## A FAŽANAI (ISZTRIA, HORVÁTORSZÁG) LAECANIUS AMPHORÁK ARCHEOMETRIÁJA ARCHAEOMETRY OF LAECANIAN AMPHORAE FROM FAŽANA, ISTRIA JÓZSA SÁNDOR<sup>1</sup> – SZAKMÁNY GYÖRGY<sup>1</sup> – OBBÁGY GABRIELLA<sup>1</sup> - BENDŐ ZSOLT<sup>1</sup> – HEINRICH TAUBALD<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kőzettan-Geokémiai Tanszék, Magyarország, Budapest

<sup>2</sup>Universität Tübingen, Fachbereich Geowissenschaften, Isotopengeochemie, (Tübingeni Egyetem, Földtudományi Szakirány, Izotópgeokémiai Laboratórium)

E-mail: sandor.jozsa@geology.elte.hu

## Abstract

The purpose of the archaeometric study of Istrian amphorae was twofold. The main goals were the recognition of the raw material of amphorae, the identification of the source rock types and the delimitation of purchasing sites of possible raw materials. In addition, we would like to get better knowledge about the technical conditions of amphora producing. Our results are presented in order of usage of different methods.

During our research it became clear, that by the help of detailed and an in-depth comparative petrographic study the rock types forming the raw material of Istrian amphorae could be determined with great accuracy. The practical applicability of the possible raw materials and the practical conclusions could be drawn from their composition were determined by pottery experiments. The mixing rate of the components of the raw material could determined more precisely by micromineralogy and chemical analyses. The different stages of textural and mineralogical changes of the groundmass of the amphorae during firing could best followed by electron microscopic method.

Our research proved that the main component of the raw material of Fažana Dr. 6B amphorae was the Cenozoic flysch which is widespread in Middle-North Istria. This material was mixed with few terra rossa and recent sea shore sediment. Since we found muddy sediment with similar composition on the sea shore of small bays (i.e. Piran bay) of Triest gulf, we suppose that this natural homogenous mixture was excavated and transported by ship as ballast material to Fažana. One part of these amphorae were manufactured purely from this natural mixture, for other part of them this mud was artificially mixed with small amount of local fine grained recent marine sand.

At the end of the current paper, an English summary is given.

## Kivonat

Az isztriai amphorák archeometriai vizsgálatának kettős célja volt. Elsősorban az amphorák nyersanyagának pontos megismerését, a forráskőzetek azonosítását és a lehetséges nyersanyag beszerzési helyek behatárolását tűztük ki feladatul. Ezen kívül szerettük volna jobban megismerni a fažanai amphora gyártás technológiáját, műszaki körülményeit. Vizsgálati eredményeinket az általunk alkalmazott módszerek elvégzésének sorrendjében mutatjuk be.

Munkánk során egyértelművé vált, hogy a mélyreható, részletekbe menő polarizációs mikroszkópi összehasonlító vizsgálat segítségével igen nagy pontossággal megállapítható, milyen kőzetfajták alkothatták az isztriai amphorák nyersanyagát. A lehetséges nyersanyagok gyakorlati alkalmazhatóságát és az összetételükből levonható gyakorlati következtetéseket fazekas kísérletekkel állapítottuk meg. A nyersanyag összetevőinek keverési arányát a nehézásvány és kémiai vizsgálatokból lehet pontosabban megállapítani. Az alapanyag égetés során elszenvedett szöveti és ásványos összetételi változásainak egyes állomásait az elektronmikroszkópos vizsgálatokkal lehetett legjobban megfigyelni.

Vizsgálatainkkal bizonyítottuk, hogy az Fažanában gyártott Dr. 6B típusú amphorák nyersanyagának fő összetevője az Isztriai-félsziget középső-északi részén, felszínen nagy mennyiségben megtalálható kainozós flis volt, ami esetenként kevés terra rossával és recens tengerparti üledékkel keveredett. Mivel a Trieszti-öböl déli része kisebb öbleinek (pl. Piráni-öböl) tengerpartján éppen ilyen összetételű iszapot találtunk, feltételezzük, hogy ezt a természetes, homogén keveréket termelték ki, és ballasztként használva szállították Fažanába. Az amphorák egy részét tisztán ebből a természetes keverékből formázhatták, más részének nyersanyagához ehhez az iszaphoz kis mennyiségű helyi tengerparti finom homokot keverhettek. KEYWORDS: DRESSEL 6B AMPHORA, ISTRIA, PETROGRAPHY, RAW MATERIAL PROVENANCE, FLYSCH Kulcsszavak: Dressel 6B Amphora, Isztria, petrográfia, nyersanyag eredet, flis

## Bevezetés, célkitűzés, munkamenet

Az ember társas lény, általában kisebb nagyobb közösségek tagjaként akár egész birodalmat is átfogó társadalmi rend szerint éli életét. Minél nagyobb társadalmi egységet tekintünk, annál összetettebb, kifinomultabb. pontosabban kidolgozott működési rendszer kell az adott társadalmi egység hosszabb távú fennmaradásához. A rendszer akkor jó, ha kiegyensúlyozottan, egyfajta állandóságot megőrizve működik és mindenki megtalálja a saját helyét, feladatát és megbecsülését az adott közösségben. А gyakran történelemnek ezekről а hosszú. egyenletesen zajló, boldogabb időszakairól és nyugodt helyszíneiről általában kevesebbet tudunk, mint a nagy változásokat hozó rövid, de annál szomorúbb, erőszakosabb, látványosabb eseményeiről.

A békés időszakok tehát – mint sokan mondják – unalmasak, eseménytelenek. Pedig ezek a legtöbb ember számára a lassú építkezés, lelki, szellemi és anyagi gyarapodás és tudásszerzés időszakai. Fontos tehát, hogy a múlt ezen időszakait, helyszíneit és társadalmai berendezkedését jobban megismerjük.

Kutatási területünk, Isztria, a Római Birodalom frissen meghódított része a Kr. e. I. század közepétől éppen ilyen volt. A híres szenátor családok, majd később a római császárok által birtokolt nagygazdaságok olajfa ültetvényein termesztették legfőbb terméküket, az olajbogyót, amiből a tengerparti gazdasági központokban az akkori idők egyik legjobb minőségű olíva olaját állították elő. Ezt a terméket abban az időszakban a Duna vonaláig terjedő területekre, többek között Pannóniába is nagy mennyiségben folyamatosan évről évre szállították. A hosszú távú szállításra szolgáló edényeket, az amphorákat az olajgyártás helyszínéhez közel igen nagy mennyiségben, nagyon jó minőségben kellett előállítaniuk. Ha az amphorák beteljesítették feladatukat, olíva olajjal megtöltve a gyártás helyétől eljutottak a felhasználás helyéig, ahol legtöbbször a szemétbe kerültek, akárcsak a mai konzervdobozok. A római korra egységesen leginkább jellemző leletek tehát az amphorák, amelyek a régészeti feltárások során általában nagy tömegben kerülnek elő.

A régészet társadalomtudomány, alapvető célja az egykori társadalmi viszonyok jobb megismerése. Az írásos emlékek szövegeiből közvetlen betekintést, pontos, egyértelmű ismereteket lehet szerezni az egykori eseményekről. Írásos emlékekből azonban mindig sokkal kevesebb van, mint tárgyiakból. Pedig a tárgyak rengeteg olyan

rejtenek, ismeretet is amelveket régészeti módszerekkel lehet kinverni. nem de természettudományos vizsgálati módszerekkel igen. Sok rejtett ismeretet hordoz a régészeti feltárások során talált tárgyak, így az amphorák anyaga is, de nem egyértelmű azonnal, hogy az anyagyizsgálattal nyert ismeretek milyen kapcsolatban állnak a régészeti problémafelvetéssel. Az anyagvizsgáló kutatótársnak ezért tisztában kell lennie a régészeti háttérrel és a megválaszolandó kérdésekkel, a régésznek pedig az anyagvizsgálati módszerek lehetőségeivel.

Kutatásunk menetét tehát a régészet által feltett alapvető kérdésre alapoztuk, amit összehangoltunk az általunk használt vizsgálati módszerekkel megválaszolható viszonylag egyszerűen kérdésekkel. Kutatásunk alapvető régészeti kérdése az volt, hogy a Dél-Isztriában, Fažanában a Kr.e. ~40-től Kr.u. 2. század végéig, tehát több, mint 200 éven át termelő gazdaság hogyan működött, törekedve a legapróbb részletek megismerésére is. E fő kérdéskör tisztázásához az egykori Római birodalom különböző részeiben talált és a vizsgált időszakban Fažanában gyártott, két bélyeggel rendelkező (kezdetben a Laecanius család, majd a császárok bélyege, valamint az amphorák gyártásért éppen felelős személy, akkori nevén vilicus bélyege), Bezeczky Tamás által kor szerint besorolt Dressel 6B típusú amphorák álltak rendelkezésünkre (Bezeczky 1998).

Könnyen belátható, hogy az amphorák eredeti anyagának vizsgálatával az amphora elkészülte előtti időszak eseményeit követhetjük nyomon a nyersanyag kiválasztásának helyétől az amphora teljes elkészültéig. Ez geológiai ismereteket és anyagvizsgálati módszereket igénylő feladat, hiszen az amphorák anyaga jórészt természetes, kőzet eredetű. Az amphora anyagának megismerése, leírása önmagában még nem elegendő a kitűzött feladat megoldásához. A régészeti kérdések megválaszolásához elengedhetetlen az amphora nyersanyagának és a nyersanyag forráskőzetének azonosítására, sőt a forráskőzet egykori kitermelési legpontosabb helvének lehetőség szerinti behatárolására, esetleg megtalálására is. Ehhez viszont igen részletes, a lehetséges területek geológiai feltérképezését, а lehetséges forráskőzetek begyűjtését és pontos megismerését célzó szakirodalmi kutatásra és terepi munkára van szükség.

Mindezen megfontolások alapján általában a régészeti kerámiák leírására és anyagvizsgálatára az eddig megszokottól kissé eltérő munkamenetet, vizsgálati stratégiát állítottunk fel, amelyben a nyersanyag vizsgálatát és a részletes összehasonlító petrográfiát helyeztük előtérbe. Ez a munkamenet természetesen további vizsgálati módszerek alkalmazásával bővíthető:

#### 1. Makropetrográfia

- Minden amphora darab makroszövetének részletes leírása és fotódokumentációja.

#### 2. Amphorák áttekintő mikropetrográfiája

- A reprezentatív példányok vázlatos szöveti leírása, összetevők részletes megismerése.

2a Más hasonló anyagú termékek áttekintő mikropetrográfiája

- A többi mesterséges anyag (vakolat, tégla, tetőcserép stb.) összetevőinek megismerése.

#### (jelen munkában nem térünk ki rá)

3. A lehetséges forrásterületek és nyersanyagok terepi kutatása

- A környező területek földtani felépítésének megismerése (szakirodalmi és terepi), a lehetséges nyersanyagok felkutatása és begyűjtése.

#### 4. Részletes nyersanyag mikropetrográfia

- Minden lehetséges nyersanyag részletes polarizációs mikroszkópi vizsgálata.

5. Fazekas kísérletek a lehetséges nyersanyagokkal

- Mintatestek és -edények készítése a lehetséges nyersanyagokkal, különböző arányokkal.

#### 6. Részletes összehasonlító mikropetrográfia

- Az amphorák, más durvakerámia termékek és lehetséges nyersanyagok szövetének és törmelékeinek részletes összehasonlító vizsgálata.

#### 7. Mikroásványtan - nehézásványtan

 Az amphorák és nyersanyagok akcesszóriáinak összehasonlító vizsgálata fénymikroszkópi (sztereo és polarizációs) és elektron-mikroszkópi (SEM-EDX) módszerekkel.

#### 8. Elektron-mikroszkópia (SEM-EDX)

- A reprezentatív amphorák és nyersanyagok alapanyagának és törmelékeinek mikroszöveti és kémiai összetételi összehasonlító vizsgálata.

#### 9. Kémiai elemzés (XRF)

- A reprezentatív amphorák és nyersanyagok átlagos kémiai összetételének (fő-, nyomelem és ritkaföldfémek) meghatározása, összehasonlító értékelése.

Minden módszernek megvan a maga helye az anyagvizsgálatok sorában. Ezt a helyet többek között úgy is meg lehet határozni, hogy a vizsgálat alá eső adott anyagnak pontosan melyik és milyen nagyságú és helyzetű részére terjed ki a kérdéses vizsgálat, tehát mire terjed ki az érvényessége. Ezt kiegészítheti még az, hogy milyen tulajdonságot tud meghatározni a módszer és az, hogy a vizsgálat milyen pontosságú. A vizsgálati módszerek alkalmazásának tervezésekor a következő fő szempontokat vettük még figyelembe:

1) A makroszkópos vizsgálat a teljes anyag bármilyen nagyméretű darabjára kiterjedhet, de pontossága kicsi, a milliméter alatti méretekre már nem érvényes és leginkább csak egyszerű fizikai tulajdonságok meghatározására alkalmas.

2) A fénymikroszkóp a vizsgált anyagok finomszemcsés részének szöveti, ásványos és közvetetten a kémiai azonosítására csak nagyon korlátozottan alkalmas, az amphorák alapanyagát és finomszemcsés, nem plasztikus elegyrészeit nem tudjuk vele pontosan meghatározni.

3) A mikroásvány vizsgálatokat eredeti szöveti helyzetükből kiragadott egyedi szemcséken végezzük korlátozott mérethatárok között, az alapanyag, ami az amphorák teljes anyagának sokszor több mint 90 %-át adja, ezzel a módszerrel sem vizsgálható.

4) Az elektron-mikroszkópos módszer viszonylag pontos kémiai összetételt mutat meg, de sok olyan elemet nem tudunk meghatározni vele, amelyek megkülönböztető jelentőségűek az egyes anyagokban. Jól vizsgálhatók vele a kisméretű szemcsék és az alapanyag is, de csak viszonylag kis kiterjedésű területen. Az ásványos összetételre csak következtethetünk, a nagyon kis területekről kapott ismereteket pedig nagyobb területekre önkényesen kiterjesztjük.

5) A kémiai elemzés (XRF) egy kiválasztott 2-3 grammnyi kis cserépdarab őrleményének viszonylag pontos fő-, egyes nyom- és néhány ritkaföldfém adatát adja meg. Az így kapott eredmények összevontan mutatják a plasztikus és nem plasztikus elegyrészekből, illetve az eltérő forrásokból származó keverék kémiai összetételét, vagy annak módosult értékeit, ha volt másodlagos, kémiai összetételt megváltoztató hatás (égetés, áztatás. anvagok tárolása. betemetődés. véletlenszerű tűzeset stb.). A helyes kiértékeléshez mindezen tényezők pontos ismeretére van szükség.

## A korábbi kutatások eredményeinek rövid összefoglalása

A Dressel 6B amphorák kutatása több mint 30 évvel ezelőtt kezdődött. Kezdetben kb. 200 amphora vékonycsiszolatának leírása és mennyiségi kiértékelése történt meg (Józsa & Szakmány 1987). Az első részletes csoportosítás a szövet és a nem plasztikus elegyrészek alapján készült. Néhány mintából XRD felvétel is készült az amphorák kiégetési hőmérsékletének becslésére (Weiszburg & Papp 1987). Később részletes mikroásványtani vizsgálat is készült az Isztriai félsziget területén található néhány lehetséges nyersanyaggal (vörös agyag (terra rossa), lösz és recens tengeri élőlények vázai (sajnos az isztriai flis vizsgálata a szerzők korlátozott lehetőségei miatt akkor kimaradt) való összehasonlítás céljából (Mange & Bezeczky 2006, 2007). Ezzel együtt az addigi leírások további 300 újonnan készült vékonycsiszolat kiértékelésével gazdagodtak és a teljes anyag értékelésével új osztályozás készült. A korábbi kutatások főbb eredményei a következők:

1. A polarizációs mikroszkópi szövetelemzés alapján 9 petrográfiai csoportot állítottak fel.

2. A szerzők a Fažanában gyártott amphorák fő nyersanyagának a terra rossát gondolták.

3. A fažanai amphorákban található vázmaradványokat recens tengeri élőlények vázelemeivel azonosították.

4. Az amphorák nehézásványait, illetve nehézásvány együttesét csak részben tudták azonosítani a terra rossa nehézásványaival, néhány nehézásvány eredete tisztázatlan maradt.

5. Az amphorák kiégetési hőmérsékletét megközelítőleg 750-900 °C közé becsülték.

# A saját vizsgálati módszerek adatainak bemutatása

A korábbi amphora vizsgálatokhoz készült kb. 500 darab vékonycsiszolat mellé újabb kb. 250 darab amphora vékonycsiszolatot, egyéb égetett cserép termékekből és vakolatból kb. 40 darab vékonycsiszolatot, a lehetséges nyersanyagok terepi mintáiból pedig további kb. 150 darab vékonycsiszolatot készítettünk. 30 kiválasztott mintát elektronmikroszkóppal (SEM-EDX) is megvizsgáltunk. 20 reprezentatív lehetséges nyersanyag és amphora mintából mikroásványtani vizsgálat, 25 pormintából pedig kémiai elemzés (XRF) készült.

A polarizációs mikroszkópi vizsgálatokhoz Nikon OPTIPHOT2-POL polarizációs mikroszkópot használtunk. A polarizációs mikroszkópi képeket Nikon DS Fi1 kamerával és a NIS Elements számítógépes program segítségével készítettük. A vízzel keverve képlékeny masszává gyúrható terepi minták mindegyikéből mintánként 2 db kb. 2 x 3 x 5 cm-es téglatesteket formáztunk, azokat kiszárítottuk és az egyiket elektromos kemencében 1 órás felfűtéssel, 2 óra hőntartással, 750 °C-on, oxidatív körülmények között kiégettük. A kiégetés az MNM egykori Nemzeti Örökségvédelmi Központjának elektromos kemencéjében történt. Mindkét változatból vékonycsiszolat készült. A mikroásvány vizsgálatok részletes leírását Obbágy et al. (2014) munkája tartalmazza. A SEM-EDX mérések az ELTE Kőzettan-Geokémiai Tanszékének AMRAY 1830i típusú, EDAX PV 9800 energiadiszperzív spektrométerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópjával végeztük 20 kV gyorsító feszültség és 1 nA sugáráram mellett. A kémiai elemzések a Tübingeni Egyetem, Földtani Izotópgeokémiai Tanszékén, Bruker AXS S4 Pioneer típusú XRF berendezéssel készültek.

