellemző a terra rossában.

4.2 Az amphorák nehézasványai

9 különböző régészeti korszakból és területről származó kerámia (8 amphora és 1 tegula: római tetőcserép) 63-125 µm-es szemcsenagyságú nehézasványait vizsgáltam sztereomikroszkóppal, melyek közül kettőből elektronmikroszkópos vizsgálatok is készültek a jobb azonosíthatóság érdekében. E két minta vizsgálati eredményeit mutatom be részletesebben.



20. ábra: Amphorákból származó nehézasványok sztereomikroszkópban (A: pirit, B: cirkon, C: gránát, D: turmalin)

A 134-es katalógusszámú (BEZECZKY, 1998) vörösbarna színű amphora, keltezése i. sz. 14 – 45/50 közé tehető. Nehézasványai 63-125 µm közötti tartományában a limonitos és összetett elegyrészeket leszámítva xenomorf pirit, xenomorf barit, turmalin, biotit, hipidiomorf hornblende, klorit és epidot tűnik fel.

Az F45-ös vörös színű amphora Fažanából került elő, keltezése i. sz. 14 – 45/50 közé tehető. A minta 63-125 µm közötti nehézasványainak sztereo- és elektronmikroszkópos vizsgálati alapján a limonitos elegyrészeken túl biotit, idiomorf pirit (20/A ábra), hornblende, és koptatott, idiomorf és xenomorf cirkon (20/B ábra) is megjelenik.

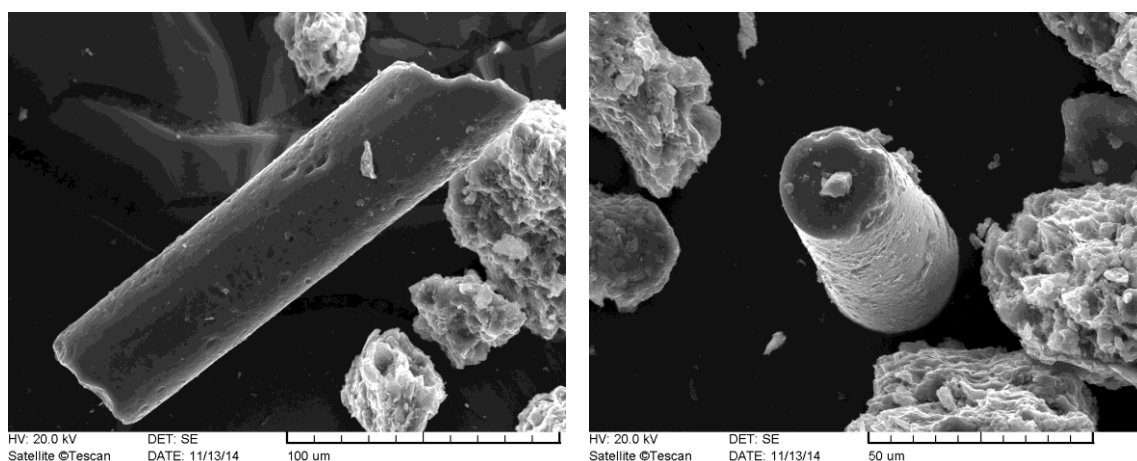
63 µm alatt apatitot, krómspinellt, ortopiroxént, staurolitot, biotitot, titanitot, kianitot/andaluzitot, gránátot és TiO₂ összetételű ásványt is találtam. A könnyű ásványok között üde szivacsstűk fedezhetők fel.

A Castrum 25 egy vörössárga színű, fažanai gyártású, de bélyeg nélküli Dressel 6B típusú amphora felső része. Keltezése i. sz. 14 és 138 közé, de inkább az 1. századra tehető. 63-125 µm közötti nehézasványainak sztereo- és elektronmikroszkópos vizsgálati alapján a limonitos elegyrészeken túl (több mint 50%) opak ásványok, hipidiomorf biotit, hornblende, kianit, idiomorf cirkon és zoizit található meg benne.

A 245a katalógusszámú (BEZECZKY, 1998) Padovából (Olaszország) származó vörös színű amphora kora a pecsétjei alapján i. sz. 14 – 45/50 közé tehető. 63-125 µm közötti nehézasványainak sztereo- és elektronmikroszkópos vizsgálati alapján a limonitos elegyrészeken túl (több mint 70%) opak ásványok (ilmenit), hipidiomorf biotit, hornblende, rutil, titanit, apatit és xenomorf cirkon található meg benne.

A 62-es katalógusszámú (BEZECZKY, 1998) amphora két pecsétje alapján készítésének időpontja i. sz. 45/50 – 78 közé tehető. Nehézasványként sztereomikroszkópban biotit, kevés opak ásvány, gránát (20/C ábra) és idiomorf turmalin (20/D ábra) ismerhető fel, a limonitos elegyrészek aránya a többi amphorához képest kevésnek mondható (max. 10%).