## Vizsgálati eredmények bemutatása

## A fažanai amphorák makropetrográfiája

A fažanai amphorák részletes makropetrográfiai leírása a korábbi irodalmakban olvasható (Mange & Bezeczky 2006 és 2007) (1. ábra), itt csak rövid összefoglaló jellemzést adunk. A fažanai amphorák nagyon finomszemcsések, homogének, alig-alig bennük 200 látható μm-nél nagyobb Színük törmelékszemcse. leggyakrabban vörösbarna, egyes változatok szürkék, vagy világos okkersárgák. A vörösbarna változatokban az igen sötétszürke-fekete szemcsék viszonylag apró gyakoriak, a nagyobb, akár 1-2 mm átmérőjű vörös, kerekded agyagcsomók inkább a világos okkersárga változatoknál észlelhetők. Általában gyengén porózusak, gyengén vagy nem irányított szövetűek, de ritkábban előfordulnak hosszúkás lencse alakú pórusokat és irányított szövetet mutató változatok is. Anyaguk általában kemény, szívós, eredeti felületükön esetenként igen vékony világos okkersárga réteg figyelhető meg.

## A fažanai amphorák áttekintő mikropetrográfiája

A fažanai amphorák plasztikus elegyrésze, azaz alapanyaga jellemzően vörösesbarna, ritkán sárga, gyengén vagy nem irányított, keresztezett nikolok között általában anizotróp. Eredetileg többékevésbé kompakt, de a legtöbb esetben a kiégetés mértékétől is függően változó mértékű mikroporozitás jellemzi.

A nem plasztikus elegyrészek mennyisége változó, a teljes anyagot tekintve általában nem haladja meg a 10 %-ot, sok esetben akár 1 % alatti is lehet.



**1. ábra:** A Laecanius amphorák petrográfiai szövettípusainak makroszkópos fényképe (Mange & Bezeczky 2006). Az egyes képek szélessége kb. 2 cm.

**Fig. 1.:** Macrophotos of representative sherds of each fabric groups of Laecanian amphorae (Mange & Bezeczky 2006). Picture width of each square is ca. 2 cm.

A nem plasztikus elegyrészeken belüli nem karbonátos-karbonátos szemcsearány szélsőségesen változó. Sok esetben a karbonát szemcsék uralkodnak 50-80 %-os részaránnyal, de gyakran előfordulnak karbonát mentes minták is. Az ilyen minták egy részénél a karbonát szemcsék alakját őrző pórusok jól megfigyelhetők, néhány mintánál másodlagos karbonátos kitöltéssel. A nem plasztikus szemcsék jól osztályozottak, szögletesek, általában 100 µm-nél kisebb méretűek.

A sziliciklasztok uralkodó mennyiségű anyaga a zömmel hullámos kioltású monokristályos kvarc, e mellett kevés polikristályos kvarc, káliföldpát (ortoklász, mikroklin, ritkán szanidin), plagioklász és kevés vagy közepes mennyiségű csillám (több muszkovit, kevesebb biotit, illetve annak átalakult maradványa) fordul elő. A fažanai amphorák általában kisméretű és kevés akcesszórikus ásványt tartalmaznak. Leggyakoribbak а gránát, hornblende, turmalin, epidot, zoisit, rutil, Cr-spinell és a cirkon. A mikrit és pátit szemcsék között a sziliciklasztokat kissé meghaladó méretűek is előfordulnak.

Az összetett szemcsék viszonylag ritkák (tűzkő, savanyú vulkanitok mikrokristályos kvarc anyagú alapanyaga, kristályos kőzettöredékek (granitoid, gneisz, csillámpala). Nagyon ritkán nagyméretű (akár 1-2-mm-es), kerekded üledékes kőzetzárványok (agyagkő, aleurolit, homokkő, mészkő) is megfigyelhetők.

Jellemzőek és gyakoriak a biogén elegyrészek. Igen sok mintában jelen vannak kis mennyiségben a kovaanyagú (több opál és kevesebb kalcedon anyagú szivacstű), nagy mennyiségben a karbonát anyagú (sok foraminifera, kevesebb molluszka, néhány egyéb) vázmaradványok (**2. ábra**).



**2. ábra:** A fažanai Laecanius amphorák általános szöveti képe (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, Fažana-11)

**Fig. 2.:** General textural view of Laecanian amphorae from Fažana (Polarizing microscopic photo, PPL, Fažana-11)

## A lehetséges nyersanyagok és forrásterületek terepi kutatása

A lehetséges kerámia nyersanyagok terepi felkutatását szakirodalmi tájékozódás előzte meg. Ez alapján megállapítottuk, hogy Isztria földtani felépítésében a következő fő kőzettani egységek vesznek részt: mezozós mészkő, kainozós flis, pleisztocén terra rossa és lösz, valamint szubrecensrecens szárazföldi, folyóvízi és sekélytengeri üledékek.

- Terra rossa. A fentieket áttekintve megállapítható, hogy az Isztriai félsziget déli részén, az úgynevezett Vörös Isztrián (3. ábra) az uralkodó, nagy mennyiségben felszínen ma is megtalálható lehetséges kerámia gyártási nyersanyag a terra rossa (4. ábra). A terra rossa a mediterrán térségben a pre-pleisztocén mészkő karsztos felszínére települt agvagos üledékes kőzet. Ezt a legutóbbi jégkorszakban, a pleisztocénben képződött vörös agyagot Dél-Isztria teljes területén és Isztria többi részén kisebb. elszigetelt területeken is megtalálhatjuk felszínen átlagban 1-10 méter vastagságban ott, ahol mezozós vagy eocén mészkő felszínen vagy felszín közelben van. (Durn et al. 1999 és 2007) Terepi megfigyeléseink alapján ez a vörös agyag nagy mennyiségben felszínen gyűjthető, vízzel keverve képlékeny, gyúrható masszát alkot.



**3. ábra:** Az Isztriai-félsziget kőzettani alapú földrajzi felosztása (Bertoša & Matijašić 2005 után módosítva)

**Fig. 3.:** Geological based geographical partition of Istrian peninsula (Bertoša & Matijašić 2005, with slight modification)



**4. ábra:** Lemezes mezozós mészkőre települő sötétvörös terra rossa feltárása a Fažanához (Dél-Isztria) közeli köves tengerparton (terepi fénykép).

**Fig. 4.:** Dark red terra rossa and underlying lamellar Mesozoic limestone outcrop on the rocky beach close to Fažana in South Istria (field photo).



**5. ábra:** Váltakozó kőzetrétegekből (meszes, homokos, agyagos) álló jellegzetes flis feltárás Isztria középső részén (terepi fénykép)

**Fig. 5.:** Characteristic flysch outcrop with alternating rock layers (calcareous, clayey, sandy) in Central Istria (field photo)

- Flis. Isztriának kizárólag az északi felén, az úgynevezett Szürke Isztrián (**3. ábra**) jelenik meg egy másik cserépgyártásra alkalmas anyagot szolgáltatható kőzetegyüttes, a flis. (Mikes et al. 2008, Velić et al. 1995, 2003) Ez az akár több száz méter vastag rétegsort alkotó, agyagot, homokot és meszet változó arányban tartalmazó finomszemcsés kőzetekből álló kainozós mélytengeri kőzetsorozat alkotja Észak-Isztria felszínének nagy részét (**5. ábra**). Terepi megfigyeléseink alapján flisből származó szálkőzetek egy része (homokkő, mikrites mészkő és keverékei) kemény kőzetek, vízzel keverve nem alkotnak gyúrható masszát, cserépgyártási nyersanyag készítéséhez közvetlenül nem használhatók fel. Az agyagban gazdag flis változatok is tömör kőzetek, csak nehezen veszik fel a vizet, kitartó áztatás után, hosszas morzsolással, dörzsöléssel lágy iszappá alakíthatók.

 Lösz. A lösz a jégkorszaki szél által szállított szemcsékből és meszes kötőanyagból álló aleurit. Vízzel keverve gyúrható masszát alkot, de Isztrián csak nagyon kis területeken (a félsziget ÉNy-i és Di sarkában, Velić et al. 1995, 2003) kis mennyiségben gyűjthető.

- Recens üledékek. A harmadik lehetséges fő nyersanyagforrást a recens-szubrecens szárazföldi törmelék felhalmozódások, valamint folyóvízi és tengerparti-partközeli üledékek jelenthetik.

1) Észak-Isztrián a felszínre bukkanó vastag flis rétegsorok lábánál felhalmozódott törmeléklejtők vegyes összetételű, javarészt szétomlott, szétmállott kőzetekből álló keveréket tartalmaznak, nem homogenizálódott állapotban. Ez az anyag vízzel keverve gyúrható masszát alkot.

2) A folyóvízi üledékek anyaga a folyó üledékgyűjtőjén előforduló közetek elmállott keverékét tartalmazza, délen a terra rossáét sok mezozós mészkővel keverve, északon a flisét, igen kevés terra rossával és mészkővel keverve. Ezek az anyagok jól gyúrhatók, de a flis esetében még mindig nem teljesen homogenizálódtak, az egyes alkotó kőzetek külön-külön szemcséket formálnak.

3) A tengerparti üledékek alapvetően háromfélék.

a) A mészkősziklás dél-isztriai partokon uralkodik a homok-aleurit szemcseméretű törmelék, amely tengeri élőlények vázelemeiből (kagyló, csiga, foraminifera, tengeri sün stb.), a szárazföldről behordott mészkőtörmelékből és a terra rossa kiiszapolt törmelékanyagából áll. Terepi megfigyeléseink alapján ez az anyag vízzel keverve az agyag hiánya miatt nem ad gyúrható anyagot, soványító anyagnak viszont viszonylag jó osztályozottsága miatt is alkalmas lehet.

b) Dél-Isztria lapos partjainál, ma leginkább csak a Brijuni-szigetek egyes védett öbleiben gyűjthetően a sekélyvízi üledéket a terra rossa átülepített, sziliciklaszt törmelékben gazdag iszapja alkotja, benne kis mennyiségben előforduló apró tengeri élőlények vázelemeivel. Terepi megfigyeléseink alapján ez az anyag kevés vízzel jól gyúrható masszát alkot, de jelenleg viszonylag kis mennyiségben és területen áll rendelkezésre.

c) Észak-Isztria partjainál, még a flis kőzetekből álló sziklás partok közelében is, de leginkább a folyótorkolatoknál, nagyrészt a folyók által hatalmas mennyiségben folyamatosan ideszállított, majd a tenger által tovább feldolgozott döntően flis eredetű iszap halmozódott fel. Benne kis mennyiségben tengeri élőlények vázelemei, ritkábban terra rossa és mezozós mészkő darabjai is megtalálhatók. Ez az anyag nagy területeken és mennyiségben ma is gyűjthető valamivel a mai tengerszint alatt és fölött egyaránt. (Bár az utóbbi évek ipari tevékenysége miatt e területek nagy része teljesen beépült, így vagy nem hozzáférhető, vagy eltűnt.) Az innen gyűjtött iszap teljesen homogén, igen finomszemcsés, kiválóan gyúrható anyagként viselkedik.

## Részletes nyersanyag mikropetrográfia

#### Terra rossa

Terra rossát Isztria területéről 28 különböző lelőhelyről gyűjtöttünk (**6. ábra**). Mindegyik mintából két-két (kb. 2 x 2 x 4 cm-es élhosszú) téglát formáztunk, az egyiket csak szárítottuk, a másikat ki is égettük 750 Celsius fokon. Minden téglából vékonycsiszolatot készítettünk.



6. ábra: Az Isztriai-félsziget vázlatos földtani térképe a három fő lehetséges nyersanyag terepi mintagyűjtési helyeinek megjelölésével. Jelmagyarázat: vörös korong: terra rossa, sárga korong: flis, kék korong: recens üledék (Živkovic & Bogner 2006 után módosítva).

**Fig. 6.:** Simplified geological map of Istria with field collection places of three possible main raw materials. Legend: red spots: terra rossa, yellow spots: flysch, blues pots: recent sediments (modified after Živkovic & Bogner 2006).



7. ábra: Tiszta terra rossa darab (bal fölső rész) kevert (fehér szemcsés rész) terra rossában Vukova Gorica közeléből (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, IST-1)

**Fig. 7.:** Pure terra rossa grain (left upper corner) in mixed terra rossa near Vukova Gorica (polarizing microscopic photo, 1N, IST-1)



**8. ábra:** Kevert terra rossa polarizációs mikroszkópos fényképe (1N, IST-20a, Vrsartól K-re)

**Fig. 8.:** Polarizing microscopic image of mixed terra rossa (PPL, IST-20a, East of Vrsar)

Makroszkóposan a terra rossa rétegzetlen, igen finomszemcsés, tömött, látható pórusoktól mentes, sötétvörös színű kemény agyag (**4. ábra**). Gyakran tartalmaz kis mennyiségben változó, akár cm-es méretű, a feküjét alkotó mészkőből származó kemény mészkő törmelékeket.

Polarizációs mikroszkópban a különböző területekről származó terra rossa talajminták nagyon hasonlóak egymáshoz. Két fajtájukat különböztetjük meg.

 A tiszta terra rossa élénkvörös színű, homogén agyag, gyakran közel párhuzamosan, hullámosan futó színsávos szövettel (7. ábra). Törmelékszemcséket nem tartalmaz. Ez a kőzet igen ritkán jelenik meg a dél-isztriai terra rossa feltárások felszín közeli részében. 2). A törmelékben gazdag terra rossa (más néven terra rossa talaj), élénkvörös, homogén, sávos szerkezet nélküli agyagos mátrixból és nagy mennyiségű, jól osztályozott, apró, szögletes, monomikt, (főleg hullámos kioltású) kvarcban nagyon gazdag, földpátban és csillámban szegény sziliciklaszt anyagú törmelékből áll (átlagos szemcseméret 40-80 µm) (**8. ábra**). Feltűnően sok, de nagyon apró akcesszórikus elegyrész észlelhető benne. Karbonátot (kivéve a ritka, nagyméretű mezozós mészkőtörmelékeket) és ősmaradványt egyik változat sem tartalmaz.

#### Flis és áthalmozott flis

Több mint 35 flis tartalmú mintát gyűjtöttünk, amelyekbe beletartoznak a szálfeltárásból gyűjtött homok, mész és agyag gazdag kőzetváltozatok, a flis kőzetváltozatokat keverten tartalmazó recens lejtőtörmelékek és folyóvízi üledékek (**6. ábra**). A flisben gazdag tengeri iszapokat külön tárgyaljuk a "recens üledékek" című alfejezetben. A puha kőzetváltozatokat ugyanúgy kezeltük, mint a terra rossát, a kb. 2x2x4 cm-es élhosszú téglatestre formázott mintadarabok szárított, illetve égetett példányaiból is vékonycsiszolatot készítettünk.

A flis kőzetek terepen szálfeltárásokban viszonylag jól rétegzett megjelenésűek, szürke és világossárga színűek (5. ábra). A finomszemcsés meszes (mikrit gazdag) és agyagos változatokban a szemcsék nem látszanak szabad szemmel, a kőzetliszt és homoktartalmúak sem tartalmaznak egy mm-nél nagyobb szemcséket. Homogének, igen jól osztályozottak, az agyagos változatok könnyen aprózódnak, a többi kemény, kötött kőzet. A flisben gazdag lejtőtörmelék vagy folyóvízi hordalék sárgásszürke, agyagban gazdag, puha, jól gyúrható, nem teljesen homogén megjelenésű.

Polarizációs mikroszkópban jól látható, hogy a flis szálfeltárásaiból gyűjtött különböző kőzetfajták három fő alkotórész változó mennyiségű keveredésével alakultak ki, úgymint agyag, karbonát és sziliciklaszt.

1). A tiszta agyagkőzetek barna, sárgásbarna színűek, tömörek, homogének, irányítatlanok, törmelékszemcséket nem tartalmaznak. A főleg agyagásványból álló változatok mellett gyakoriak a mikritben gazdag kőzetváltozatok is. Mindegyik változatban esetenként akár tömegesen is vékony és vastaghéjú globigerinoid foraminiferák megjelenhetnek (**9. ábra**). A vékonyhéjúak gyakran opakásvánnyal (pirit, illetve abból képződött limonit) kitöltöttek.

2). A karbonátok kétféle változatban jelennek meg a flis kőzetekben. A mésziszapból keletkezett finomszemcsés mikrites alapanyagú kőzetváltozatot az előzőekben tárgyaltuk.



**9. ábra:** Agyaggazdag flis polarizációs mikroszkópos fényképe globigerinoida foraminiferákkal (1N, IST-47c, Közép-Isztria).

**Fig. 9.:** Polarizing microscopic image of clayey flysch with globigerinoid foraminifera (PPL, IST-47c, Middle-Istria)

törmelékszemcsék А mészanyagú а homokkövekben általában 20-60 %-ban vannak jelen, de egyes kőzetváltozatokban a törmelékanyag akár 70-80 %-át is kitehetik. Méretük általában 100-200 µm körüli, jól osztályozottak, leginkább kissé szögletesek. Anyaguk nagyrészt mikrit és kevesebb pátit, de nemritkán különböző ősmaradvány vázak és váztöredékek (vastag és vékonyhéjú, akár opakásvánnyal is kitöltött globigerinoida, egyéb foraminifera, molluszka, briozoa és tüskésbőrű) is megjelennek közöttük (10. és 11. ábra).



**10. ábra:** Flis eredetű mészhomokkő opakásvány kitöltésű globigerinoida foraminiferával (fekete) és sok más foraminifera (f), krinoidea (c) és bryozoa (b) váztöredékkel (polarizációs mikroszkópi fénykép, 1N, IST-49, Kotli)

**Fig. 10.:** Flysch originated calcareous sandstone with opaque filled foraminifera skeleton (black) and many other foraminifera (f), crinoidea (c) and bryozoa (b) skeleton fragments (Polarizing microscopic photo, XPL, IST-49, Kotli)



**11. ábra:** Mészgazdag homokos flis foraminifera (f) maradvánnyal, sok krinoidea (c) vázelemmel és kevés kvarc (szürke, q) szemcsével (polarizációs mikroszkópi fénykép, +N, IST-64b, Seča, Szlovénia). Képszélesség: 0,6 cm.

**Fig. 11.:** Calc rich sandy flysch with foraminifera (f) remnant, more crinoid (c) fragments, and quartz (gray, q) grains (polarizing microscopic photo, XPL, IST-64b, Seča, Slovenia). Picture width: 0.6 cm.



**12. ábra:** Cr-spinell szemcse homokos flisben (polarizációs mikroszkópi fénykép, 1N, IST-66b, Fiesa). Képszélesség: 2 mm.

**Fig. 12.:** of Cr-spinel in sandy flysch from Fiesa (Polarizing microscopic photo, PPL, IST-66b). Picture width: 2 mm.

3). A homokkövek és aleurolitok másik fő alkotói a karbonátok mellett a sziliciklasztok. Közepesen osztályozott, szögletes, koptatatlan szemcséi 40-200 um-esek, anyaguk főleg hullámos kioltású kvarc. A földpátok általában viszonylag gyéren fordulnak elő, a csillámok esetenként fölszaporodhatnak. Az akcesszórikus elegyrész általában kevés, de Isztria északi részén a sziliciklasztban gazdagabb homokkövekben a Cr-spinell jól felismerhetően jelentősen feldúsul (12. ábra). A kőzettörmelékek általában ritkák, de az északabbi területeken megnő a mikrokristályos kovakőzet törmelékek aránya, amelyeknek kétféle változatát lehetett megkülönböztetni.