63 µm alatt elektronmikroszkópos vizsgálatokkal biotit, kianit/szillimanit/andaluzit, gránát, klorit, barit, ilmenit, cirkon és az epidot csoport tagjai fordultak elő. A könnyű ásványok között üde szivacstűk fedezhetők fel (21. ábra).



21. ábra: Szivacstűk az amphorákból szekunder elektron (SE) képen

Összességében tehát elmondható, hogy az amphorák 63 alatti és 63-125 µm közötti szemcséi nagy hasonlóságot mutatnak, bár esetenként jobban érintette őket a felszíni limonitosodás, így sokkal többet kellene megvizsgálni ahhoz, hogy ettől az átalakulástól mentes, jól megkülönböztethető ásványokat kapjunk. Jelen adatok alapján az amphorák

nehézasvány-társulása nagyon változatos, a leggyakrabbak a biotitok, illetve a kloritok, az ultrastabil (cirkon, turmalin, rutil) és stabil (gránát, krómspinell, krómit, apatit) ásványok mellett kianit, titanit, epidot, sőt amfibolok is gyakran megjelennek. Egyes esetekben nagyon könnyen átalakuló ortopiroxénnel is találkozhatunk. Az allotigén elegyrészek mellett az autigén pirit és az autigén vagy epigén barit is rendszeresen előfordul.

5 AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

5.1 A terra rossa és flis nehézasványainak összevetése

A vizsgált terra rossa és flis minták nehézasványos összetétele alapján elmondható, hogy a két nyersanyagtípusban megjelenő ásványok nagyon hasonlóak, arányuk viszont eltérő.

Az opak ásványok a terra rossában közel izometrikusak és nagyobb részarányt képviselnek, mint a flisben, ahol ezzel szemben gyakran hosszúkásak, járatkitöltésekre emlékeztetők. A limonitos elegyrészek a flisből kerültek elő nagyobb számban. A pirites foraminiferák megjelenése kizárólag a flishez köthető, de nincs minden mintában. A terra rossában foraminiferák egyáltalán nem jelentek meg, az epidot csoport tagjai viszont annál inkább (17-30%), ezek idiomorf-hipidiomorf, közepesen vagy jól koptatott szemcsék. A flisben az epidot csoport csak nyomokban jelentkezik. Cirkon mindkét típusú mintában csak kis mennyiségben van jelen, viszont nagyon karakterisztikus az adott nyersanyagra. A terra rossában prizmás, bipiramisos, míg a flisben töredezetebb, hipidiomorf. A titán-tartalmú ásványok előfordulásának gyakoriságából nem lehet messzemenő következtetéseket levonni, viszont a terra rossákban főleg minden oldalról kristálylapokkal határolt, jól felismerhető vörösbarna rutil képében jelennek meg (19. ábra). A gránát csoport körülbelül azonos mennyiségű a mintákban, de a flisben andraditot nem találtam. A turmalin és a staurolit alaki sajátosságai a cirkonhoz nagyon hasonló módon különböznek a terra rossában és a flisben: a terra rossában a turmalin barna vagy kék, hosszú lécszerű vagy ditrigonális, míg a flisben szinte kizárólag xenomorf vagy töredékes (18. ábra). Az amfibolok megjelenése a terra rossa mintákban nagyon jellegzetes, de nyomokban a flisben is előfordulhatnak. Krómspinell minden esetben található a flis mintákban, a terra rossában azonban csak nyomokban (17/B. ábra). Barna vagy zöld színéről, közel idiomorf kifejlődéséről és izotróp tulajdonságáról könnyen felismerhető. Az apatit a terra rossában sajátalakú, de csak nyomokban található. A flisben kicsit nagyobb mennyiségben jelenik meg, és polarizációs mikroszkóp alatt előfordulhat, hogy narancssárga a nagy vastartalma miatt. Autigén pirit és autigén/epigén barit csak a flis mintákban látható. A flis könnyűásvány-frakciójában kissé bontott szivacsstűk fordulnak elő.

Az egyes ásványok mennyiségi és minőségi eltérései mellett az is megfigyelhető, hogy az összes nehézásvány tömegének aránya a teljes szemcsefrakcióhoz képest a terra rossában általában fél-egy nagyságrenddel nagyobb, vagyis körülbelül öt-tízszer akkora, mint a flisben.

5.2 Amphorákkal való összevetés, a módszer alkalmazása

MANGE és BEZECZKY (2006, 2007) már végzett mikromineralógiai kutatásokat az amphorák nyersanyagának származását illetően. Feltételezték, hogy az egyik összetevő a terra rossa, melyet némi parti homokkal keverhettek, a flist azonban még nem említik, mint lehetséges nyersanyagot (Szakmány és mtsi., 2013). Dolgozatom alapján már pontosan ismerjük az isztriai terra rossa és a flis – mint a két legvalószínűbb nyersanyag nehézásványos összetételét, így következtetni tudunk arra, hogy az amphorák nehézásványai melyik anyagból származhatnak.