**13. ábra:** Mikrokristályos kovakőzet (tűzkő (t)) szögletes szemcséje meszes-homokos flisben (polarizációs mikroszkópi fénykép, +N, IST-5d, Gologorica-völgy, Zajcitól északra).

**Fig. 13.:** Angular microcrystalline silica rock (chert (t)) fragment in calcareous-sandy flysch (Polarizing microscopic photo, XPL, IST-5d, Gologorica valley, north from Zajci).



**14. ábra:** Kalcedon anyagú fosszilis szivacstű (s) (kerek, szürke) keresztmetszete mészgazdag homokkő vékonycsiszolatában az isztriai flisből (polarizációs mikroszkópi fénykép, +N,IST-64b, Piráni-öböl, Seča mellett). Képszélesség: 2 mm.

**Fig. 14.:** Cross-section of fossilic chalcedony sponge spicula(s) (spheric, gray) in calcareous sandstone from Istrian flysch from (Polarizing microscopic photo, XPL, IST-64b, Piran-bay near Seča). Picture width: 2 mm.

Mindkettőt egyformán mikrokristályos, homogén kvarc alkotja, szövetük irányítatlan (**13. ábra**). A tűzkő eredetű változat színtelen, a vulkáni eredetűnek gondolt változat kevésbé homogén és világos vörös színárnyalatú. Ritkán, főleg a mikrokristályos kvarcban gazdagabb homokkövekben kalcedon anyagú szivacstű metszetek is megfigyelhetők (**14. ábra**).



**15. ábra:** Különböző fajta flis eredetű áthalmozott kőzetdarabok recens üledékben (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, IST-61/3, Isola közelében). Képszélesség: 3 cm.

**Fig. 15.:** Different types of flysch originated resedimented rock fragments in recent sediment (Polarizing microscopic image, PPL, IST-61/3, near Isola). Picture width: 3 cm.



**16. ábra:** Recens sekélytengeri törmelék opál anyagú hosszúkás szivacstűvel (balra fent) (vékonycsiszolat polarizációs mikroszkópos fényképe, 1N, IST-40mar, Verige-öböl, Brijuniszigetek).

**Fig. 16.:** Recent coastal sediment with elongated opalic sponge spicula (upper left corner) (Polarizing microscopic photo of thin section, PPL, IST-40mar, Verige-bay, Brijuni Islands).

A flis területeken található lejtőtörmelékek és folyóhordalékok vékonycsiszolataiban jól láthatók a flis szétmállott kőzeteinek különböző összetevői (sziliciklasztok, mészvázú ősmaradvány töredékek), sőt még a legkülönbözőbb flis eredetű kőzetváltozatok nagyobb méretű, akár több mm-es darabjai is nagy számban felismerhetők (**15. ábra**). Minél távolabb kerülünk a forráskőzetektől, ez utóbbi összetevők annál kisebb méretben és arányban mutatkoznak meg a hordalékokban.



**17. ábra:** Marószivacs (m) nyomok (vékony vonalak) kalcit vázelemen (bal oldalon) sekélytengeri recens üledékből opál anyagú szivacstű (O) keresztmetszetével (jobbra lent) (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, IST-16c, Peroj). Képszélesség: 0,6 cm.

**Fig. 17.:** Calcareous skeleton fragment (left side) with bio-erosion marks (thin lines, m), and cross-section of opalic sponge spicula (O, lower right corner) in recent coastal sediment (Polarizing microscopic photo, PPL, IST-16c, Peroj). Picture width: 0.6 cm.



**18. ábra:** Opál anyagú sugaras szivacstű (sterraster, balra lent), gránát szemcse (fent középen) és növénymaradvány (sötét) sekélytengeri recens üledékben (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, BRI-40zsák, Verige-öböl, Brijuni-szigetek). Képszélesség: 2 mm.

**Fig. 18.:** Opalic radial sponge spicula (sterraster, lower left corner), garnet grain (high relief) and plant remnant (dark) in recent coastal sediment (Polarizing microscopic photo, PPL, BRI-40zsák, Verige-bay, Brijuni islands). Picture width: 2 mm.

A nagy kiterjedésű forrásterülettel rendelkező észak-isztriai folyók hordalékának mintáiban igen kis mennyiségű terra rossa és mezozós mészkő törmelék is megjelent.

#### Recens üledékek

A recens szárazföldi üledékek (lejtőtörmelék és folyóhordalék) főleg a flis területeken, Észak-Isztriában rakódtak le nagyobb mennyiségben, ezeket a fenti fejezetben leírtuk.

A mai és történelmi idők tengerparti üledékeit is számos helyen (16 lelőhely) megmintáztuk. Ezek mindegyikének szárított, valamint kiégetett példányából egyaránt készítettünk vékonycsiszolatot. Ezen minták összetétele és szemcsemérete nagyban függ a környezeti viszonyoktól.

A mészkősziklás, folyótorkolatoktól távol eső, erős hullámzásnak kitett tengerpartok üledékei inkább Dél-Isztriához kötődnek (pl. Brijuni öblei). Uralkodóan durvaszemcsés (0, 1-2)mm) mészanyagú törmelékből (recens tengeri élőlények vázelemei, mezozós mészkő), sziliciklasztból és nagyon kevés finomszemcsés alapanyagból állnak (16. ábra). A mészanyagú törmelékeken gyakran fúrókagyló és marószivacs nyomokat lehet fölfedezni (17. ábra). Kis mennyiségben opál anyagú szivacstű két változata (több tűs (16. ábra) és kevesebb sugaras-gömbös (18. ábra) is előfordul a hullámzás által kevésbé átmosott üledékekben. Ugyanitt kevés terra rossa szemcse is megjelenhet.

Dél-Isztria nyugodt vizű öbleiben (pl. Pula római kori öböliszapja, vagy Brijuni) csak kissé átmosott, osztályozott, aprószemcsés, jól szögletes törmelékben dús terra rossa eredetű, szemcsevázú, agvagos kötőanyagú finomhomokos-aleuritos üledékek találhatók kevés szivacstűvel (mindkét változat) és diatomával. Ezek az üledékek viszonylag kis vastagságban jelennek meg, mert a sziklás mészkőaljzat közel van a felszínhez, és már csak nagyon kevés helyen gyűjthetők, mert a nyugodt öblök erősen beépültek, illetve vitorlás és jacht kikötőt alakítottak ki belőlük.

Az Észak-Isztria partjainál, különösen a Pirán (Piran) és Trieszt (Trieste) között elterülő öblökben uralkodóan a folyók által behordott, vagy tengerparti magas sziklafalak omladozásából származó flis eredetű üledékanyag található. Ezek az iszapok igen finomszemcsések, általában homogének, anyaguk agyagos, mikrites, viszonylag kevés kőzetliszt méretű sziliciklasztot és még kevesebb tengeri élőlény váztöredéket tartalmaz. más Globigerinoida foraminiferák és előfordulhatnak, ritkán növényi eredetű üregeket és szivacstűket, még ritkábban nagyobb terra rossa (19. ábra) és mezozós mészkő szemcséket is lehet bennük találni. Néhány mintában igen vékonyhéjú tengeri kagyló hosszú váztöredékeit is föl lehet fedezni (20. ábra).



**19. ábra:** Flis anyagú recens folyótorkolati tengeri iszapba természetes úton belekeveredett koptatott vöröses terra rossa szemcse (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, IST-55/3 nem égetett, Raša-öböl, Kelet-Isztria). Képszélesség: 0,6 cm.

**Fig. 19.:** Rounded reddish terra rossa grain mixed naturally with flysch originated recent marine sediment (Polarizing microscopic photo, PPL, IST-55/3 non fired, Rašain flux, East Istria). Picture width: 0.6 cm.



**20. ábra:** Vékony kagylóhéj flis anyagú recens tengeri iszapban (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, IST-67 nem égetett, Izola, Észak-Isztria). Képszélesség: 1,2 cm.

**Fig. 20.:** Skeleton of thin shell in flysch originated recent marine from (Polarizing microscopic photo, PPL, IST-67 non fired, Isola, North Istria). Picture width: 1.2 cm.

## A lehetséges nyersanyagok fazekas kísérleteinek eredményei

A fazekas kísérletekkel külön cikk foglalkozik ebben a kötetben (Véninger 2016), ezért itt csak a kísérletek során kapott eredményeknek az általunk vizsgált nyersanyagokra vonatkozó főbb megállapításait foglaljuk össze.

1) Az isztriai terra rossa lassan, nehezen iszapolható, iszapolás után igen sok, kézzel jól

kitapintható apró (mm alatti) kemény csomó marad a finom iszapban.

2) Tisztán terra rossából nagyméretű (kb. 20 cm-nél magasabb) edény nem készíthető. A Dr. 6B amphorák kb. 90 cm magasak.

3) A flis eredetű hordalék igen jól iszapolható, gyorsan és teljesen szétomlik, kemény szemcsék nem maradnak az iszapolt anyagban.

4) A tisztán flis eredetű szárazföldi áthalmozott üledék alkalmas nagyobb méretű (akár 40 cm magas) edények készítésére is.

## Összehasonlító makropetrográfia

Mivel a fažanai amphorák igen finomszemcsések, ritkán tartalmaznak szabad szemmel jól megfigyelhető nem plasztikus elegyrészeket, és a kiválasztott lehetséges nyersanyagok is (terra rossa, agyagos aleuritos, mikrites flis változatok) nagyrészt ehhez hasonlóak, a makroszkópos összehasonlításnál csak a szín megfigyelésére összpontosítottunk.

A terepen gyűjtött és általunk kiégetett terra rossa minták színe teljesen egységesen élénk vörös. Ettől jól láthatóan különbözik a legtöbb fažanai amphora alapanyagának vörösbarna, sárgásvörös színe (1. ábra, A és B típusok). Egyes ritkább, sárga színű amphorákban viszont ugyanilyen élénkvörös színű, akár néhány mm-t is elérő gömbölyded szemcsék figyelhetők meg (21. ábra). Ezek a zárványok később mind polarizációs, mind elektron-mikroszkópos vizsgálattal valóban terra rossával megegyező szövetűnek bizonyultak. A típusos fažanai amphorák legjellemzőbb színe nagyon hasonlít, sőt egyes esetekben teljesen megegyezik egyes terepen gyűjtött flisben gazdag szárazföldi törmelékkőzetek vagy tengeri iszapok kiégetett mintadarabjainak színével.



**21. ábra:** Sötétvörös terra rossa zárványok amphorában (vékonycsiszolat makroszkópos fényképe, Brijuni 370, képszélesség 2,5 cm).

**Fig. 21.:** Dark red terra rossa inclusions in amphora (Macroscopic photo of thin section, Brijuni 370, picture width 2.5 cm).



**22. ábra:** Kiégetett recens sekélytengeri iszap makroszkópos fényképe (IST-65, ÉNy-Isztria, Piráni-öböl partja). A minta hossza 2 cm.

**Fig. 22.:** Macroscopic photo of fired recent shallow marine mud from flat beach of Piran-bay, NW Istria (IST 65). Sample width 2 cm.

A legszembetűnőbb színegyezés az észak-isztriai Piráni-öböl partjáról (IST 65) gyűjtött tengerparti iszap kiégetett mintadarabjának színével figyelhető meg (22. ábra).

Csak a színek megfigyelése alapján is kijelenthető tehát, hogy az amphorák alapanyaga uralkodóan a áthalmozott flis kiégetett mintáival rokon és csak a ritkább fajta amphorák esetenként megjelenő élénkvörös zárványai egyeznek meg a terra rossával.

#### Részletes összehasonlító mikropetrográfia

(az amphorák mikropetrográfiai összevetése a lehetséges nyersanyagokkal)

Összehasonlító mikropetrográfiai vizsgálataink során számos olyan összetevőt és szöveti bélyeget figyeltünk meg, amelyek segítségével viszonylag nagy biztonsággal megállapítható, mely összetevők és hozzávetőlegesen milyen arányban alkothatták a fažanai amphorák nyersanyagát. Ebben a fejezetben csak ezeknek a bélyegeknek a bemutatását tűztük ki célul. Az összehasonlításban az amphorák minden egyes meghatározó tulajdonságát számba vettük, minden esetben bemutatva a vizsgált lehetséges nyersanyagokban észlelt egyértelmű hasonlóságokat és különbségeket.

## 1. alapanyag (plasztikus elegyrész)

- Szín. A makroszkópos összevetés során megfigyelt színazonosságok és -különbségek az egy nikolos mikroszkópi képen is teljesen azonos módon mutatkoznak. Az amphorákban található terra rossa zárványok és a kiégetett terra rossa mintadarabok színe teljesen megegyezik, míg az amphorák vörösbarna színe egyes kiégetett flisben gazdag minták színével mutat jó egyezést. - Mésztartalom. Egyes, főleg a makroszkóposan halványsárga színt mutató amphorák alapanyagában finomszemcsés, egyenletes eloszlású karbonát anyag maradványai fedezhetők fel. Ez általában az amphorák alapanyagának világos sárgásbarna egy nikolos színével és bizonyos fokú izotropitásával jár együtt. A kiégetett terra rossa mintatestek fénymikroszkópban nem mutatnak finomszemcsés mésztartalmat, színük nem barnássárga és keresztezett nikolok között nem izotrópok. Egyes flis kőzetváltozatok viszont nagy mennyiségű mikritet tartalmaznak.

2. törmelékek (nem plasztikus elegyrészek)

- Nem plasztikus elegyrészek aránya. A fažanai amphorák nem plasztikus elegyrészeinek mennyisége erősen változó, de az amphorák fő tömegét képviselő típusok esetében ez az arány 10 % alatti, sőt sok olyan amphora minta is van, amelyben alig, vagy szinte egyáltalán nincs nem plasztikus elegyrész. Az igen kisméretű törmelékanyag (kb. 20 µm alatti) azonban minden amphorában megfigyelhető. Ilyen törmelék/alapanyag aránnyal rendelkező terepi mintákat csak a flis eredetű kőzetek és azok áthalmozott üledékei szolgáltattak. Ezzel szemben a törmelékmentes terra rossa változatok, amelyek mint korábban írtuk - csak igen korlátozottan jelennek meg Dél-Isztrián, még finomszemcsés törmelékanyagot sem tartalmaznak, a törmelékes terra rossa minták pedig ebből a szempontból is minden esetben teljesen egységesnek mutatkoznak és törmelékanyagban sokkal dúsabbak (15-20 %), mint az amphorák zöme.

## 2.1. ásvány- és kőzettöredékek

- Mikrit és pátit. A Fažanai amphorák nem plasztikus elegyrészeinek két fő típusa a sziliciklaszt és a karbonát. E két fő komponens aránya nagyon változó. A legtöbb esetben a karbonát anyagú szemcsék (mikrit és pátit egyaránt) jól láthatóan nagy mennyiségben vannak jelen, gyakran elérik a sziliciklasztok mennyiségét, sőt sok mintában uralkodóvá, vagy akár kizárólagossá is válhatnak. Az erősebben kiégetett mintákban csak a nehezen felismerhető maradványaikat, vagy a helyükön keletkezett pórusokat lehet megfigyelni. A flis eredetű kőzetek igen finomszemcsés változatai gyakran mikritesek, törmelékes (aleuritos, homokos) típusai pátit és mikrit anyagú törmelékben egyaránt gazdagok. A terra rossából a finomszemcsés karbonát anyag teljesen hiányzik, sziliciklaszt anvagú finomtörmeléket csak tartalmaz.

- Mikrokristályos kvarc. A fažanai amphorákban található mikrokristályos kovakőzet szemcsék szögletesek, sarkosak, a többi sziliciklaszthoz hasonló méretben jelennek meg, mennyiségük általában 1 % alatti, de bizonyos amphora mintákban a törmelékek 20-30 %-át is kitehetik.



**23. ábra:** Mikrokristályos kovakőzet (tűzkő) szemcse amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, +N,Castrum703). Képszélesség: 0,6 cm.

**Fig. 23.:** Microcrystalline silica rock (chert) fragment in amphora (Polarizing microscopic photo, XPL, Castrum 703). Picture width: 0.6 cm.

Két típusuk különböztethető meg:

 Színtelen, tiszta, homogén, irányítatlan szövetű, igen finomkristályos (5 μm alatti szemcseméretű) kvarcból áll. Nagy valószínűséggel tűzkő eredetű (23. ábra).

2) Előzőekhez hasonlóan finomszemcsés, irányítatlan szövetű kovaközet változatosabb szemcsemérettel. A fő különbséget a rózsaszínes színárnyalatuk és az igen apró, sötétebb (feltehetően hematit vagy opak-) ásványok adta zárványosság okozza. Valószínűleg savanyú vulkanit finomszemcsés kovás alapanyagából származnak.

Ugyanilyen törmelékszemcséket lehet találni főleg az északabbi isztriai tájakon, különböző flis rétegsorokból begyűjtött, homokban gazdag kőzetváltozatok törmelékei között. hasonló mennyiségi arányban. Különlegesség, hogy ezek az elegyrészek néhány fažanai amphora minta nagyméretű karbonátos-törmelékes kőzetzárványának törmelékes alkotói között is megtalálhatók voltak. A terra rossában ilyen kőzettörmelékek nincsenek, vagy csak nagyon ritkák.

- Akcesszórikus elegyrészek. Az akcesszórikus elegyrészek összmennyiségét és egyes egyedeit fény- és elektron mikroszkóppal is vizsgáltuk. Itt most csak a megkülönböztetésre leginkább alkalmas megfigyeléseket ismertetjük.

 A fažanai amphorákban nagyobb nagyítással fénymikroszkópban is jól látható, hogy az akcesszórikus elegyrészek összmennyisége viszonylag kicsi. A flis kőzetváltozatok nagy részénél hasonló a látvány, csak néhány durvább homokkő változatban dúsulnak fel a nagyobb méretű (50-100 μm) nehézásványok.



**24. ábra:** Krómspinell szemcse amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N,Castrum BOKSZ-1265a).

## **Fig. 24.:** Cr-spinel grain in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, Castrum BOKSZ-1265a).

Ezzel szemben a terra rossa akcesszórikus elegyrészekben feltűnően dús, de ez csak nagy nagyítás mellett vehető jól észre a bennük megjelenő nehézásványok jóval kisebb mérete (átlagban 10-30 µm) miatt.

2) Az egyedi szemcsék közül itt csak a krómspinellt emeljük ki. Bár vékonycsiszolatban nagyon kevés fažanai amphorában jelenik meg, mert ritka és viszonylag kisméretű (24. ábra), nehézásvány vizsgálatkor azonban rendszeresen előkerül. Előfordulása azért lehet érdekes, mert a Cr-spinell leginkább az északnyugat-isztriai flis rétegsorok homokköveinek kis-közepes mennyiségben megjelenő, de igen jellemző törmelékes ásványa. Különlegesség, hogy egy-két amphora minta homokkőzárványában is sikerült Cr-spinellt találni. Ezzel szemben Cr-spinellt egyik terra rossa mintában sem találtunk.

2.2. ősmaradványok

- Globigerinoida. А fažanai amphorák vékonycsiszolataiban többféle foraminifera is megfigyelhető egyedi törmelékszemcse formájában. A legjellegzetesebbek és legnagyobb mennyiségűek a globigerina félék, az amphora minták nagy megjelennek részében kisebb nagyobb mennyiségben. Karbonátos, gyakran sugaras, jellegzetesen lyukacsos vázaik vagy a kiégett vázuk helyén kialakult kerekded pórusok alapján jól felismerhetők. A vastag héjú változatok jellegzetes mikropátitos kitöltésűek, a vékonyhéjúak gyakran opakásvánnyal vannak kitöltve (25. ábra). A különböző változatok gyakran egy-egy amphora mintában együtt is megjelennek. Érdekesség, hogy különböző nagyobb méretű kőzetzárványok elegyrészeként is megjelennek az amphorákban. Ugyanilyen globigerinák jelennek meg északisztriai kainozós flis feltárások számos kőzetváltozatában, akár vegyesen is (9. és 10. ábra).



**25. ábra:** Mikropátittal és opakásvánnyal (fekete) kitöltött globigerinoid foraminiferák amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N,A 397).

**Fig. 25.:** Globigerinoid foraminiferas filled with microsparite (upper) and opaque mineral (black) in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, A 397).



**26. ábra:** Kalcedon anyagú szivacstű keresztmetszete (bal alsó sarok) amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, A 397).

**Fig. 26.:** Cross-section of chalcedony sponge spicula (left down corner) in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, A 397).

Egyedi vázaik jól megőrzött formában tanulmányozhatók a flis területekről származó szárazföldi és tengeri üledékek finomszemcsés átülepített flis eredetű mátrixában is. Az isztriai terra rossa semmilyen ősmaradványt nem tartalmaz.

- Más karbonátos ősmaradvány (foraminifera és molluszka). A fažanai amphorák egyes típusaiban, kis számban és nem túl gyakran más karbonátos ősmaradványok is előfordulnak. Ezekhez hasonló formák is fölfedezhetők kisebb mennyiségben egyes flis eredetű kőzetekben. Az isztriai terra rossa minták ezeket sem tartalmazzák.

- Kovás ősmaradvány. A fažanai amphorák ritka elegyrésze a kalcedon anyagú szivacstű. Az önálló váztöredékek sugaras és gyűrűs szerkezetű kerekded metszetei igen jól felismerhetőek polarizációs mikroszkópban (26. ábra). Kőzetzárvány részeként is megjelenhet. Az északisztriai flis szelvényekből származó, mikrokristályos kvarc szilánkokat is tartalmazó homokkő minták kis mennyiségű, de állandó alkotóeleme (14. ábra). Az isztriai terra rossa ilyen elegyrészeket sem tartalmaz.

#### 2.3. recens vázmaradványok

- Foraminifera. A fažanai amphorák recens foraminiferáinak egy része vékony héjuk és alaki hasonlóságuk miatt nehezen különíthetők el egyes flis eredetű vékonyhéjú fosszilis foraminiferáktól. A recens foraminiferák váza karbonát anyagú, általában kevésbé kristályosak és gyakran nagyobbak, mint a velük együtt megjelenő fosszilis foraminiferák (**27.** ábra). Recens tengeri eredetükről marószivacs nyomok árulkodhatnak. Kőzettörmelékek elegyrészeként nem fordulnak elő. A fažanai amphoráknak csak kisebb hányada tartalmazza őket. ezeknek egy-egy vékonycsiszolatában több példány is előfordulhat, legtöbbször sávokban, lencsékben csoportosulnak más recens tengeri törmelékekkel és kisebb mennyiségben Dél-Isztriára jellemző szárazföldről származó kőzettörmelékkel (mezozós mészkő, terra rossa). Ilyen foraminiferákat a vizsgált lehetséges forráskőzetek közül csak a recens, ezen belül is leginkább csak a dél-isztriai, sziklásabb tengerparti üledékek tartalmaznak (28. ábra).

 Molluszka. Egyes fažanai amphorákban nagyméretű, karbonát anyagú, főleg csiga és kagylóhéj maradványok is előfordulnak, gyakran az előbb tárgyalt nagyobb foraminiferákkal és mellettük előforduló egyéb elegyrészekkel sávokban csoportosulva (29. ábra).



**27. ábra:** Nagyméretű recens tengeri foraminifera amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, A 397).

**Fig. 27.:** Large recent marine foraminifera in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, A 397).



**28. ábra:** Nagyméretű recens foraminifera sekélytengeri iszapból (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, IST-16, Verige-öböl, Brijuniszigetek). Képszélesség: 0,6 cm.

**Fig. 28.:** Large recent foraminifera in shallow marine mud (Polarizing microscopic photo, PPL, IST-16, Verige-bay, Brijuni islands). Picture width: 0.6 cm.



**29. ábra:** Nagyméretű recens tengeri eredetű váz-(molluszka (ml), opál anyagú szivacstű (O) és kőzettöredékek (terra rossa (TR), mérce fölött) amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, Fažana 74-1).

**Fig. 29.:** Large recent marine originated skeleton (mollusc (ml), opalic sponge spicula (O) and rock (terra rossa (TR), above scale) fragments, in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, Fažana 74-1).

Héjuk leggyakrabban vastag, de néhány más jellegű amphora mintában magányosan előforduló, nagyon vékonyhéjú, hosszú kagyló metszeteket is találtunk (**30. ábra**). A vastag héjú változatokhoz hasonló alakok fordulnak elő a dél-isztriai sziklásabb partok közelében gyűjtött sekélytengeri üledékmintákban. A vékonyhéjú magános kagylókhoz hasonló alakokat Északnyugat-Isztria lapos öbölparti tengeri iszapjában figyeltünk meg (**20. ábra**) Koper környékén. A terra rossa minták nem tartalmaznak váztöredékeket.



**30. ábra:** Nagyméretű recens tengeri eredetű vékony héjú kagyló metszete amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, Castrum 701). Képszélesség: 1,2 cm.

**Fig. 30.:** Long section of thin shell of recent marine originated bivalve in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, Castrum 701). Picture width: 1.2 cm.



**31. ábra:** Recens tengeri eredetű opál anyagú szivacstű (O) és kainozós flis eredetű globigerinoida (g) vázak amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, Fažana 79).

**Fig. 31.:** Skeletons of recent marine originated opalic sponge spicula (O) and Cenozoic flysch originated globigerinoidae (g) in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, Fažana 79).

- Opálos szivacstű. Egyik legjellegzetesebb elegyrésze a fažanai amphoráknak az opál anyagú szivacstű. Egy-egy minta vékonycsiszolatában általában csak néhány töredék figyelhető meg. A kevés törmeléket tartalmazó amphorák ritkán tartalmazzák, de a törmelékben kicsit gazdagabb vékonycsiszolatai általában minták többet. csiszolatonként ritkán akár tíznél valamivel több példányt is tartalmazhatnak. Két fő típusa különböztethető meg.

1) Az egyenes, tűs változat a legtöbb esetben jól megfigyelhető központi, vékony, hosszanti csatornája alapján megbízhatóan felismerhető (**31. ábra**).



**32. ábra:** Recens tengeri eredetű opál anyagú gömbös sugaras szivacstű (sterraster) amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, Castrum702). Képszélesség: 2 mm.

**Fig. 32.:** Recent marine originated opalic spheric sponge spicula (sterraster) in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL,Castrum702). Picture width: 2 mm.



**33. ábra:** Bioerózió nyomai recens tengeri mészváz töredéken amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, Castrum 702). Képszélesség: 2 mm.

**Fig. 33.:** Recent calcareous skeleton fragment with traces of bioerosion in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, Castrum 702). Picture width: 2 mm.

Ez a típus mindig nagyobb mennyiségben mutatható ki, mint a másik.

2) A sterraster nevű változat csak ritkábban, egy-két példányban található meg egy-egy vékonycsiszolatban. Látványos gömbös sugaras szerkezete alapján igen jól azonosítható (**32. ábra**).

Ez a két opál anyagú szivacstű féleség nagy mennyiségű karbonátos kőzettörmelék és recens élőlények vázelemei között csak néhány százalékban, de az amforáknál tapasztalt egymás közötti arányban jelenik meg az általunk Dél-Isztria partjainál gyűjtött sekélytengeri törmelékes iszapban (**16.** és **18. ábra**). Az Észak-Isztrián gyűjtött finomszemcsés flis eredetű öböliszapban (pl. a Koperi öböl iszapjában) is csak nagyon kis mennyiségben fordulnak elő.

- Bioerózió. A durvább törmelékben gazdagabb fažanai amphorákban nagyritkán olyan nagyobb biogén váztöredékek is előfordultak, amelyeken bioerózió nyomait, főleg marószivacs nyomokat lehetett fölfedezni (33. ábra). Ilyen nyomokat az amphorák lehetséges nyersanyagai közül csak a Dél-Isztria partjainál gyűjtött sekélytengeri törmelékes üledékek váztöredékein tudtunk megfigyelni (17. ábra).

## 2.4. összetett kőzetzárványok

A fažanai amphorák vékonycsiszolatainak csak néhány százaléka tartalmaz kiugróan nagyméretű kőzetzárványokat, amelyek anyaga viszont igen változatos (**34. ábra**). Vizsgálatuk az amphorák nyersanyagának kutatása szempontjából döntő jelentőségű, mert lehetővé teszik az amphorákban található egyedi törmelékszemcsék forráskőzethez kötését. Ez nagyban megkönnyíti a sokkal gyakoribb, ámde eredetileg bizonytalanabb eredetű egyedi elegyrészek forráskőzetének pontosabb azonosítását.

 Agyagkőzetek. A fažanai amphorákban előforduló agyagkőzetek általában nagyméretűek (akár mmesek is lehetnek) gömbölydedek, homogének, jól kifejlett törmelékszemcséket nem tartalmaznak. Két fő változatuk jelenik meg.

 Az egyik változat vörösbarna-barna színű, esetenként vékony, vagy akár vastagabb héjú globigerinoid foraminiferák előfordulnak bennük (35. ábra). Egyes példányaikat sűrű, igen apró, csillámgazdag törmelékhintés tarkítja. Más változatok több-kevesebb mikritet is tartalmaznak. Ezzel teljesen megegyező kőzeteket lehetett megfigyelni az Észak-Isztria flis feltárásaiban gyűjtött agyagos kőzetpéldányok között (9. ábra).

2) Az élénkvörös változatból egyetlen példányt sikerült megtalálni egy fažanai amphora vékonycsiszolatában. Nagyon finomszemcsés megjelenésű darabja semmiféle nem plasztikus elegyrészt nem tartalmazott. Ez a kőzetzárvány a tipikus tiszta, törmelékmentes terra rossa szöveti képét mutatja.

- Törmelékes üledékes kőzetek. A fažanai amphorák finom homokkő – aleurolit anyagú kőzetzárványai közepes-nagy méretűek, gömbölydedek és viszonylag gyakoriak. Két fő fajtájuk van.

1) Az élénkvörös alapanyagú mátrixvázú változat egységes megjelenésű, sok, uralkodóan kvarcanyagú, jól osztályozott, szögletes törmelékszemcsét tartalmaz. Ezen kívül nagyobb nagyítással jól megfigyelhetők benne a nagy mennyiségben előforduló kisméretű akcesszórikus elegyrészek.



**34. ábra:** Nagyméretű kainozós flis eredetű kőzettörmelékek amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N,Fažana 67).

**Fig. 34.:** Large Cenozoic flysch originated rock fragments in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, Fažana 67).



**35. ábra:** Kainozós flis eredetű globigerinoidás agyagkő zárvány amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, Fažana46).

**Fig. 35.:** Cenozoic flysch originated globigerinoid bearing claystone inclusion in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, Fažana46).

Sem karbonátot, sem biogén vázelemet nem tartalmaz (**36. ábra**). Szöveti bélyegei teljesen megegyeznek az Isztria déli részén gyűjtött, de máshol is előforduló terepi törmelékgazdag terra rossa minták szöveti bélyegeivel (**8. ábra**).

2) A fažanai amphorákban található meszes finomhomokkő-aleurolit zárványok sokkal változatosabb megjelenésűek. Szemcsevázúak, jól osztályozottak, de szemcseméretük tágabb határok között változhat. A bennük lévő karbonátos és szilikátos törmelékszemcsék aránya kissé változó, de jellemzőbb a karbonátok valamivel nagyobb mennyisége (**37. ábra**). Pátit és mikrit szemcséket egyaránt tartalmaznak, emellett gyakran fordul elő bennük globigerina félékhez tartozó karbonát anyagú foraminifera.



**36. ábra:** Nagyméretű terra rossa zárvány (jobb oldalon) amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, 1N, Fažana43).

**Fig. 36.:** Large terra rossa inclusion (right side) in amphora (Polarizing microscopic photo, PPL, Fažana43).



**37. ábra:** Kainozós flis eredetű meszes homokkő zárvány amphorában (polarizációs mikroszkópos fénykép, +N, A-264).

**Fig. 37.:** Cenozoic flysch originated calcareous sandstone inclusion in amphora (Polarizing microscopic photo, XPL, A-264).

gazdagok, csillám- és Kvarcban akcesszória tartalmuk általában nem jelentős. A nagyobb, durvább szemcsés példányokban jól megfigyelhető a megemelkedett mikrokristályos kvarc tartalom, ritkán kalcedon anyagú szivacstűk és Cr-spinell szemcsék is láthatók bennük. Mindezen elegyrészeket önálló szemcseként is észlelhettük, eredetüket ezek a kőzetzárványok egyértelműen bizonyítják, hiszen pontosan ilyen törmelékes üledékes kőzeteket találtunk különböző északisztriai flis szelvényekből gyűjtött terepi mintáink kőzött (11., 13. és 14. ábra).

 Mészkőzetek. A fažanai amphorákban előforduló fő mészkőzet típus viszonylag ritka. Általában szabálytalan alakú, legtöbbször nagyobb méretű recens tengeri élőlények vázmaradványaival társul. Fő anyaga mikrit, amit mikropátitos-pátitos erek, fészkek tarkítanak. Elmosódott, egyszerű foraminifera vázelemek ritkán megjelennek benne. Ezek a kőzettörmelékek nagyon hasonlítanak a főleg Isztria déli részén a terra rossa rétegek feküjeként felszínre bukkanó, általunk is több helyen megmintázott mezozós mészkőféleségek egyes változataihoz. Jellegzetes szemcséit Dél-Isztria törmelék gazdag sekélytengeri üledékeiben is nagy mennyiségben, ritkán a terra rossában is megfigyelhettük.

## Mikroásványtan – nehézásványtan

Mint láttuk, a Fažanában készült amphorák kevés akcesszórikus elegyrészt viszonylag tartalmaznak, egy-egy vékonycsiszolatban csak néhány fénymikroszkóppal jól meghatározható példány figyelhető meg. Egy amphorából készült 30 µm vastag 1x2 cm kiterjedésű szeletet tartalmazó vékonycsiszolat, ami átlagon felüli méretűnek tekinthető, csupán 6 mm<sup>3</sup>-nyi anyagba enged betekinteni. A mikroásványtani mintaelőkészítés során ennél sokkalta, akár több 100-szor nagyobb térfogatú minta is rendelkezésünkre állhat (ha csak negyed köbcentinyi anyagot használunk is fel), így akár 10.000-nél is több szemcsét nyerhetünk ki a vizsgálat számára legkedvezőbb, kb. 30-250 µm-es mérettartományból. Ezeknek persze csak legfeljebb 1-5 %-a tartozik az elegyrészeknek akcesszórikus megfelelő nehézásvány részlegbe, ami még mindig bőven statisztikus megfelel а mennyiségi követelményeknek, de a könnyű ásványok között is információt lehetnek hasznos hordozó szemcsetípusok.

Mikroásványtani vizsgálataink kezdetén természetesen a fažanai amphorákból és lehetséges nversanvagaikból (terra rossa és flis) rendelkezésünkre álló, már meglévő szakirodalmi mikroásványtani adatokat tekintettük át (Durn et al. 1999, 2007, Mikes 2003a, 2003b, Mikes et al. 2008). Az adatfeldolgozás során azonban meg kellett állapítanunk, hogy a különböző szakirodalmi forrásokból származó adatok együttes kiértékelése nehezen végezhető el. Ennek számos oka lehet:

1) A különböző források más-más mintaelőkészítési módszert alkalmaztak, más-más módszerrel vizsgálták az ásványokat, más-más szemcseméret-tartományt vizsgáltak, így az eredmények nem összevethetők.

2) A különböző vizsgálatok során más-más szemcsetípusra helyezték tulajdonságra, а hangsúlyt, egyes szemcsefajták, tulajdonságok (pl. szemcsealak, koptatottság, töredezettség, szín- és változatok megkülönböztetése egvéb egv ásványfajtán belül) említése, vizsgálata kimaradt, az egyes szemcsefajták részletes leírása gyakran hiányzik. Így hiába látunk egyező ásványneveket két különböző anyagnál, nem tudjuk, hogy azonos származású ásványról van-e szó.

3) A mikroásványtani szakirodalomban a mennyiségi adatok gyakran hiányosak. Nem minden munkában adják meg a nehéz/könnyű frakció arányát, vagy a nehézásvány/teljes anyag arányt. Ez az adathiány a különböző nehézásvány tartalmú anyagok keveredési arányának nehézásvány adatok alapján történő meghatározását lehetetlenné teszi.

4) És végül, ha minden vizsgálandó anyag minden adata egységes szellemben is született, akkor sem lehet kritika nélkül összevetni az adatsorokat. A nehézásványt tartalmazó különböző anyagok nehézásvány spektruma és dúsulási maximuma ugyanis mérettartomány függő, a vizsgált anyagot leginkább jellemző ásványegyüttest mutató mérettartomány pedig minden egyes vizsgált anyagra jellemzően más és más, egymástól különböző is lehet.