Az amphorák nehézásványként megfigyeléseim szerint legnagyobb mennyiségben biotitot és kloritokat tartalmaznak. A kloritok keletkezettek az égetés során is, de az is lehetséges, hogy már kloritként voltak jelen a nyersanyagban is. Előfordulnak még az epidot csoport tagjai, ezek nagy valószínűség szerint nagyrészt a terra rossából kerültek az edényekbe. A gránát, turmalin, cirkon, rutil és staurolit viszont már mindkét nyersanyagból származhat. A már MANGE és BEZECZKY (2006, 2007) által is bemutatott krómspinellek viszont egyértelműen a flisre utalnak. Az amphorákbeli pirit és a barit szintén a flis kőzetekből származik. Eddigi ismereteim alapján az amphorákból is ismert andradit csak a terra rossában található meg. A szivacstűk a flis kőzetekben nem üdék, terra rossában pedig nincsenek, ezért feltehetőleg tengeri eredetűek.

A vizsgált mintamennyiség nem statisztikus volta miatt nem vonhatunk le túlságosan messzemenő következtetéseket, az azonban egyértelműen látszik, hogy a Laecanius család műhelyéből származó amphorák gyártásához használt nyersanyag két fő összetevője a terra rossa és a flis volt. Keverési/keveredési arányaik egyelőre nem tisztázottak, de a két nyersanyag nehézásvány/teljes szemcsefrakció adatai alapján a flis típusú üledékek kaphattak nagyobb hangsúlyt a gyártás során. Erre utal pl. a krómspinell, barit és pirit megjelenése, amik ha figyelembe vesszük a terra rossa és a flis egy nagyságrenddel eltérő nehézásvány-tartalmát, csak nyomokban jelentkezhetnének. E mellett – a szivacstűk alapján – viszonylag csekély mennyiségű tengeri iszapot tartalmaznak. A pontosabb keverési/keveredési arányok meghatározásához sokkal több, jól megkülönböztethető, átalakulástól mentes nehézásványra

lenne szükség. Ez a lehetőség azonban az amphorák régészeti volta miatt a 63-125 μm közötti szemcseméretben általában nem adott, így a 63 μm alatti tartományt lenne ideális vizsgálni. Ehhez azonban nem állt rendelkezésemre elég jó felbontású sztereomikroszkóp, tehát csak elektronmikroszkópos, esetleg polarizációs mikroszkópi vizsgálati lehetőségek maradnak.

Mindezen eredmények alapján elmondhatjuk, hogy a fordított megközelítéssel végzett nehézásvány-vizsgálati módszer (tehát ha először a nyersanyagokat vizsgáljuk, és nem a belőlük készült terméket, ahogyan eddig) alkalmas lehet az amphorák, vagy akár más Isztrián készült cserépedény-féleségek nyersanyag-összetételének pontos meghatározására, hiszen meg lehet különböztetni az egyes nyersanyagok nehézásványait egymástól. Fontos, hogy a mennyiségi és minőségi (pl. alak, koptatottság, zárványok, szín) vizsgálatok mellett az egyes nyersanyagok nehézásvány/teljes szemcsefrakció arányára és a vizsgált mérettartományra is fordítsunk elég figyelmet. Így pontosabb képet kaphatunk a fažanai amphoragyártó műhely, vagy bármely más, adott területen és időben ezeket a nyersanyagokat felhasználó műhely működésrendjéről, melyen keresztül jobban megismerhetjük az adott kor társadalmi viszonyait.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Az amphorák a Római Birodalomban tömegesen használt egyes élelmiszerek (pl. olívaolaj, bor) nagybani kereskedelmének legfőbb szállítóedényei voltak. Vizsgálatuk elősegítheti az egykori gyártási technológiának, valamint a szállítási és kereskedelemi útvonalhálózat működésrendjének jobb megismerését. A közel 1 m magasságú, alig 1 cm falvastagságú, több szintben szorosan egymáshoz illesztett, termékkel teli amphoráknak akár az 1000 km-es, sokszor vízontagságos vízi és szárazföldi szállítást is ki kellett bírniuk törés nélkül. A fažanai műhely fénykorában évi 10-12000 db-ot gyártottak, tehát nagy tömegben kellett tökéletes, de csak egyszer használatos, vagyis nagyon olcsó terméket készíteni. Az amphorák gyártásához tehát jó nyersanyag kellett, a fažanai amphorákhoz használt nyersanyag pontos összetétele és származási helye azonban máig nem tisztázott.

Ennek meghatározásának egyik lehetséges módszere a mikromineralógia, elsősorban a nehézasványok vizsgálata. Dolgozatomban az Isztriai-félsziget déli részén, Fažanában, a Laecanius család által működtetett, s egyben a régészetileg legjobban dokumentált műhelyben gyártott DR6B típusú római kori amphorák nehézasvány-spektrumát hasonlítom össze az ezek nyersanyagául szolgáló terra rossa és flis nehézasványjaival.