Mindezen okok miatt új, minden kérdéses fontos anyagra (fažanai amphorák, terra rossa és flis) kiterjedő, egységes módszerrel történt vizsgálatot végeztünk. Ennek ellenére mennyiségi arányokon alapuló pontos számításokat saját adatainkkal sem tudtunk végezni, mivel a fenti 4. pontban említett különbözőségek hangsúlyozottan érvényesek a fažanai amphorák két lehetséges fő nyersanyagára, a terra rossára és a flisre. Az ugyanis könnyen megállapítható volt már polarizációs mikroszkóppal is, hogy a két kőzetfajta jellemző nehézásvány dúsulásának mérettartománya igencsak eltérő, a terra rossáé a fliséhez képest az igen kis, akár 30 um alatti mérettartományok felé tolódik el. További nehézséget jelent, hogy a flis rétegsorok sokféle kőzet váltakozásából állnak és nemcsak kőzetfajtánként, hanem területenként is eltérő nehézásvány tartalommal rendelkeznek. Mindezek miatt jelen munkában csak a minőségi meghatározások legfontosabb eredménveit mutatjuk be röviden. (Az eredmények részletes ismertetését lásd: Obbágy et al. 2014)

1) A fažanai amphorákban rendszeresen megtalálható Cr-spinell az észak-isztriai flis kőzetek jellegzetes nehézásványa, a terra rossában nagyon ritka.

2) Az amphorákban szintén rendszeresen megjelenő pirit és barit csak a flisre jellemző nehézásványok.

3) A nehézásványokkal együtt nagy arányban jelennek meg opakásvánnyal, limonittal kitöltött ősmaradványok az amphorák preparátumaiban. Ezek is csak a flisre jellemző alkotórészek.

4) Számos olyan ásványszemcse is kimutatható az amphorákban, amelyek mindkét lehetséges fő nyersanyagban (flis és terra rossa) előfordulnak. Ezek között több olyan ásványfajta is található, amely mind a terra rossában, mind a flisben sajátos, megkülönböztető bélyeggel jellemezhető. Például az idiomorf, ép kristályok inkább a terra rossában jelentkeznek, a törött, szabálytalan szemcsék pedig a flisben. A fažanai amphora mintákban ezen ásványok mindkét változata előfordult.

## Elektron-mikroszkópia (SEM-EDX)

Elektron-mikroszkópos vizsgálatainknak az volt a legfőbb célja, hogy pontosabb mérésekkel meghatározzuk az amphorák és lehetséges nyersanyagaik összetételét és szövetét, így segítve az amphora gyártáshoz használt nyersanyagok pontosabb azonosítását. Vizsgálatainkat, a mikroszövet megfigyelése, a mátrix kémiai összetételének meghatározása és az akcesszóriák azonosítása irányban terjesztettük ki. Mivel a vizsgálatok kiértékelése még folyamatban van, ebben a dolgozatban csak a legegyszerűbben bemutatható kiértékelhető, leglátványosabban szöveti azonosítást mutatjuk be képek segítségével. A fažanai amphorák és kőzetzárványaik, valamint lehetséges fő nyersanyagaik alapanyagának mikroszerkezeti, mikroszöveti jellemvonásainak megfigyelése jól segítette az amphorák gyártásához használt nyersanyagok azonosítását és esetenként lehetővé tette a kiégetés során végbement szöveti és ásványos összetételi változások nyomon követését is.

Elektron-mikroszkópos vizsgálataink első fázisában a fažanai amphorák lehetséges két fő nyersanyagának alapanyagát vettük szemügyre és hasonlítottuk össze nagyobb nagyítással. Ezután következett a fažanai amphorák és terra rossa anyagú kőzetzárványaik alapanyaggal való összevetés. Ezután vettük szemügyre az erősebb kiégetés jól látható jeleit.

- Terra rossa. A terra rossa nedvesen összegyúrt, kiszárított, majd kiégetett mintadarabjaiból készített vékonycsiszolatok egységes képet mutattak. A visszaszórt elektron képen jól látható a terra rossára egységesen jellemző tömör, igen kevés pórust tartalmazó szövet (**38. ábra**). Az igen apró nehézásványok (fényes pontok) mennyisége viszonylag sok.

- Flis. A flis szálfeltárásait alkotó kőzetek nagy része kemény kőzet, vízzel nem ad képlékeny, gyúrható anyagot, ezért a tisztán flis kőzetek vegyes hordalékából álló természetes módon átülepített, kevés vízzel jól gyúrható masszát adó terepi mintákból készítettünk mintatesteket, amelyekből ugyanúgy, ahogy a terra rossa esetében, szárítás és kiégetés után vékonycsiszolatot készítettünk. Ezek a minták is viszonylag egységes képet mutattak. Mikroszövetüket egyenletesen teljesen áthálózzák a visszaszórt elektron képen kitűnően megfigyelhető vékony rések, repedések, becsült pórustérfogatuk a 10-15 %-ot is elérheti (39. ábra). Ugyanezen a képen kevesebb az akcesszóriákat, azaz tulajdonképpen a nehézásványokat jelző apró világos szemcse.



**38. ábra:** Terepi terra rossa minta mikroszöveti képe (elektronmikroszkópos fénykép, IST-9, Medulin).

**Fig. 38.:** Microtexture of terra rossa field sample (Electron microscopic photo, IST-9, Medulin).



atellite @Tescan DATE: 05/22/15 50

**39. ábra:** Flis-gazdag recens tengeri üledék kiégetett mintájának mikroszöveti képe (elektronmikroszkópos fénykép, IST-68, Koperi-öböl partja).

**Fig. 39.:** Microtexture of fired sample of flysch rich recent marine sediment (Electron microscopic photo, IST-68, coast of Koper bay).

- Fažanai amphora. A vizsgált amphorák alapanyagának visszaszórt elektron képén jól látható, hogy az alapanyag pórusos, a pórusok elrendeződése hálózatos (**40. ábra**). Az áthalmozott flis szöveti bélyegeivel való hasonlóság szembetűnő.

- Terra rossa zárvány az amphorában. A fažanai amphorákban polarizációs mikroszkóppal terra rossa zárványnak minősített, gyakran makroszkóposan is jól látható kisebb-nagyobb kőzetszemcsék (**21. ábra**) mikroszövetét is megfigyeltük. Tömör szerkezetük és gazdagabb nehézásvány tartalmuk alapján a terepi terra rossa mintákhoz való nagy hasonlóság szembetűnő (**41.** és **42. ábra**).



**40. ábra:** Jellegzetes fažanai amphora alapanyagának mikroszövete (elektron-mikroszkópos fénykép, 685).

**Fig. 40.:** Microtexture of the groundmass of typical Fažana amphora (Electron microscopic photo, 685).

- Kiégetés. A kiégetés hatására a fažanai amphorák anyaga is jellegzetes változásokon ment keresztül. Az égetés hatásának (ami főképpen az égetés hőmérsékletének, a hőn tartás idejének és a kiindulási anyag összetételének a függvénye) fokozatos növekedését mikroszöveti bélyegek sorozatának megfigyelésével követtük nyomon. amelyeket az egyre erősebb átalakulás sorrendjében mutatunk be.

 A kiégetés mértékére utaló első látványos szöveti változás a karbonátok részleges eltűnése, ami a fažanai amphoráknál a karbonát szemcsék peremén megjelenő hézagokban, illetve a nagyobb pórusok közepén még meglévő karbonát reliktumok jelenlétében nyilvánul meg (43. ábra).

2) A tartósabb, vagy a még nagyobb fokú hőhatás a karbonát ásványok teljes kiégését és maradékuk teljes eltűnését eredményezi. Ekkor még a visszaszórt elektron képen nem jelennek meg látható méretű új ásványfázisok (44. ábra). A típusos fažanai amphorák ezt a kétféle képet mutatják.

3) A következő fokozatban a teljesen kiégett karbonátok helyén kialakult üregek falán és az alapanyagban is új nagyhőmérsékletű Ca-tartalmú szilikátásványok apró szemcséi jelennek meg (45. ábra).

4) Az égetés hatásának további fokozódásával a nagyobb pórusok közötti vázszerkezetet adó mikroporózus alapanyag részleges olvadást szenved, majd kihűlve üvegesre dermed, amelynek során finoman porózus mikroszerkezete fokozatosan megszűnik, anyaga tömörré válik (46. ábra).



**41. ábra:** Kisméretű terra rossa zárvány mikroszöveti képe fažanai amphorában (elektron-mikroszkópos fénykép, 584).

**Fig. 41.:** Microtexture of small terra rossa grain in Fažana amphora (Electron microscopic photo, 584).



V: 20.0 kV DET: BSE atellite @Tescan DATE: 05/22/15

**42. ábra:** Fažanai amphora terra rossa zárványának mikroszövete (elektron-mikroszkópos fénykép, Pula 373).

**Fig. 42.:** Microtexture of terra rossa inclusion in Fažana amphora (Electron microscopic photo, Pula 373).

Elektron-mikroszkópos mikroszöveti vizsgálataink azt mutatják, hogy a fažanai amphorák alapanyaga az átülepített flis anyagához nagyon hasonló, a terra rossáétól viszont teljesen eltérő szövetet mutat. Az amphorákban ritkán megjelenő önálló terra rossa zárványok a terepi terra rossa mintákkal mutatnak mikroszöveti egyezést. A kiégetés mértékét a mikroszerkezeti bélyegek jól mutatják.



Satellite @Tescan DATE: 12

DATE: 12/08/14 50 um

**43. ábra:** Részlegesen kiégett karbonát szemcsék (világos szürke szemcsék fekete koszorúval) fažanai amphora alapanyagában (elektron-mikroszkópos fénykép, 760).

**Fig. 43.:** Partly burnt-out carbonate grains (light gray grains with black rim) in the groundmass of Fažana amphora (Electron microscopic photo, 760).



Satellite ©Tescan

DATE: 05/22/15 20 um

**45. ábra:** Erősebb kiégetés hatására képződött új Ca-szilikát fázisok (sok apró világosszürke pont) fažanai amphora alapanyagában (elektron-mikroszkópos fénykép, 373).

**Fig. 45.:** New Ca-silicate phases (lots of small light gray spots) formed by stronger firing in the groundmass of Fažana amphora (Electron microscopic photo, 373)

#### Kémiai elemzés (XRF)

A XRF módszerrel végzett kémiai elemzést 2-3 grammyi porított anyagon végezzük. A vizsgálat a teljes megporított anyagra vonatkozó átlagos elemi összetételt adja a fő-, számos nyom- és néhány ritkaföldfém elemet beleértve (1. és 2. táblázat).

Az amphorában lévő összetevők eredeti összetétele és az amphorára ható utólagos folyamatok átalakító hatása tehát egyszerre, egybegyúrva jelenik meg az elemarányokban. A helyes kiértékeléshez ezért ismernünk kell a



**44. ábra:** Teljesen kiégett egykori karbonát szemcsék helyén kialakult pórusok (sötétszürke foltok) fažanai amphora alapanyagában (elektron-mikroszkópos fénykép, 818).

**Fig. 44.:** Pores (dark gray spots) formed by total burnout of carbonate grains in the groundmass of Fažana amphora (Electron microscopic photo, 818).



Satellite ©Tescan DATE: 05/20/15 50 um kainozós

**46. ábra:** Erős kiégetés hatására kialakult üveges alapanyag (világosszürke háló) fažanai amforában (elektronmikroszkópos fénykép, Kolci fül).

**Fig. 46.:** Glassy groundmass (light gray mesh) of Fažana amphora formed by strong firing (Electron microscopic photo, Kolci fül (handle)).

viselkedését vizsgált elemek mindazon folyamatokban, anyagokban, amelyek az amphora leletek végső, átlagos kémiai összetételét kialakították. További nem kiszámítható értékelési nehézséget, pontatlanságot, vagy akár hibát is okozhatnak a vizsgált cserépdarab inhomogenitásából (zárványosság, lokális ásványdúsulás), vagy az esetleges nem megfelelő minta-előkészítésből (tökéletlen porítás és/vagy kémiai feltárás) adódó, a vegyi összetételt az átlagminta várható értékeitől eltérítő módosító hatások.

**1. táblázat:** A fažanai amphorák és lehetséges fő nyersanyagaik főelem összetétele (XRF, Tübingen, tömeg %). Jelmagyarázat: TR = terra rossa, FL = flis, AM = amphora. **46. ábra:** Erős kiégetés hatására kialakult üveges alapanyag (világosszürke háló) fažanai amforában (elektron-mikroszkópos fénykép, Kolci fül).

**Table 1.:** Major element composition of Fažana amphorae and their possible main raw materials (XRF, Tübingen, mass %). Legend: TR = terra rossa, FL = flysch, AM = amphora.

Minta/Sample													
		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Sum
jele/name	típusa/												
	type												
IST 7b	TR	61,69	1,04	17,72	6,1	0,13	0,98	1,06	1,08	1,87	0,16	7,6	99,7
BRI 43u	TR	62,65	1,06	17,04	6,01	0,13	1,25	0,82	1,48	2,09	0,09	6,11	99,01
IST 14a	TR	54,96	1	20,72	7,17	0,1	1,72	1,01	1,07	2,52	0,09	9,06	99,68
IST 48-2	FL	46,33	0,58	10,37	4,48	0,17	1,7	22,83	0,67	1,69	0,14	10,09	99,22
IST 50a	FL	49,25	0,69	14,31	5,97	0,1	2,51	16,87	0,76	3,01	0,13	5,38	99,16
IST 61-1f	FL	44,63	0,43	7,45	3,32	0,09	1,4	21,59	0,91	1,24	0,08	18,72	100
IST 61-1h	FL	21,16	0,3	6,22	2,59	0,19	1,5	32,54	0,3	1,23	0,1	30,25	96,56
IST 61-3	FL	45,44	0,62	11,39	5,02	0,17	2,47	22,77	0,85	2,15	0,13	8,79	100
004	AM	50,48	0,71	13,43	5,26	0,15	2,85	13,9	0,68	2,39	2,1	7,07	99,24
061	AM	58,23	0,87	17,2	6,72	0,18	2,29	4,37	0,85	2,54	0,22	6,1	99,74
062	AM	52,88	0,78	14,05	5,78	0,13	2,29	9,44	0,96	2,41	0,6	10,26	99,78
090	AM	59,98	0,83	13,66	5,49	0,14	2,21	9,88	1,36	2,44	0,18	3,2	99,56
125	AM	54,84	0,83	14,7	6,12	0,16	2,61	12,01	1,22	2,45	0,16	3,68	99
126	AM	54,72	0,82	14,29	6,07	0,11	2,65	9,26	1,98	2,7	0,15	5,97	98,93
134	AM	46,16	0,66	12,38	5,06	0,1	6,16	9,02	2,3	2,33	0,16	13,73	98,25
258	AM	53,04	0,77	13,53	5,5	0,13	2,49	10,69	0,96	2,45	0,18	9,67	99,58
323	AM	59,17	0,87	14,73	6,1	0,16	2,41	9,47	1,13	1,35	0,42	3,36	99,35
333	AM	60,48	0,76	12	4,88	0,13	2,04	9,53	1,07	2,03	0,13	6,79	100,02
361	AM	59,2	0,87	15	6,21	0,14	2,69	6,72	0,57	2,51	0,78	4,39	99,32
372	AM	55,63	0,89	15,46	6,65	0,15	2,6	11,42	1,36	2,24	0,16	2,73	99,49
545	AM	48,5	0,72	13,04	5,32	0,14	2,38	12,91	0,92	2,34	0,17	13,02	99,64
F04	AM	49,54	0,65	11,53	4,56	0,13	2,74	14,12	0,65	2,18	0,31	13,35	99,93
F28	AM	56,17	0,86	14,41	6,2	0,12	1,92	10,26	1,05	2,71	0,4	5,42	99,71
F45	AM	63,33	0,8	12,4	4,99	0,13	1,92	8,35	1,23	2,43	0,26	3,45	99,5
F79	AM	43,9	0,59	11,37	4,41	0,15	3,54	16,03	0,74	2,46	0,36	15,63	99,33

**2. táblázat:** A fažanai amphorák és lehetséges fő nyersanyagaik nyomelem és ritkaföldfém (RFF) összetétele (XRF, Tübingen, ppm). Jelmagyarázat: TR = terra rossa, FL = flis, AM = amphora, - = nem mért.

**Table 2.:** Trace and rare earth element (REE) composition of Fažana amphorae and their possible main raw materials (XRF, Tübingen, ppm). Legend: TR = terra rossa, FL = flysch, AM = amphora, - = not measured.

Minta/Sample													
jele/name	típusa/	Ba	Cr	Ni	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr	Eu	La	Nb
-	type												
IST 7b	TR	399	65	58	113	112	152	42	33	407	0,4	51	19
BRI 43u	TR	431	47	51	120	117	134	44	31	418	0,4	53	21
IST 14a	TR	411	77	71	144	95	199	38	48	323	0,3	52	18
IST 48-2	FL	297	119	51	81	380	107	18	81	133	0,8	19	0
IST 50a	FL	327	168	143	135	335	144	13	69	112	0,6	22	0
IST 61-1f	FL	243	63	13	45	416	67	-	16	97	0,9	19	-
IST 61-1h	FL	286	0	0	51	916	58	0	13	40	1,7	38	0
IST 61-3	FL	516	77	60	88	480	101	10	50	115	1	23	-
004	AM	415	108	40	106	417	92	19	70	163	0,8	31	0
061	AM	451	92	78	125	210	107	10	69	148	0,5	34	0
062	AM	743	118	71	102	226	105	19	56	145	0,5	23	0
090	AM	359	160	76	113	240	117	21	52	185	0,5	24	0
125	AM	368	117	82	115	319	118	5	60	144	0,7	27	0
126	AM	290	101	76	107	377	129	20	56	163	0,7	30	0
134	AM	219	37	46	83	402	101	15	43	133	0,8	30	0
258	AM	383	117	79	110	220	118	20	53	147	0,5	24	0
323	AM	344	148	81	47	192	90	28	46	194	0,6	23	0
333	AM	284	161	67	95	189	97	24	41	201	0,5	25	0
361	AM	499	155	59	97	233	92	30	41	226	0,6	28	0
372	AM	364	124	83	93	239	112	25	67	170	0,6	25	0
545	AM	363	93	56	104	254	105	20	61	144	0,6	19	0
F04	AM	327	83	36	82	328	91	18	45	172	0,7	21	0
F28	AM	407	104	88	118	271	129	20	29	155	0,6	29	0
F45	AM	341	144	64	101	198	104	23	33	202	0,5	21	0
F79	AM	302	58	39	95	290	99	10	46	127	0,6	32	0

117



**47. ábra:** A fažanai amphorák és lehetséges fő nyersanyagaik pontjainak elhelyezkedése a Zr – La kétváltozós diagramon. Jelmagyarázat: sárga: amphora, szürke: flis, vörös: terra rossa.

**Fig. 47.:** Zr – La bivariant diagram with the spots of Fažana amphorae and it's possible main raw materials. Legend: yellow: amphora, gray: flysch, red: terra rossa.

Kémiai vizsgálatunknak fő célja, hogy a fažanai amphorák nyersanyagaként elsődlegesen mikropetrográfiával kimutatott anyagokat kémiailag is jellemezzük, összehasonlítsuk az amphorák kémiai összetételével, majd megpróbáljuk meghatározni a fő nyersanyagok keveredési arányát és a nyers amphorára utólagosan ható fő folyamatok (égetés, betemetődés) kémiai természetét.

1) Első lépésben meghatároztuk, mely elemek mennyiségében mutatkozik állandó, jól kimutatható különbség az amphorák fő nyersanyagai a terra rossa és a flis között, azaz melyek megkülönböztető jelentőségűek (azaz diszkriminatívak) e két nyersanyagra nézve. A mért elemeknek több mint a fele ilyennek bizonyult. A különbözőségek többféle okra is visszavezethetők, amelyeket leginkább geokémiai megfontolásokkal lehet kideríteni.

2) Második lépésben a diszkriminatív elemek közül azokat az úgynevezett immobilis elemeket választottunk ki, amelyekről ismert, hogy stabilan megőrződnek egy adott anyagban akkor is, ha az őket tartalmazó ásványos anyag erőteljes utóhatásoknak van kitéve. Ilyenek bizonyos nyomelemek (pl. Y, Zr) és a ritkaföldfémek (pl. La). Az ezen elemek részvételével készített kétkomponensű diagramok azt mutatják meg, hogy eredetüket tekintve mely anyagok tartozhatnak össze és melyek nem. Esetünkben pl. a Zr - La és Y – La diagramokon világosan látszik, hogy a terra rossa pontjai nagyon szűk területre esnek, jelezve e



**48. ábra:** A fažanai amphorák és lehetséges fő nyersanyagaik pontjainak elhelyezkedése az Y – La kétváltozós diagramon. Jelmagyarázat: sárga: amphora, szürke: flis, vörös: terra rossa.

**Fig. 48.:** Y – La bivariant diagram with the spots of Fažana amphorae and it's possible main raw materials. Legend: yellow: amphora, gray: flysch, red: terra rossa.

kőzet egyveretű összetételét. Ezzel szemben a flisből származó, változatos összetételű különböző kőzetfajták pontjai vonal mentén széthúznak. Megfigyelhető az is, hogy a fažanai amphorák pontjai a különböző flis tartalmú minták alkotta csoport közvetlen közelében helyezkednek el, távol a terra rossa minták ponthalmazától (47. és 48. ábra). Ebből arra lehet következtetni, hogy a terra rossa csak nagyon kis arányban lehetett jelen a fažanai amphorák nyersanyagában, a flisnek viszont döntő szerep jutott.

## Következtetések

A Fažanában gyártott Dr. 6B amphorák petrográfiai leírását és nyersanyagának meghatározását célzó korábbi kutatások (Bezeczky 1987, 1998, Bezeczky & Mange 2007, Mange & Bezeczky 2006, 2007) főleg mikroásványtani vizsgálati eredmények alapján – arra a következtetésre jutottak, hogy a Fažanában gyártott amphorák nyersanyagának fő alkotója a terra rossa volt, amelyhez kevés recens tengeri eredetű anyagot kevertek (Mange & Bezeczky 2006, 2007). Ez teljesen kézenfekvő, megnyugtatónak tűnő megoldás volt, de mivel a nehézásványok egy részének kiléte tisztázatlan maradt és az amphorákban található biogén alkotók egy részének recens tengeri eredetével kapcsolatban kételyek merültek föl, többféle módszer új szemléletű együttes alkalmazásán alapuló új vizsgálatot kezdtünk el.

**3. táblázat:** A fažanai amphorák és lehetséges nyersanyagaik főbb megkülönböztető bélyegeinek (összetétel és tulajdonság) összehasonlító - összefoglaló táblázata. Jelmagyarázat: AMPH = amphora, TR = terra rossa, FL = flis, É-lapos = Észak-Isztria, lapos tengerparti recens iszap, D-köves = Dél-Isztria, sziklás tengerparti recens iszap, – = nincs vagy nem, (+) = kevés vagy nem jellemző, + = sok vagy jellemző, ? = nincs adat. A táblázat adatai a terra rossa, flis és Észak-Isztria lapos tengerparti iszap minták esetében mesterségesen kiégetett mintatestek vizsgálati eredményeit mutatják. \*Tűzkő és riolit finomszemcsés kvarc anyagú alapanyaga összevonva.

**Table 3.:** Brief summary of comparison of main characteristical data (composition and properties) of Fažana amphorae and their possible raw materials. Legend: AMPH = amphora, TR = terra rossa, FL = flysch, É-lapos = Recent mud have collected from flat beach in North Istria, D-köves = Recent mud have collected from rocky beach in South Istria, - = no or none, (+) = few or not characteristic, + = many or characteristic, ? = no data. The data of terra rossa, flysch and flat beach mud from North Istria relate to artificially fired samples. \*Chert and silicified matrix of acid vulcanite together.

módszer / method		tulaidanságak / propartias	AMDH	TR	FI	TENGERI / MARINE	
№	neve / name	tulajuolisagok / properties	AWITT	IK	rL	É- lapos	D- köves
1	makropetrográfia /	élénkvörös szín / bright red colour	_	+	-	-	-
	macropetrography	sárgásbarna szín / yellowish brown colour	+	-	+	+	+
2	mikropetrográfia	nemplasztikus elegyrész / aplastics	(+)	+	(+)	(+)	+
	(alt.) / micropetrography (general)	össz karbonát tartalom / total carbonates	+	-	+	+	+
	(general)	biogén elegyrészek / biogene components	+	-	+	+	+
3	mikropetrográfia (részletező) /	elsődleges mikrit és pátit / primary micrite and sparite	+	-	+	+	+
	micropetrography (detailed)	mezozós mészkő / Mesozoic limestone	(+)	(+)	(+)	-	+
	(atalita)	bioeróziós karbonát szemcse / bioerosion on carbonate grain	(+)	-	-	-	+
		mikroszemcsés kvarc* / microcrystalline quartz*	+	-	+	+	(+)
		kövült globigerinoida / fossil globigerinoid	+	-	+	+	(+)
		opak kitöltésű kövült globigerinoida / opaque filled fossil globigerinoid	+	-	+	+	(+)
		kövült molluszkák / fossil molluscs	(+)	-	(+)	(+)	(+)
	kövült kalcedonos szivacstű / fossil chalcedony sponge spicula	+	-	+	+	(+)	
		recens foraminiferák / recent foraminiferae	(+)	-	-	(+)	+
		recens molluszkák / recent molluscs	(+)	-	-	(+)	+
		recens opálos szivacstű / recent opalic sponge spicula	+	-	-	+	(+)
4	4 mikroásványtan / micromineralogy	akcesszóriák mennnyisége / quantity of accessories	(+)	+	(+)	?	?
		törött nehézásvány szemcsék / broken heavy minerals	+	(+)	+	?	?
		ép nehézásvány szemcsék / undamaged heavy minerals	(+)	+	(+)	?	?
	Cr-spinell / Cr-spinel	(+)	-	+	?	?	
		barit / barite	+	-	+	?	?
		pirit / pyrite	+	-	+	?	?
5	e-mikroszkóp / e-microscope	tömött mikroszövet / compact microtexture	-	+	-	-	-
		mikroporózus szövet / microporous microtexture	+	-	(+)	+	-
6	kémiai összetétel / chemical composit.	La (ritkaföldfém) mennyisége / quantity of La (Rare Earth Element)	(+)	+	(+)	(+)	?
		Y, Zr (nyomelem) mennyisége / Quantity of Y, Zr (trace elements)	(+)	+	(+)	(+)	?

Az előző fejezetekben ennek a munkának a Dr. 6B amphorák cserépdarabjain és az amphorák lehetséges nyersanyagain makro- és végzett mikropetrográfiai, mikroásványtani, elektronmikroszkópi és kémiai összehasonlító vizsgálati eredményeit mutattuk be. Ezeket a vizsgálatokat úgy végeztük, hogy szerény anyagi lehetőségeink szabta kereteken belül a lehető leghatékonyabban érjük el céljainkat, vagyis hogy a lehető legpontosabban meghatározzuk а vizsgált amphorák nyersanyagát, annak kinyerési helyét és az amphorák kiégetésének egyes körülményeit. Minden egyes alkalmazott módszerrel - más-más megközelítéssel – sikerült megalapozott válaszokat kapni számos fontos kérdésre. És bár az egyes módszerek önmagukban nem adhattak választ minden egyes kérdésre, a módszerek megfelelő sorrendű alkalmazásával és együttes értékelésével sikerült közel kerülni a célként megfogalmazott kérdések teljes körű tisztázásához.

Itt kell kiemelnünk, hogy a legteljesebb körű, leginkább kézzel fogható eredményeket a nyersanyag azonosításában polarizációs а mikroszkópi módszer adta. Ezzel a módszerrel minden egyes mintadarab viszonylag olcsón vizsgálható, de a vizsgálat igen időigényes és nagy geológiai szakismeretet és sokéves tapasztalatot követel meg. Az eredmények tükrében mégis azt kell mondanunk, hogy minden ilyen munkának az alapját ez a módszer kell, hogy képezze. A további módszerekre polarizációs mikroszkópi а vizsgálatokkal megválaszolt kérdések pontosítása és az ezután fennmaradt tisztázatlan kérdések megválaszolása maradt.

## Nyersanyagok kiértékelése

Munkánk során az Isztrián és közvetlen környezetében előforduló három lehetséges fő nyersanyag típust választottunk ki és vizsgáltunk meg. Nagy számban gyűjtöttük be és vizsgáltuk meg az isztriai terra rossa két fajtáját (tiszta TR és TR talaj), az isztriai flis különböző kőzetváltozatait (különböző aleurit-homok, mész és agyag tartalmúakat), valamint az Isztriai-félsziget különböző környezeteiről (szárazföldi lejtőtörmelék, folyómeder, tengerpart) származó recens üledékeket.

- Tiszta terra rossa. A tiszta terra rossának a terra rossa talajtól megkülönböztetve történő kimutatása amphorákban legegyszerűbben az és legpontosabban polarizációs mikroszkópi módszerrel végezhető el. Így is csak abban az esetben, ha szét nem omlott, el nem keveredett darabjai eredeti szövettel, viszonylag nagyobb méretben (legalább 50 µm átmérőjű darabokban) egyben megmaradtak. A fazekas kísérletek azt mutatták, hogy a terra rossa ugyan jól iszapolható, kövér agyag, de iszapolt anyagában hosszabb áztatás után is nagy számban maradnak egybeálló, kemény, tizedmilliméteres darabok (Véninger 2016, ebben a kötetben). Ebből arra lehet következtetni, hogy ha jelentősebb mennyiségű terra rossa került az amphora nyersanyagába (akár természetes lepusztulás folytán, akár mesterségesen iszapolt, összedolgozott módon), polarizációs mikroszkópban jól látható darabjait mindenképpen meg kellene találnunk. A közel ezer amphora és egyéb kerámia mintából csak egyetlen egyben találtunk összesen egy tiszta terra rossa szemcsét, ami azt jelenti, hogy ezt az anyagot nem használták amphora gyártáshoz, és természetes módon sem tartalmazta nagy mennyiségben a kitermelt nyersanyag. Ez annál is inkább érthető, mert a tiszta terra rossa csak nagyon ritkán fordul elő nagy mennyiségben az isztriai terra rossa feltárások felszín közeli rétegeiben.

- Terra rossa talaj. A terra rossa talaj kimutatását és mennyiségének meghatározását az amphorákban a terra rossa csomók és az akcesszórikus elegyrészek megfigyelésével, valamint a kémiai elemzések (XRF) értékelésével végeztük el.

1) TR csomók megfigyelése. A tiszta terra rossánál említett iszapolási tapasztalatok a terra rossa talajra (a továbbiakban csak terra rossa (TR)) még inkább vonatkoznak, ennek az anyagnak így az értékelésénél is kijelenthetjük, hogy jelentősebb mennyiségű bekerülése az amphorák nyersanyagába vélhetően nagyobb méretű és mennyiségű terra rossa törmelék csomó megjelenésével kell, hogy együtt járjon.

Polarizációs mikroszkópi megfigyeléseink szerint a terra rossa csomók nem túl gyakori elegyrészei az amphoráknak, és általában csak kis méretben (100-300 µm) és darabszámban jelennek meg egy-egy mintában. Előfordulásuk csak az amphorák kisebb hánvadánál rögzíthető egyértelműen, és csak egyes amphora csoportoknál jelennek meg nagyobb méretben és mennyiségben (36. ábra), általában tengeri recens törmelékkel társulva. Ezek alapján megállapíthatjuk tehát, hogy az amphorák egy részének nyersanyagában kisebb-nagyobb törmelékszemcsék, csomók formájában jelen volt a terra rossa. Ezeknek a csomóknak a részaránya az őket tartalmazó amphorák nyersanyagának teljes térfogatához viszonvítva minták döntő а hányadánál kevesebb, mint egy térfogatszázalék, és a terra rossa csomókban leggazdagabb néhány mintát nézve is csak legfeljebb 10-15 %.

A következő két lépésben a terra rossa igen finomszemcsés, az alapanyagban finom eloszlásban elkeveredett anyagának kimutatása és részarányának megállapítása volt a feladat.

2) A TR akcesszóriáinak megfigyelése. Polarizációs és elektron-mikroszkóppal is megállapítottuk, hogy a terra rossa láthatóan jóval több akcesszórikus elegyrészt tartalmaz, mint a flis. Ha ezeknek az elegyrészeket a mennyiségét megfigyeljük az amphorákban és összehasonlítjuk a terra rossa és flis akcesszória tartalmával, következtethetünk az amphorák finomszemcsés alapanyagában előforduló két nyersanyag mennyiségi arányára is.

Az amphorák alapanyagának polarizációs és elektron-mikroszkópi képén számos esetben meg lehetett figyelni, hogy a bennük lévő akcesszórikus elegyrészek mennyisége általában nem a terra rossában, hanem а flisben megfigvelt mennyiségekhez amphorák hasonló. Az mikroásvány vizsgálatai szerint jóval kevesebb fajta nehézásvány és rájuk jellemző bélyeg utal a terra rossára, mint a flisre.

3) A TR alapanyaga. A kémiai elemzések adatai a vizsgált mintában lévő összes anyag átlagára vonatkoznak, így a kapott értékek (az amphorák és egyes agyagos terepi kőzetminta esetén) leginkább a minta legnagyobb térfogati arányát kitevő, más módszerrel nehezen vizsgálható alapanyag összetételét tükrözik. A megfelelően kiválasztott elemzési adatok (diszkriminatív immobilis elemek) alapján készített diagramok jól mutatják (47. és 48. ábra), hogy az amphorák pontjai távol helyezkednek el a terra rossa pontjaitól és beleesnek a flis kőzetek pontjai alkotta mezőbe. Az elektron-mikroszkópos felvételek arról tanúskodnak, hogy fažanai amphorák а alapanyagának mikroszerkezete egyáltalán nem hasonlít az égetett terra rossa mintadarabok (38. és mikroszerkezetére 40. ábra). Az amphorákban mikroszkóppal polarizációs kimutatott terra rossa csomók alapanyagának elektron-mikroszkóppal megfigyelhető mikroszerkezete viszont egyértelműen azonosítható volt a terepi terra rossa minták mikroszerkezetével, polarizációs mikroszkópi megerősítve а vizsgálatokkal azonosítási végzett TR eredményeket.

A fenti két pont alapján a terra rossa nagyobb részarányú jelenléte az amphorák nyersanyagának döntő hányadát adó finomszemcsés alapanyagában is kizárható.

A terra rossáról vizsgálataink fényében összességében elmondható, hogy az semmiképpen nem lehetett alapvető nyersanyaga a Fažanai Dr. 6B amphoráknak. Bekerülése a nyersanyagba sok mintánál kimutatható, de ez csak nagyon kis mennyiségben, esetlegesen történhetett meg. Ezt a fazekas kísérletek is alátámasztották, melyek szerint a terra rossa önmagában alkalmatlan nagyméretű, kb. 20 cm-nél magasabb edények gyártására. (Véninger, 2016, ebben a kötetben)

- Flis. A Fažanai amphorák vékonycsiszolataiban nagyon sok nem plasztikus elegyrész biztosan nem terra rossa, hanem egyesek nagy valószínűséggel (karbonátok, mikrokristályos kvarc), mások egyértelműen (ősmaradványok, spinell, nagyobb kőzetzárványok zöme) isztriai flis eredetűek. Az amphorák akcesszórikus elegyrészeinek polarizációs és elektron-mikroszkópban megfigyelt mennyisége is a flis kőzetekéhez közeli arányokat mutatott. A mikroásvány vizsgálatok a flisre utaló nehézásvány fajtákat és bélyegeket nagyobb számban mutattak ki az amphorákban, mint terra rossára utalókat. A kémiai elemzések alapján készült diagramokon is jól látszik, hogy a fažanai amphorák pontjai távol esnek a terra rossáéitől, és a flis pontjainál csoportosulnak. Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy a fažanai Dr. 6B amphorák egyetlen fő nyersanyaga isztriai flis eredetű volt. Az amphorák döntő hányadánál a flis részaránya a felhasznált nyersanyagokban uralkodó, jóval meghaladhatta a 90 %-ot. Közvetlenül a flisből viszont nehéz lenne bármilyen edényt is gyártani, hiszen a szálfeltárásokból gyűjtött flis kőzetek nagy része kemény. erősen cementált kőzet. finomszemcsés anyaggá iszapolásuk hónapokba, vagy akár évekbe is beletelhet, tehát közvetlenül flis kőzetekből nem készülhetett amphora.

- Recens üledékek. A recens üledékek 3 fő anyagféleséget tartalmaznak helytől, környezettől függően különböző arányban. 1) A flis anyaga durvaszemcsésen Észak-Isztria lejtőtörmelékeiben, közepes szemcsézettséggel Észak-Isztria folyóiban, igen finomszemcsés átiszapolt állapotban Észak-Isztria folyó torkolataiban és tengerpartjain fordul elő tömegesen. 2) A terra rossát mezozós mészkővel Dél-Isztria területén, finom iszap formájában Dél-Isztria tengerpartjain lehet nagy tömegben megtalálni. 3) A tengeri élőlények durvaszemcsés mészanyagú vázelemeit nagy tömegben Dél-Isztria sziklásabb tengerparti övezeteiben, apró szivacstűit pedig egész Isztria laposabb tengerparti területein, de mindenhol csak kis mennyiségben figyelhettük meg.