A mintákat savazás és száraz, illetve nedves szitálás után nehézfolyadékkal leválasztottam, majd a kapott nehézasványokból preparátumot készítettem. A nehézasványok mennyiségi és minőségi meghatározása sztereomikroszkóppal, polarizációs mikroszkóppal és elektronmikroszkóppal történt. Szerencsére a két különböző nyersanyagtípus között eltérés mutatkozik, mind az ásványfajok, mind azok alakja és mennyiségi arányai, valamint a nehézasvány/teljes szemcsefrakció arány tekintetében is. Ezek alapján a Laecanius család műhelyéből származó amphorák gyártásához a két fő nyersanyag a terra rossa és a flis volt, az utóbbi túlsúlyával. Erre utal pl. a krómspinell, barit és pirit megjelenése, amik ha figyelembe vesszük a terra rossa és a flis egy nagyságrenddel eltérő nehézasvány-tartalmát, csak nyomokban jelentkezhetnének. E mellett – a szivacsstűk alapján – viszonylag csekély mennyiségű tengeri iszapot tartalmaznak.

A kutatás folytatásaként a pontosabb keverési/keveredési arányok meghatározásához azonban sokkal több, jól megkülönböztethető, átalakulástól mentes nehézasványra lenne szükség. Ez a lehetőség azonban az amphorák régészeti volta miatt a 63-125 μm közötti szemcseméretben általában nem adott, így a 63 μm alatti tartományt lenne ideális vizsgálni.

Ehhez azonban nem állt rendelkezésemre elég jó felbontású sztereomikroszkóp, tehát csak elektronmikroszkópos, esetleg polarizációs mikroszkópi vizsgálati lehetőségek maradnak. Az isztriai amphorák nyersanyagainak pontos származási helyének meghatározásához pedig a petrográfiai, nehézasványtani és régészeti adatok együttes értékelésére lenne szükség.

7 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani elsősorban témavezetőmnek, Józsa Sándornak a rengeteg tanításért, javításért és a tudományos kutatásba való bevezetéséért és mind azt a türelmet, amit eközben tanúsított felém. Köszönöm konzulensemnek, Szakmány Györgynek, aki tanácsaival és irodalmak rendelkezésre bocsájtásával szintén nagyban segítette a munkámat. Köszönet illeti Bendő Zsoltot a SEM mérések és felvételek elkészítéséért és Bezeczky Tamást a régészeti vonatkozású részletek ismertetéséért, illetve köszönettel tartozom az Osztrák Tudományos Akadémiának (P 23684) a kutatás anyagi támogatásáért.

Továbbá köszönöm a Közettan-Geokémiai Tanszék összes oktatójának és hallgatójának, valamint Arató Róbertnek és Molnár Katának mindazt a maximálisan segítőkész hozzáállást, lelkesítést és tanácsot, amit kaptam tőlük.

Végül, de nem utolsó sorban ezúton is szeretném megköszönni a családom támogatását és türelmét.

8 IRODALOMJEGYZÉK

ALBERTI, L., LENAZ, D., PRINCIVALLE, F., TUNIS, G. (1999): Mineralogical characterization of flysch sequences of the SE Alps and Outer Dinarides (NE Italy, Slovenia, Croatia). *Geologica Carpathica*, Abstract Volume, Special Issue 50, 9–10.

BEZECZKY, T., (1998): The Laecanius Amphora Stamps and the Villas of Brijuni. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Philosophische-Historische Klasse Denkschriften, 261, Bécs, 286 p.

DICKINSON, W.R. (2007): Discriminating among volcanic temper sands in prehistoric potsherds of Pacific Oceania using heavy minerals. – *Developments in Sedimentology* Vol. 58, 1007-1033.

DURN, G., OTTNER, F., SLOVENEK, D. (1999): Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. – *Geoderma* 91, 125-150.

DURN, G., ALJINOVIĆ, D., CRNJAKOVIĆ, M. & LUGOVIĆ, B. (2007): Heavy and light mineral fractions indicate polygenesis of extensive terra rossa soils in Istria, Croatia. – In: MANGE, M. & WRIGHT, D. (eds.): Heavy Minerals in Use – *Development in Sedimentology*, 58, Amsterdam (Elsevier), 701-737.

JÓZSA, S., SZAKMÁNY, Gy. (1987): Petrology – In: BEZECZKY, T.: Roman Amphorae from the Amber Route in Western Pannonia. – *British Archaeological Reports International Series* 386, Oxford 103–124.

JÓZSA, S., SAUER, R., SZAKMÁNY, Gy., WEISZBURG, T. (1994): Mineralogisch petrografische Untersuchungen. – In: BEZECZKY, T.: Amphorenfunde vom Magdalensberg und aus Pannonien, Ein Vergleich (pp. 143–166),. – *Archäologische Forschungen zu den Grabungen auf dem Magdalensberg* 12, Klagenfurt. 143–195.