Az amphorák vékonycsiszolataiban a tengeri eredetű élőlények általában jól felismerhetőek. Az apróbb opál anyagú szivacstűket szinte minden mintában megtalálhatjuk kis mennyiségben. Ezek nyugodtabb egész Isztria öbleiből tehát származhatnak. Azonban Dél-Isztria sekélytengeri iszapjaiban a kis mennyiségű szivacstű mellett nagy tömegű durvább szemcsés tengeri eredetű karbonát anyagú törmelék is megjelenik. Az amphorákban a szivacstűk mellett ilyen törmelékanyagot nem, vagy csak nagyon keveset találunk, tehát az opálos szivacstűk nagy részének eredete inkább északisztriai lehet. A durvaszemcsés vázelemek csak néhány amphora csoportnál jelennek meg nagyobb mennyiségben (29. ábra) más törmelékekkel (mezozós mészkő, terra rossa csomó) egyetemben. Ezen amphorák nyersanyagaiban tehát dél-isztriai tengerparti törmelék is előfordul. A tengeri eredetű törmelékek összmennyisége azonban még ez utóbbi mintákban sem éri el az 5 tf %-ot. Ez összhangban van azzal a megállapításunkkal, hogy az amphorák

nyersanyagának döntő tömegét az Észak-Isztrián felszínen is nagy tömegben megtalálható flis adta.

## Égetési körülmények

A fažanai amphorák égetési körülményeiről jelenleg csak előzetes információink vannak, a részletes vizsgálatokat későbbre tervezzük, de az általunk használt módszerekkel eddig megfigyelt jelenségekből megpróbáltunk ennek megfelelő szintű következtetéseket levonni.

Petrográfiai (polarizációs és elektron-mikroszkópi) megfigyeléseink során észrevettük, hogy az amphorákban eredetileg előforduló karbonátos elegyrészek (mikrit, pátit, élő szervezetek mészanyagú vázelemei) egyes mintákból részben (43. ábra), másokból viszont teljesen hiányoznak (44. ábra). Az eredeti elegyrészre csak a helvükön megmaradt üreg jellegzetes alakjából lehet következtetni. Egyes amphorák esetében ezeket, vagy akár az eredetileg kitöltetlen pórusokat is másodlagosan kialakult karbonát kristályok töltik ki. Az eredeti karbonát tartalom meghatározása, így a nyersanyag azonosítása ezekben az esetekben nehézségekbe ütközhet. Mindez persze csak az amphorák meszes, flis tartalmú részére vonatkozik, mert a terra rossa – mésztartalom híján – ilyen jelenségeket kiégetés után nem mutat, ezért kiégetési körülményeinek nyomozása ezekkel a módszerekkel komoly korlátokba ütközik. A fažanai amphorák nyersanyaga viszont, mint korábban bemutattuk, uralkodóan flis eredetű volt, amely gyakran nagy mennyiségű mésztartalommal rendelkezett. Az amphora nyersanyagok mésztartalma és finomszemcsés agyagos alapanyaga a kiégetés során az égetési körülményeknek megfelelő mértékű és minőségű átalakulást szenvedett. Az így kialakult új szöveti bélyegek és ásványfázisok megfigyelésével az alábbiakra lehet következtetni.

1) A fažanai amphorák kisebb hányadánál a karbonátos összetevők épek maradtak, ami arra utal, hogy esetükben az égetési hőmérséklet tartósan nem haladta meg a kb. 700 Celsius fokot (Cultrone et al. 2001, Trindade et al. 2009).

2) A fažanai amphorák vékonycsiszolatainak többségében a finomszemcsés, kisebb méretű, vagy vékony termetű karbonát anyagú összetevők (pl. vékony héjú globigerinoidák) részben vagy teljesen kiégtek, kiégett részük helyén csak üres pórusokat, vagy ritkán utólagosan, másodlagos karbonát ásványokkal kitöltött lyukat láthatunk. Ezekben a mintákban az eredetileg vastagabb, nagyobb méretű, jobban kristályos karbonát anyagú szemcsék nagyrészt épen megmaradtak. Eseteikben az égetés 700 és 800 Celsius fok között mehetett végbe (Cultrone et al. 2001, Trindade et al. 2009). Ezt a megállapításunkat az általunk 750 Celsius fokon kiégetett flisben gazdag nyersanyag minták hasonló szöveti képe is igazolja.

mészben gazdagabb 3) А nyersanyagú amelyekben amphorákban, szinte minden teljesen kiégett, csak mészanyag elektronmikroszkóppal megfigyelhető új, aprószemcsés, az alkalmazott módszerekkel - kis méretük miatt biztosan nem azonosítható mész-szilikát ásványfázisok, feltehetően gehlenitek (korábbi vizsgálatok során XRD-vel igazoltan kimutatva (Weiszburg & Papp 1987) kialakulása is megfigyelhető volt. E minták alapanyaga polarizációs mikroszkóppal keresztezett nikolok között már közel izotróp jelleget mutatott, ami az alapanyag részleges megolvadását és a képződött kevés olvadék visszahűléskori üvegessé dermedését jelzi. Elektron-mikroszkóppal az ilyen alapanyag igen finom, hálós szerkezetében a hálót adó kötegek tömörödését lehet látni. Az üvegesedéshez mészben szegényebb agyagoknál már tartósan legalább 800-850 Celsius fokos égetési hőmérsékletre van szükség, de mészgazdag agyagok esetén - mint amilyenek a főleg mészgazdag flis eredetű anyagból készült fažanai amphorák – ez a folyamat már 700-800 Celsius fok között is elkezdődhet. Új mész-szilikát fázisok megjelenése 900 °C-tól várható (Cultrone et al. 2001, Trindade et al. 2009).

4) Az alapanyag teljes izotropitását leginkább a kis számban előforduló, makroszkóposan világossárga, nagy keménységű mintánál lehetett megfigyelni polarizációs mikroszkóppal. A jelenségből alapanyaguk erős üvegesedésére és 850 Celsius fok fölötti égetési hőmérsékletre, vagy hosszabb égetési időre lehet következtetni. Mészben gazdagabb nyersanyagú amphorák esetén ez a hőmérséklet 750-850 Celsius fok közé is eshet (Cultrone et al. 2001, Trindade et al. 2009).

Mindezen következtetések jól egybevágnak a korábban megállapított (Weiszburg & Papp 1987, 750-900 °C) hozzávetőleges hőmérsékleti tartomány adatokkal.

## A nyersanyag lelőhelyének nyomozása

Vékonycsiszolatos vizsgálataink szerint az amphorák nagyon kevés nagyobb méretű kőzettörmeléket tartalmaznak. főleg igen finomszemcsés anyagból állnak, ami korábbi megállapításaink szerint több mint 90 %-ban flis anyagú. A flis területeken kialakult lejtőtörmelékek és a folyóhordalékok ugyan szinte tisztán flis anyagúak, viszont bennük a flis egy része nagyobb, általában keményebb kőzettörmelékek formájában van jelen. Ezért nem valószínű, hogy az amphorák nyersanyagát ezekről a helyekről szerezték be. Kőzettörmelékben nagyon szegény, nagyrészt flis finomszemcsés, természetes módon anyagú. átiszapolt homogén üledékek Isztriának csak az északi, lapos tengerparti területein fordulnak elő. Ugyanitt kis mennyiségben recens tengeri élőlények (vékonyhéjú kagylók, opál anyagú szivacstűk) aprószemcsés vázelemei, valamint a

folyók által bemosott igen kis mennyiségű terra rossa csomó és mezozós mészkő szemcsék is megjelenhetnek. Ezen anyagok kiégetett mintatestei alapanyagának mikroszerkezete elektronmikroszkóppal nézve igen nagy hasonlóságot mutat az amphorák alapanyagának mikroszerkezetével. A típusos finomszemcsés fažanai amphorák makroszkópos bélyegei (szemcsézettség, szín) kísértetiesen hasonlítanak ezen kiégetett tengeri iszapok makropetrográfiai bélyegeire (22. ábra). Diszkriminatív immobilis elemi összetételükben is nagyfokú a hasonlóság (47. és 48. ábra). Mindezeken túlmenően fazekas kísérleteink szerint ez az anyag alkalmas nagyméretű cserépedények készítésére is (Véninger, 2016, ebben a kötetben). Mindezek alapján kimondhatjuk, hogy az amphorák anyagának, szövetének, összetételének leginkább megfelelő anyag az Isztriai-félszigeten vizsgált lehetséges nyersanyagok közül a folyók által nagy tömegben beszállított, flisben gazdag, kevés tengeri vázelemet, és még kevesebb terra rossából és mezozós mészkőből származó hordalékanyagot is tartalmazó sekély, lapos tengerparti iszap. Ilyen iszapot elegendően nagy mennyiségben lehet találni a Trieszti-öböl egyes kisebb öbleiben és azok mai lapos partjain (pl. Piráni-öböl) (3. ábra) Az innen bányászott iszap véleményünk szerint megfelelő minőségű volt arra, hogy további mesterségesen hozzáadott anyagok nélkül fel lehessen használni amphora gyártásra. Egy ilyen partközeli nyersanyag kitermelő hely szállítási szempontból is kedvező volt, ugyanis így a tengerinél sokkal nehézkesebb és költségesebb szárazföldi szállítás elkerülhető volt. Elképzelésünk szerint a Trieszti-öbölben kibányászott tengerparti iszapot kb. 90 km-es tengeri úton hajóval Fažanába szállították. Az amphorák pontos összetétele és minősége attól is függött, melyik melléköbölből, sőt a bányahely melvik részéből nyerték a nyersanyagot. Ha a fazekas nem volt teljesen megelégedve az iszap minőségével, a Fazanában is rendelékezésre álló anyagok hozzáadásával javított rajta. Így aztán soványíthatta helyi esetenként tengerparti homokkal, vagy kövéríthette terra rossa iszappal.

## Eredmények összesítése

- A Fažanában gvártott amphorák nyersanyagát újszerű megközelítéssel határoztuk meg. Először felkutattuk és jellemeztük а lehetséges maid összehasonlítottuk nyersanyagokat, és azonosítottuk az amphorákban megfigyelt alkotókkal és szöveti bélyegekkel.

- A lehetséges nyersanyagok terepen begyűjtött, gyúrható változatait az amphorákhoz hasonló körülmények között kiégetve is megvizsgáltuk.

- Következtetéseinkhez a lehetséges nyersanyagok felhasználásával végzett fazekas kísérletek eredményeit is fölhasználtuk. - Az amphorák anyagában az égetés során lejátszódott változások nyomait is megfigyeltük, ez alapján megpróbáltunk az amphorák eredeti összetételére is következtetni.

- Petrográfiai, mikroásványtani, elektronmikroszkópi és kémiai vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy az amphorák nyersanyaga főleg az isztriai flisből tevődött össze.

- Terra rossa és tengeri eredetű törmelékanyag csak kis mennyiségben kerülhetett a fažanai amphorák nyersanyagába, nagyrészt természetes keveredéssel, egyes esetekben szándékos soványítás révén.

- Kimutattuk, hogy a Fažanában gyártott amphorák nyersanyagának legvalószínűbb kinyerési helye a Trieszti-öböl valamelyik melléköble, vagy egy ahhoz közeli, hasonló jellegű terület lehetett. Az esetleges szándékos soványítás már az amphora gyártás helyén, Fažanában, a helyi tengerparti üledékek felhasználásával történt.

## **Köszönetnyilvánítás**

Mindenekelőtt szeretnénk köszönetet mondani Bezeczky Tamásnak, aki nélkül ez a munka el sem kezdődhetett volna. Köszönjük továbbá Kreiter Attila, Kürthy Dóra, Pánczél Péter, Vanicsek Katalin és Véninger Péter munkánkhoz nyújtott önzetlen segítségét. Munkánkat az Osztrák Tudományos Akadémia (FWF, P 23684) támogatta.

## Irodalomjegyzék

BERTOŠA, M. & MATIJAŠIĆ, R. (2005): *Istarska Enciklopedija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2005, Zagreb, pp. 944

BEZECZKY, T. (1987): Roman amphorae from the Amber Route in Western Pannonia. *BAR*, *International Series*, **386** Oxford, pp. 191

BEZECZKY, T. (1998): The Laecanius Amphorae Stamps and the Villas of Brijuni. *Österreichische Akademie der Wissenschaften, Denkschriften* Wien, **261** 286 pp.

BEZECZKY, T. & MANGE, M.A. (2009): New petrographic data on the late phase of the Laecanius workshop in Fažana (Istria, Croatia). In: BIRÓ, K.T., SZILÁGYI, V. & KREITER, A. eds., *Vessels: Inside and Outside, 9th European Meeting on Ancient Ceramics* (EMAC<sup>'</sup>, 07) 24-27 October 2007 Budapest, 247–254.

CULTRONE, G., RODRIGUEZ-NAVARRO, C., SEBASTIAN, E., CAZALLA, O., DE LA TORRE, M. J. (2001): Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *European Journal of Mineralogy* **13** 621–634.

DURN, G., OTTNER, F., SLOVENEC, 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*, Amsterdam (Elsevier) **58** 701–737.

JÓZSA, S. & SZAKMÁNY, GY. (1987): Petrology. In: BEZECZKY, T. ed. Roman amphorae from the Amber Route in Western Pannonia, *BAR*, *International Series*, Oxford, **386**, 103–124.

MANGE, M.A. & BEZECZKY, T. (2006) Petrography and Provenance of Laecanius Amphorae from Istria, Northern Adriatic Region, Croatia. *Geoarchaeology: An International Journal* **21/5** 429–460.

MANGE, M.A. & BEZECZKY, T. (2007): The provenance of paste and temper in Roman amphorae from the Istrian Peninsula, Croatia. In:: MANGE M.A. & WRIGHT D.T., (eds.), Heavy minerals in use. Oxford, Amsterdam. Elsevier, *Developments in Sedimentology* **58** 1007–1033.

MIKES T. (2003a): A külső-dinári eocén flis lehordási területének mikromineralógiai vizsgálata, Diplomamunka, ELTE, TTK, Kőzettan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 78 pp.

MIKES, T. (2003b): Provenance analysis of Eocene flysch sandstones in the Northwestern External Dinarides. – *M.Sc. Theses*, University of Tübingen, Tübingen, 75 pp.

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). SIEGESMUND, In: S., FÜGENSCHUH, B., FROITZHEIM, N. (eds): Tectonic Aspects of the Alpine-Carpathian-Dinaride System.0 Geological Society Special Publication London, 298 335–363.

OBBÁGY G., JÓZSA S., SZAKMÁNY GY., BENDŐ ZS., BEZECZKY T. (2014): Isztriai amforák nyersanyagának nehézásvány-vizsgálati eredményei. *Gesta* **XIII** 39–58.

TRINDADE, M.J., DIAS, M.I., COROAD, J., ROCHA, F. (2009): Mineralogical transformations of calcareous rich clays with firing: A comparative study between calcite and dolomite rich clays from Algarve, Portugal. *Applied Clay Science* **42** 345– 355.

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 guidebook*, Opatija, 21–30.

VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, 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: VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J. (ed.): Evolution of Depositional Environments from the Palaeozoic to the Quaternary in the Karst Dinarides and the 22nd Pannonian Basin. IAS Meeting of Sedimentology, Opatija -September 17-19, 2003, Field Trip Guidebook, 3–17.

VÉNINGER P. (2016): Flis és terra rossa fazekas szemmel. Korongozhatósági vizsgálat: milyen agyag lehet alkalmas nagyméretű római amphorák készítésére? *Archeometriai Műhely*, **13/2** 131–140 (jelen kötetben).

WEISZBURG, T. & PAPP, G. (1987): X-ray powder diffraction analyses, in: T. BEZECZKY (ed.) Roman amphorae from the Amber Route in Western Pannonia, *BAR International Series*, **386** Oxford, 128–133.

ŽIVKOVIC, S. & BOGNER, D. (2006): Coprolite status of Coptocampylodon lineolatus Elliott 1963 (incertae sedis) from Middle Eocene deep-sea sediments of Istria (Croatia), *Micropaleontology* **52/4** 371–379.

## **Summary**

In the Roman Empire in the surroundings of a small village Fažana in south Istria huge quantity of olive oil have been produced for more than 200 years (from ca. 40 BC to end of the 2nd century AD) during the ownership of Laecanian family and later of the Roman Emperors. This product was distributed over this long period steadily to the large area bordered to the north by the Danube, including Pannonia as well. Vessels for the storage and transport of olive oil, the Dressel 6B type amphorae were produced close to the place of oil production in Fažana in large quantity. The history of amphorae after its production starting in Fažana and ending in the oil use location can be investigated mostly by archaeological methods. However, the research of the story of amphorae production starting from the selection of raw materials and ending with the utilization can also help to answer other important archaeological questions. For this part of amphora research geological knowledge are needed.

The main goal of our present study is to obtain as much knowledge as possible by different geological research methods (petrography, micromineralogy, electron microscopy, geochemistry) about the raw materials and the

production technology, i.e., 1) type of the raw materials, 2) ratio of the raw materials in the mixture, 3) provenance of the raw materials. The exact determination of composition and locality of the raw material of Fažana amphorae let us to have more ideas about the level of technological knowledge of roman people connected to geological materials and pottery manufacturing. Furthermore, we can have more knowledge about the activities of Laecanian lordship connected with amphora production (distance, direction and frequency of shipping of raw materials).

## Previous works on raw material determination

The archaeometric research of the Fažanian Dressel 6B amphorae have started more than 30 years ago. At the beginning, about 200 thin sections of amphorae were quantitatively and qualitatively described. The first classification based on the texture and the aplastic components (Bezeczky, 1987; Józsa and Szakmány, 1987). In addition, few samples have measured by XRD for coarse evaluation of the firing temperature (Weiszburg and Papp, 1987). Later on, detailed micromineralogical analysis of the amphorae has performed for comparison with the terra rossa and loess from the Istrian peninsula. At the same time, 300 new thin sections of amphorae were evaluated, and a new classification was created based on the previous and the new results (Mange and Bezeczky, 2006, 2007; Bezeczky and Mange, 2009).

The main results of the researches mentioned above are as follows: 1) Based on the fabric analysis nine petrographic groups were determined. 2) The main raw material component of the amphorae has found to be similar to the loess containing terra rossa in Istria. 3) Researches showed recent marine sediments and plankton in the amphorae. 4) The heavy mineral composition of the amphorae samples and the loess containing terra rossa has found to be mostly similar with small differences. The origin of distinct heavy mineral components in the amphorae remained unknown. 5) The firing temperature was roughly estimated in the range of 750-900 °C.

## Methods

During our study we have investigated only those Fažanian Dr. 6B amphorae from the whole oil distribution area which had two stamps (owner and vilicus) and thus have detailed age determination made by Tamás Bezeczky (1998). We have introduced new style elements during the raw material investigation. Firstly, after macroscopic and brief microscopic description of amphorae, all kinds of possible raw materials in Istrian peninsula (terra rossa, flysch, loess, different recent sediments) were searched in the field and investigated in detail. More than 150 thin sections were made of hard rock and dried and fired soft sediment samples from more than 70 field localities. Secondly, all two stamped amphora samples were investigated petrographically in thin section (both earlier and newly made) in detail to find as much exactly indicative rare components of raw materials as possible. Thirdly, other pottery materials originally out of our study were also investigated to obtain additional data for evaluation of amphora production. Fourthly, pottery experiments were made to obtain practical information of amphora production.