KUBOVICS I. (1993): Kőzetmikroszkópia II. A kőzetalkotó ásványok. Tankönyvkiadó, Budapest

MAGDALENIĆ, Z., (1972): Sedimentology of central Istria flysch deposits (in Croatian). *Acta Geologica* 7/2, 34.

MANGE, M., MAURER, H. F. W. (1992): Heavy Minerals in Colour. – London (Chapman and Hall), 148 p.

MANGE, M., BEZECZKY, T. (2006): Petrography and provenance of Laecanius amphorae from Istria, northern Adriatic region, Croatia. – *Geoarchaeology: An International Journal* 21, 427–458.

MANGE, M., BEZECKY, T. (2007): The provenance of paste and temper in Roman amphorae from the Istrian Peninsula, Croatia. – In: MANGE, M., WRIGHT, D.T. (Eds.), Heavy Minerals in Use. – *Developments in Sedimentology*, Vol. 58, 1007–1033

MIKES TAMÁS (2003): A külső-dinári eocén flis lehordási területének mikromineralógiai vizsgálata, Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Közzétan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 78 p.

MIKES, T., BÁLDI-BEKE, M., KÁZMÉR, M., DUNKL, I., VON EYNATTEN, H. (2008): Calcareous nannofossil age constraints on Miocene flysch sedimentation in the Outer Dinarides (Slovenia, Croatia, Bosnia-Herzegovina and Montenegro). – In: SIEGESMUND, S., FÜGENSCHUH, B., FROITZHEIM, N. (eds): Tectonic Aspects of the Alpine-Carpathian-Dinaride System. – Geological Society Special Publication 298, London, 335–363.

SZAKMÁNY Gy., JÓZSA S., BEZECZKY T. (2013): Provenance and technology of Fažana Amphora Workshop: a case study of Laecanii and Imperial amphorae. – EMAC 2013, Padova

PAVIČIĆ, LJ., ZUPANIĆ J., BABIĆ LJ. (2003): Changing heavy mineral associations along the Outer Dinaric Eocene flysch belt: evidence for different structures along the rising Dinarides. 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija, 17th-19th September 2003.

PEACOCK, D.P.S. (1967): The heavy mineral analysis of pottery; a preliminary report. – *Archaeometry* 10, 97–100.

PEACOCK, D.P.S. (1970): The scientific analysis of ancient ceramics: a review. – *World Archaeology* 1, 375–389.

PEACOCK, D.P.S., WILLIAMS, D.F. (1986): Amphorae and the Roman Economy, an Introductory Guide. – London (Longman), 239 p.

VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., MATIČEĆ, D., VLAHOVIĆ, I., (1995): A Review of the Geology of Istria. In: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. _Eds., 1st Croatian geological congress, Excursion guide-book, Opatija, pp. 21–30.

VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., MATIČEĆ, D., BERGANT, S. (2003): Evolution of the Istrian Part of the Adriatic Carbonate Platform from the Middle Jurassic to the Santonian and Formation of the Flysch Basin During the Eocene: Main Events and Regional Comparison. – In: Evolution of Depositional Environments from the Palaeozoic to the Quaternary in the Karst Dinarides and the Pannonian Basin. 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija – September 17-19, 2003, Field Trip Guidebook (edited by VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J.), 3-17.

WEISZBURG, T., PAPP, G. (1987): X-ray powder diffraction analyses. – In: BEZECZKY, T. (ed): Roman Amphorae from the Amber Route in Western Pannonia. – British Archaeological Reports International Series 386, Oxford, 128–133.

WILLIAMS, D.F. (1977): The Romano-British black-burnished industry: an essay on characterization by heavy mineral analysis. – In: PEACOCK, D.P.S. (Ed.), Pottery and Early Commerce: Characterization and Trade in Roman and Later Ceramics, pp. 163–220.

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

WOLETZ, G. (1962): Beobachtungen im Flysch von Istrien (Jugoslawien). - 8. Schwermineralanalysen von Flyschsandsteinen aus Istrien. Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 239-245.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a2/Dinarisches_Gebirge_Topo.png

9 MELLÉKLETEK

A melléklet: Terra rossa minták nehézasványos összetétele (DURN és mtsi., 2007)

Mintaszám	1	2	9	15	22	25	131	134	136	53	55	47	52	234	237	42	97	101
opak	8	15	24	11	12	21	36	42	36	27	11	23	40	21	18	27	50	8
filloszilikátok	1	12	4	61	1	2	4	6	2	5	6	4	0	3	2	2	0	0
limonitos elegyrészek	14	6	11	7	2	7	19	11	15	10	14	31	34	4	8	18	34	54
kőzettörmelék	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pirites foraminiferák	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
áttetsző	77	66	71	20	86	70	42	41	48	58	69	43	26	71	72	52	15	37
epidot csoport	80	68	73	57	63	63	60	51	45	66	57	31	18	66	63	58	57	61
cirkon	3	0	2	2	4	3	4	7	8	3	7	17	26	4	5	3	5	7
rutil	1	0	0	0	3	3	3	4	8	3	2	10	13	2	0	3	2	3
gránát csoport	5	8	4	2	9	5	6	7	3	1	10	12	5	6	11	6	9	5
turmalin	2	1	0	2	2	6	13	15	14	7	7	18	17	6	3	11	8	13
hornblende	2	0	4	4	3	2	3	1	1	2	3	4	5	3	1	2	2	1
tremolit-ferroaktinolit	4	13	11	24	10	12	3	8	10	12	11	4	1	11	13	8	12	5
glaukofán	1	0	0	1	1	1	2	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
amfibol (egyéb)	0	5	2	0	1	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4
klinopiroxén	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ortopiroxén	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
krómspinell	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	3	0	0	2	0	0
kianit	0	0	0	0	0	2	1	3	1	1	1	0	2	1	0	1	4	1
korund	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
anatáz	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	3	0	0	0	0	1
titanit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
kloritoid	0	0	1	2	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
apatit	0	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
brookit	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
andaluzit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
staurolit	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
gipsz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cölesztin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kőzetüveg-töredék	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vezuvián	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ismeretlen	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	2	3	0	0	0	1	1
összesen	199	197	207	199	199	199	200	201	198	196	199	204	199	198	197	195	200	202

B melléklet: Flis minták nehézasványos összetétele (DURN és mtsi., 2007)

Mintaszám	87	88	89	91	92	93	94
opak	2	46	10	19	28	66	64
filloszilikátok	11	1	4	4	2	9	2
limonitos elegyrészek	65	18	58	40	33	20	10
kőzettörmelék	10	0	8	1	0	1	0
pirites foraminiferák	0	2	1	1	0	19	14
áttetsző	12	33	19	34	37	9	10
epidot csoport	53	49	32	38	41	5	9
cirkon	7	4	9	9	4	1	0
rutil	3	2	0	7	2	0	0
gránát csoport	17	19	26	21	22	1	2
turmalin	7	6	3	9	9	0	0
hornblende	1	7	0	5	4	3	0
tremolit-ferroaktinolit	0	3	0	2	11	0	0
glaukofán	0	0	0	0	1	0	0
amfibol (egyéb)	0	0	0	0	0	0	0
klinopiroxén	0	0	0	1	0	0	0
ortopiroxén	0	0	1	0	0	0	0
krómspinell	3	5	5	4	6	1	0
kianit	0	1	0	0	0	0	0
korund	0	1	0	0	0	0	0
anatáz	0	0	0	0	2	0	0
titanit	0	1	0	0	0	0	0
kloritoid	0	1	0	0	0	0	0
apatit	0	0	1	1	0	3	2
brookit	0	0	3	0	0	0	0
andaluzit	0	0	0	0	0	0	0
staurolit	0	0	0	0	0	0	0
gipsz	0	0	0	0	0	5	0
cölesztin	8	0	20	0	0	77	85
barit	0	0	0	0	0	1	1
kőzetüveg-töredék	0	0	0	0	0	0	0
vezuvián	0	0	0	0	0	0	0
ismeretlen	3	2	2	2	0	0	0
összesen	202,0	201,0	202,0	198,0	199,5	221,0	199,0

C melléklet: A vizsgálati módszerek mintánként

Minta	Minta típusa	Preparátum			polarizációs és sztereo-mikroszkóp	Vizsgálati módszer		
		<63 µm	63-125 µm	125-250 µm		SEM-EDX		
						<63 µm	63-125 µm	125-250 µm
IST-1	TR		x	x	x			
IST-6a	TR			x	x			
IST-7a	TR		x	x	x		x	
IST-9	TR			x	x			
IST-11d	TR			x	x			
IST-12a	TR			x	x			
IST-13	TR			x	x			
IST-14a	TR	x	x	x	x	x	x	
IST-15a	TR			x	x			
IST-19a	TR			x	x			
IST-20a	TR			x	x			
IST-21a	TR			x	x			
IST-41a	TR			x	x			
BRI-43a	TR		x	x	x			
IST-5a	flis							
IST-5d	flis							
IST-22	flis		x	x	x		x	
IST-31c	flis			x	x			x
IST-48	flis		x	x	x		x	x
IST-49/1	flis							
IST-49/2	flis							
IST-49/3	flis							
IST-49/5	flis		x		x		x	
IST-66a	flis	x			x	x		
IST-69	flis		x		x		x	
Brijuni Castrum	amphora				x			
119 LESBI								
Castrum 25	amphora				x			
Dr6B - fül	amphora				x			
245a	amphora				x		x	
125	amphora		x		x		x	
134	amphora		x		x		x	
595	amphora							
62	amphora	x			x	x		
F45	amphora	x	x		x	x	x	
Castrum Tegula	tegula				x			
Box 500 A 10643 FI								
BRI-40marok	iszap			x	x			
BRI-36a	talaj			x	x			

D melléklet: Az általam vizsgált minták munkafolyamatonkénti tömege és számított nehézasvány-arányai

Mintaszám	Minta típusa	Eredeti tömeg (g)	Szitálás után			Leválasztás után									
			63-125 µm	125-250 µm	250< µm	63-125 µm					125-250 µm				
						nehéz	könnyű	összesen	nehézasv/ könnyűasv	nehézasv/teljes szemcsefrakció	nehéz	könnyű	összesen	nehézasv/ könnyűasv	nehézasv/teljes szemcsefrakció
IST-1	TR	200,0056	0,5391	0,8518	10,0100	0,0043	0,5177	0,5220	0,0083	0,8238%	0,0058	0,7885	0,7943	0,0074	0,7302%
IST-6a	TR	200,0020	2,9217	0,4668	2,5719	-	-	-	-	-	0,0246	0,4386	0,4632	0,0561	5,3109%
IST-7a	TR	200,0305	3,0091	0,6039	0,4421	0,0544	2,5090	2,5634	0,0217	2,1222%	0,0193	0,5827	0,6020	0,0331	3,2060%
IST-9	TR	200,0294	1,7787	0,2011	1,5491	-	-	-	-	-	0,0068	0,1905	0,1973	0,0357	3,4465%
IST-11d	TR	200,0002	11,2696	1,5699	1,5079	0,2274	5,3835	5,6109	0,0422	4,0528%	0,1115	1,4471	1,5586	0,0771	7,1539%
IST-12a	TR	200,0050	2,1990	0,0834	0,0766	-	-	-	-	-	0,0136	0,0660	0,0796	0,2061	17,0854%
IST-13	TR	200,0169	1,5970	0,3177	6,1360	-	-	-	-	-	0,0141	0,2906	0,3047	0,0485	4,6275%
IST-14a	TR	200,0084	0,4365	0,1114	0,2250	0,0279	0,3981	0,4260	0,0701	6,5493%	0,0211	0,0854	0,1065	0,2471	19,8122%
IST-15a	TR	200,0022	1,4283	0,4077	0,3651	-	-	-	-	-	0,0119	0,3942	0,4061	0,0302	2,9303%
IST-19a	TR	200,0020	0,2147	0,0663	0,0831	-	-	-	-	-	0,0074	0,0574	0,0648	0,1289	11,4198%
IST-20a	TR	200,0444	0,4412	0,0539	0,4501	0,0091	0,4054	0,4145	0,0224	2,1954%	0,0055	0,0432	0,0487	0,1273	11,2936%
IST-21a	TR	200,0471	1,8266	0,1567	0,3180	-	-	-	-	-	0,0175	0,1379	0,1554	0,1269	11,2613%
IST-41a	TR	200,0022	4,1525	0,5389	-	-	-	-	-	-	0,0186	0,5161	0,5347	0,0360	3,4786%
BRI-43a	TR	187,3384	1,4834	0,1928	0,2113	0,0282	0,6478	0,6760	0,0435	4,1716%	0,0108	0,1799	0,1907	0,0600	5,6633%
IST-5a	flis	200,0464	1,3778	0,2061	0,0151	0,0069	1,3551	1,3620	0,0051	0,5066%	-	-	-	-	-
IST-5d	flis	199,9989	0,0430	0,0094	0,0061	0,0017	0,0371	0,0388	0,0458	4,3814%	-	-	-	-	-
IST-22	flis	200,0092	2,8552	0,5599	14,3866	0,0235	2,6673	2,6908	0,0088	0,8733%	0,0297	0,5129	0,5426	0,0579	5,4736%
IST-31c	flis	200,0099	3,3506	3,6498	2,5516	0,0248	1,8418	1,8666	0,0135	1,3286%	0,0838	2,5690	2,6528	0,0326	3,1589%
IST-48	flis	200,0269	27,3697	15,1428	5,2950	0,0081	5,0911	5,0992	0,0016	0,1588%	0,0376	2,9088	2,9464	0,0129	1,2761%
IST-49/1	flis	200,0105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IST-49/2	flis	200,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IST-49/3	flis	200,0053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IST-49/5	flis	193,1030	18,4622	3,0285	0,0587	0,0047	6,9420	6,9467	0,0007	0,0677%	-	-	-	-	-
IST-66a	flis	200,0019	0,6033	0,3138	0,2965	0,0131	0,5822	0,5953	0,0225	2,2006%	-	-	-	-	-
IST-69	flis	199,9995	0,0205	0,5250	0,5708	0,0027	0,0176	0,0203	0,1534	13,3005%	-	-	-	-	-
Brijuni Castrum 119 LESBI	amphora	0,4810	0,0450	0,0461	0,2380	0,0002	0,0425	0,0427	0,0047	0,4684%	-	-	-	-	-
Castrum 25	amphora	0,7128	0,0459	0,0887	0,3332	0,0002	0,0427	0,0429	0,0047	0,4662%	-	-	-	-	-
Dr6B - fül	amphora	1,5255	0,1021	0,1740	0,4280	0,0007	0,0995	0,1002	0,0070	0,6986%	-	-	-	-	-
245a	amphora	0,6949	0,0422	0,0809	0,0791	0,0006	0,0400	0,0406	0,0150	1,4778%	-	-	-	-	-
125	amphora	0,2825	0,0275	0,0349	0,1308	0,0004	0,0249	0,0253	0,0161	1,5810%	-	-	-	-	-
134	amphora	0,8662	0,0446	0,0891	0,4953	0,0005	0,0430	0,0435	0,0116	1,1494%	-	-	-	-	-
595	amphora	0,6045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	amphora	0,9756	0,1721	0,1095	0,0195	0,0019	0,1609	0,1628	0,0118	1,1671%	-	-	-	-	-
F45	amphora	0,2614	0,0471	0,0133	0,0319	0,0005	0,0441	0,0446	0,0113	1,1211%	-	-	-	-	-
Castrum Tegula Box 500 A 10643 FI	tegula	0,9965	0,2161	0,0558	0,1938	0,0021	0,2086	0,2107	0,0101	0,9967%	-	-	-	-	-
BRI-40marok	iszap	44,2800	4,8942	3,6112	3,4907	-	-	-	-	-	0,0059	2,9759	2,9818	0,0020	0,1979%
BRI-36a	talaj	119,1464	0,4444	0,2349	0,3767	-	-	-	-	-	0,0113	0,2222	0,2335	0,0509	4,8394%

10 I. FÜGGELÉK

Az amphorák lehetséges nyersanyagaként szolgáló terra rossa és flis mintákat részben témavezetőmtől kaptam, részben pedig saját gyűjtésből származnak. Az amphora-töredékeket Bezeczky Tamás régész bocsátotta rendelkezésemre.

A nyersanyag azonosítására korábban petrográfiai módszereket használtak, ez azonban nem volt elegendően pontos mennyiségi arányok meghatározásához. A feladatom az volt, hogy kiderítsem, a nehézasványtani módszer alkalmas lehet-e az amphorák nyersanyagainak pontos összetételbeli meghatározásához, és ha igen, milyen arányban keverték/keveredtek a nyersanyagok.

Az összes minta előkészítését saját kezűleg végeztem. Ez 37 minta kimérését, (szükség esetén) savas oldását, iszapolását, szitálását, majd ezekből 40 nehézasvány-frakció leválasztását, és 34 preparátum elkészítését jelenti. A bromoformmal történő nehézasvány-leválasztást témavezetőm segítségével végeztem.

A sztereomikroszkópos vizsgálatoknak nem csak a nehézasvány-meghatározásnál volt szerepe, részben e módszer segítségével tudtam eldönteni a szitált anyagokból, hogy érdemes-e leválasztani őket. Később a preparátumok vizsgálatánál jó kiegészítője volt a polarizációs mikroszkópi elemzéseimnek. Mivel a preparátumokban nem ismerjük a szemcsék pontos vastagságát, sok esetben elektronmikroszkópos mérésekre is szükség volt. Ezeket Bendő Zsolt készítette egy AMRAY 1830 típusú, energiadiszperzív detektorral ellátott pásztázó elektronmikroszkóp segítségével a Közettan-Geokémiai Tanszéken. Ezen eredmények segítségével a kérdéses szemcsék is meghatározhatóvá váltak: a mért szemcsék referenciaként szolgáltak a többi, hasonló megjelenésű ásvány esetében. A mennyiségi meghatározások során 5 mintából mintánként 100-300 szemcsét azonosítottam és számláltam meg.

A fent említett vizsgálatok során kiderült, hogy a fordított megközelítéssel végzett nehézasvány-vizsgálati módszer (tehát először a nyersanyagokat vizsgáljuk, és nem a belőlük készült terméket, ahogyan eddig) alkalmas lehet kerámiák nyersanyag-összetételének pontos meghatározására, azonban pusztán a nehézasvány-együttes meghatározása nem elég, hanem kellő figyelmet kell fordítanunk az egyes ásványok megjelenésére és szemcseméretére is. Jelen esetben alaki, koptatottságbeli és színbeli eltérések is mutatkoznak a kétféle nyersanyag azonos nehézasványai között. Fontosnak bizonyult a minták minden egyes művelet utáni megmérése is, ugyanis ennek segítségével tudjuk, hogy a terra rossa átlagosan fél-egy nagyságrenddel több nehézasványt tartalmaz, mint a flis.