Our strategy of study we have followed is the next: 1. Detailed macroscopic grouping of all amphora samples (described in Bezeczky 1998), 2. Brief thin section petrography of representative amphora samples, 3. Field search and detailed petrographic study of all possible raw materials, 4. Detailed comparative petrographic study of all samples of amphorae and raw materials, 5. Pottery experiments (P. Véninger (2016), this volume), 6. Detailed petrographic study of other pottery products (dolia, tegula, spica) and mortar (water tank), 7. Comparative micromineralogy, 8. Comparative electron-microscopy, 9. Comparative chemical analysis

## Results

The main type of Dr. 6B amphorae made in Fažana macroscopically is hard, very homogenous, fine-grained, brownish red – yellowish red coloured (Fig. 1., types A and B), with few pores and weak or no orientation. Small, 1-2 mm sized white inclusions are rare. Rarer variants have similar texture but appear with gray or yellow colour and the latter ones have few red inclusions (Mange & Bezeczky 2006, 2007). In polarizing microscope the plastic material of most typical Fažanian amphorae is reddish brown, rarely yellow, slightly or non-oriented, usually anisotropic. Originally more or less compact but usually have variable porosity. The aplastic material is well sorted, most of the grains are angular and less than 100 µm in size. The quantity of nonplastics is variable. Both siliciclastic and carbonatic components are present in variable proportions. Among siliciclastics mono- and polycrystalline quartz dominate, feldspars, microquartz rock fragments are rare, micas are variable. Accessory minerals are few. Micrite and sparite is common, carbonatic biogenic remnants are frequent. Siliceous biogenic remnants are typical but few. Sedimentary rock fragments (sandstone, siltstone, claystone, limestone) appear rarely (Fig. 2.).

## Detailed field research and thin section micropetrography of possible raw materials

Terra rossa and terra rossa soil can be found in different thickness on the surface mainly in wide areas of South Istria (Red Istria) (Figs. 3. and 6.). Macroscopically it is a very dense massive pore-free homogeneous red clayey sediment often containing few large (0.1-2 cm) fragments of underlying limestone (Fig. 4.).

In polarising microscope two types can be distinguished. The main type of terra rossa, the so called terra rossa soil have homogeneous bright red very fine-grained (submicroscopic) matrix with considerable amount of siliciclastic material. The well sorted, angular monomict siliciclastics have small grain size (40-80  $\mu$ m) and mostly consists of quartz, feldspars and micas are rare. Accessory minerals appear remarkably densely. There are no calcareous materials (except for large fragments of underlying Mesozoic limestone) and no fossils in it (Fig. 7.). The clastic free pure terra rossa is extremely rare on the surface of Istria (Fig. 8.).

Flysch is a deep marine sedimentary rock series. It is cropping out only in northern part of Istria (Grey Istria) (Figs. 3. and 6.). Here it has Cenozoic age and consists of different fine-grained, homogenous gray and yellow coloured rock types containing siliciclastic, calcareous and clayey materials in different proportions (Fig. 5.). Microscopically in the rock types rich in siliciclastics, the grains are angular, medium sorted with 40-200 µm grain size. Most of the grains are quartz with wavy extinction; feldspars are not rare, micas are usually few. Microcrystalline quartz rock fragments (magmatic and cherty origin) are characteristic (Fig. 13.). Accessory minerals are markedly few, but appearance of Cr-spinel in northernmost Istrian samples is characteristic (Fig. 12.). Chalcedony sponge spiculae are rare but also characteristic (Fig. 14.). Calcareous flysch rock types are the micritic limestone usually with calcareous fossils and the calcareous sandstone containing angular micritic, sparitic and calcareous fossil fragments (Figs. 10. and 11.). Clay rich rock types are homogenous and can also contain fossil (mainly globigerinid foraminifera) fragments (Fig. 9.).

Recent river and debris flow sediments are soft, weathered mixtures of different rock types eroded in North Istria mainly from the flysch areas, in South Istria from areas covered by terra rossa and Mesozoic limestone (Fig. 15.). Recent marine sediments can be found all around Istria and contains resedimented continental sediments (fluvial and piedmont) described above and marine originated recent skeleton fragments of living beings mixed in different proportions. More characteristic recent marine originated components are the larger fragments of empty calcareous skeletons of different coarse crystalline molluscs and fine-grained brown coloured foraminifera occasionally with traces of bioerosion (Fig. 17.), and the smaller opalic sponge spiculae (Figs. 16. and 18.). In South Istria the beaches are mostly rocky and the shallow marine sediments are few and consist mostly of coarser grained marine originated skeleton fragments (Fig. 16.). In North Istria the beach sediment is always rich in flysch originated mud and contain only few fine-grained marine originated skeleton fragments, namely opalic sponge spiculae and thin-shelled clams (Fig. 20.), and in some cases very few terra rossa (Fig. 19.) and Mesozoic limestone grains.

#### Pottery experiments (Véninger 2016)

Detailed description of pottery experiments is given in the paper of P. Véninger (2016) in this volume. Here we briefly present only those main results which are connected with raw material suitability for amphora production.

1) The terra rossa soils, sampled in South Istria from an oil tree plantation were acting as a very fat clay, consequently and practically it is not suitable to form earthenware higher than 20 cm.

2) Experiments have shown, that after even a long term decanting the dissolution of terra rossa was not complete and large number of small hard terra rossa grains remained.

3) Flysch originated plastic material can be found mainly in North Istria as mixture of flysch rock types resedimented in form of debris flows, river sediments and shallow marine mud. Experiment with a debris flow flysch sample showed that this material is suitable to produce earthenware even as high as a Dr. 6B amphora.

#### Detailed comparative macro- and thin section micropetrography of Fažanian amphorae

In the course of our detailed comparative petrographic research, we found a significant amount of components and textural features in Istrian amphorae, which show unambiguous similarities with those materials detected and described in the potential raw materials for Fažana amphorae (terra rossa, flysch rock types and recent sediments) collected from Istria. Most of them are easily recognizable and simply identifiable by petrographic microscope.

The reddish brown colour of the groundmass (plastic material) of common Fažana amphorae both macroscopically (Fig. 1.) and microscopically is very similar to the colour of fired, mostly flysch originated mud sampled from flat bays in North Istria (Fig. 22.). The fired terra rossa field samples and the bright red fine grained rock inclusions mainly in yellowish variety of amphorae (Fig. 21.) are absolutely similar.

The amount of non-plastics especially the siliciclastics and also the amount of accessory minerals in most of the Fažana amphorae is few. This feature is different from that of terra rossa, and similar to most of the fine-grained flysch rock types.

Some monomineralic components, such as microquartz fragments (volcanic and cherty types) (Fig. 23.), Cr-spinel grains (Fig. 24.) and micrite and sparite fragments are very characteristic for Fažana amphorae and practically missing from terra rossa.

Individual fossils are the most typical components for Fažana amphorae. Most of them are calcareous. The dominant types among them are the globigerinoids (thick and thin shelled, filled with microsparite or opaque minerals (Fig. 25.)), but molluscs are also present. Chalcedony sponge spiculae also exist but only in few quantity (Fig. 26.). Similar fossils in similar quantities are common constituents of the Cenozoic flysch of North Istria (Figs. 9., 10. and 14.). On the contrary, the terra rossa samples do not contain any remnants of living beings.

In many Fažanian amphora samples skeleton fragments similar to recent living being remnants found in Istrian sea shore sediments (Figs. 16., 17., 18. and 28.) are present. Such components are the very fine-grained calcareous skeletons of large foraminifers with empty chamberlets (Fig. 27.) and the larger calcareous mollusc skeleton fragments (Fig. 30.) rarely with traces of bioerosion (Fig. 33.). The most characteristics are the opalic sponge spiculae (elongated and spheric types), which appear in most of the Fažana amphora in few quantity (Figs. 31. and 32.). These components accompany with Mesozoic limestone and terra rossa fragments and often appear in bands (Fig. 29.).

Composite rock inclusions are rare but variable (Fig. 34.) components in Fažana amphorae. Those are very helpful in the identification of the exact raw material as a whole rock, and in the identification of individual mineral grains and fossils (described above) as parts of whole rock types of the known raw materials. Most of them (Figs. 35., 36. and 37.) are similar to the rock types (claystones, micritic limestones, calcareous sandstone and siltstone, both may contain fossils described above) collected from surfacial flysch outcrops in North Istria (Figs. 9., 11., 13. and 14.). Few other rock type inclusions in Fažana amphora samples (Fig. 36.) are similar partly to terra rossa (Fig. 8.) partly to Mesozoic limestones found mostly in South Istria.

## Comparative micromineralogy

Accessory components usually give less than one percent of the whole material of Fažana amphorae. The volume of a 1 x 1 mm large amphora slice in a 30  $\mu$ m thick normal thin section is about 3 mm<sup>3</sup>. By micromineralogical method from a small piece of amphora (3 x 10 x 10 mm = 300 mm<sup>3</sup>) two orders of magnitude more particles can be examined.

Looking into the earlier literature data we could realise that exact comparative micromineralogical evaluation of these data is not possible for the following reasons: 1) Different sample preparation and analytical methods, and different studied grain size. 2) Different style of description, incomplete characterisation of grains (missing of certain properties of particles: shape, roundness, fracturing, different varieties (i.e. colour)). 3) Lack of certain quantitative data. 4) Enrichment peak of different components in different materials may depend on the grain size.

For all these reasons new unified micromineralogical investigation of two possible main raw materials (terra rossa and flysch) and amphorae were made. Exact comparative quantitative evaluation of own data was also not possible (for reasons see 4th point above) so in this work only the most important results of qualitative investigation are presented (for detailed study see Obbágy et al. 2014).

1) Cr-spinel is a common mineral in the Fažana amphorae. This mineral is characteristic in North Istrian siliciclastic rich flysch rock types and very rare in Istrian terra rossa.

2) In the Fažana amphorae pyrite and barite appears regularly. These minerals are missing from the terra rossa but not rare in the flysch.

3) Among heavy mineral assemblages of most of the Fažana amphorae large quantity of opaque filled foraminifers can be found. These kinds of fossils are characteristic only for the flysch.

4) Several kinds of minerals found in amphorae could be detected both in the terra rossa and in the flysch. Some of them have special appearance which is characteristic for the embedding rock. For example euhedral crystals are characteristic rather for terra rossa, the broken crystals for the flysch. In Fažana amphora both varieties of certain minerals may appear, but on this basis the ratio of the two possible host rocks in the raw material of the amphorae could not be calculated.

## Comparative electron-microscopy (SEM-EDX)

The main aim of our electron-microscopic study was to determine and compare the microstructure and composition of the groundmass of Fažana amphorae and its rock inclusions and their two possible main raw materials (terra rossa and flysch). Besides that, we wanted to determine more exactly the distribution and composition of heavy minerals in these materials and observe firing effects as well.

In this stage of our study we present only the results of microstructural and firing effect observations.

Small brick bodies of the possible raw materials (terra rossa and resedimented flysch in different environment (debris flow, fluvial, shallow marine)) were formed, dried and fired to have samples comparable with Fažana amphorae.

- Microstructural results: Thin sections of fired terra rossa samples showed very unique, dense, pore-free features with large number of small accessories (Fig. 38.). Thin sections of fired resedimented flysch samples showed also relatively uniform appearance, different from the feature of terra rossa. There are pores with high (at least 15 %) proportion, small uniform size and homogenous distribution (Fig. 39.). Less accessories were visible than in terra rossa. On the back scattered image it is well visible that the microstructure of the groundmass of Fažana amphora (Fig. 40.) is very similar to that of the resedimented flysch samples. Some of rare rock inclusions in amphorae showing terra rossa features in polarising microscope (Fig. 21.) have very characteristic terra rossa appearance in electronmicroscope as well (Figs. 41. and 42.).

- Firing effects: With increasing temperature and duration of firing, characteristic features could be detected. The first visible change caused by firing on comparatively lower temperature is the partial disappearance of calcareous fragments, firstly in form of thin gap on the edges of the grains. Further on only small relics of calcareous grains are visible in the centre of the pores having the form of the original mineral or fossil (Fig. 43.). By the next stage, all calcareous materials disappear, but new mineral phases have not yet visible (Fig. 44.). With further increase of temperature newly formed minerals appear (Fig. 45.), and at even higher temperature partial melting of mesh structure starts and the microporosity is reduced (Fig. 46.).

## Comparative chemical analysis (XRF)

This kind of chemical analysis has the advantage that provides comparatively accurate average chemical composition (major, trace and REE) of comparatively larger quantity (2-3 grams) of the samples (**Tables 1.** and **2**.). But the disadvantage is that the chemical composition of different components of a given sample (plastic material, accessory minerals, fossils etc.) is mingled undistinguishably into one data set. Inhomogeneity of samples may give chemical data set, different from the average. Changes in chemical composition caused by different secondary effects (firing, leaching, burial etc.) are also not distinguished. Consequently before chemical investigations first and foremost detailed petrographic investigation of all studied material is needed to make correct selection of samples for chemical analysis. For adequate evaluation of chemical data geochemical knowledge is also necessary.

The main goal of our study was the chemical characterisation of two main raw materials (terra rossa and different varieties of (included resedimented) flysch) and comparison with chemical composition of Fažana amphorae. We also attempted to determine the mixing ratio of the two main rock types in the used raw material and the chemical character of some secondary effects acted on Fažana amphorae.

In the first step chemical elements discriminative for the two main raw materials were selected. Secondly, further selections were made by immobility. The most discriminative immobile elements were the Y, Zr and the REE-s, as for example the La. Bivariant diagrams of these elements show that the spots of terra rossa are clustered in a very small area, while the spots of flysch rock types are more scattered showing mostly linear trend. The spots of the two main possible raw materials plots always far from each other. In all these kinds of diagrams clearly visible, that the spots of Fažana amphorae plot very close to the spots of different flysch rock types and thus gets far from the spots of terra rossa (Figs. 47. and 48.). On this basis we can conclude, that the raw material for Fažana amphora consisted dominantly of flysch and it could only be mixed with very few terra rossa.

## **Discussion and conclusion**

Previous researches (Mange and Bezeczky, 2006, 2007; Bezeczky and Mange, 2009) suggested, mostly based on micromineralogical investigation, that the main raw material of Dr. 6B amphorae produced in Fažana was the terra rossa which was mixed with recent marine originated material. As the origin of some heavy minerals of Fažana amphorae was still unclear and later observations showed that part of the skeleton fragments of living beings in these amphorae were surely fossilic, new research started. In previous paragraphs new petrographic, experimental, micromineralogical, electron microscopic and chemical analysis on amphora and possible raw material field samples were presented. In forthcoming paragraph combined evaluation of the results of our new research oriented on the exact determination of the material and exploitation area of the raw material of Fažana amphorae is demonstrated.

#### Evaluation of possible raw materials:

Possible raw materials for amphora production found in surfacial outcrops in Istria (terra rossa, different flysch rock types, recent and sub-recent sediments) were investigated.

#### Terra rossa

In the course of artificial decanting during pottery experiments turned out, that after even long term dissolution of field terra rossa samples large number of small hard terra rossa grains remained. It means that presence of terra rossa in the raw material of amphorae must be indicated by considerable amount of micropetrographically well determinable terra rossa whole rock grains (ARF) in the thin sections of Fažana amphorae.

Polarizing microscopic thin section investigations of amphorae showed, that large number of such fragments are present only in very few amphorae (giving max. 10-15 volume percent of the whole amphora sample), usually in combination with recent marine fragments, while in typical Fažana amphorae such grains are not common, and if there are, appear only in very small size and number (giving less than 1 percent of the whole amphora sample). Additionally, pure terra rossa grain could be detected only in one amphora sample.

The identification of terra rossa grains in amphorae were attested also by electron microscopic study. In addition, it could be clearly seen, that the groundmass of Fažana amphora has very different structure and accessory mineral content from that of field terra rossa samples.

Micromineralogical investigations showed that more accessory components of Fažana amphora samples refer to the flysch than to the terra rossa.

Results of chemical analysis indicate that the immobile element content of Fažana amphorae is significantly different from that of field terra rossa samples.

On the base of argumentation above we can establish, that in many amphora samples traces of terra rossa could be detected, but presence of considerable amount of terra rossa in the raw material of typical Fažana amphorae can be excluded.

#### Flysch

The most direct, clearest evidences for prevailing appearance of flysch originated non-plastic components in Fažana amphorae was given by micropetrography. The presence of both the most characteristic calcareous rock and skeleton fragments, most of the rare but larger different rock inclusions and the characteristic microquartz and spinel grains in Fažana amphorae refers about this. The smaller quantity of accessory minerals observed with electron-microscope and the micromineralogical features are also more characteristic for flysch originated materials than for terra rossa. On the bivariant diagrams of characteristic immobile elements points of amphorae plots very close to or coincidence with the points of flysch rock types.

On the base of these arguments we can conclude, that the main mass (more than 90 %) of the raw material of Fažana amphorae is derived from North Istrian flysch. However, it is known that flysch originated materials in North Istria can be found in different forms and environments: as individual distinct rock types in the primary outcrops, as coarse mixture of different flysch rock types in debris flows and river sediments and as fine-grained homogenous mixture in river influx and in shallow marine sediments. In the thin sections typical Fažana amphorae show very homogenous structure, usually without any traces of course hard rock fragments. Artificial homogenization of different hard rocks appearing in flysch outcrops and in less homogenous resedimented flysch material would be very difficult. So the raw material was not obtained directly from these sources of the flysch. Consequently only the river influx and shallow marine sediments could be the potential sources of the raw material of Fažana amphorae.

#### Recent sediments

As we saw earlier recent sediments appear in different environments in Istria and may have two different origins. One is originated from inland sedimentary rock series (in North Istria the flysch, in South Istria the terra rossa and Mesozoic limestones), the other have recent marine origin (skeletons of living beings: in rocky coast of South Istria coarser grained calcareous, in North Istria fine-grained calcareous and siliceous).

In thin sections of typical Fažana amphora it is well visible that one of the most characteristic component is the recent marine originated opalic sponge spiculae (both needle-like and spheric (sterraster) forms). In these typical Fažana amphorae no or very few other marine originated calcareous skeleton fragments can be found. However in South Istrian coastal sediments these opalic sponge spiculae fragments appear among huge amount of coarse-grained fragments of calcareous skeletons of molluscs and forams combined with Mesozoic limestone and few terra rossa grains. Consequently the source of opalic sponge spiculae found in typical Fažana amphorae could not be the South Istrian coastal sediment. There is a group of amphorae which contains both

these components in fine-grained flysch originated material. Raw material of these amphorae most probably was tempered by recent marine sediment from coastal part of South Istria.

North Istrian shallow marine or coastal silty sediments consist mostly of flysch originated fine-grained homogenous material containing few opalic sponge spiculae, calcareous thin shell remnants and in some places small terra rossa grains. Not only the petrographic composition, but the colour, the macro- and microtexture (both polarising microscopic and electron-microscopic) and the chemical composition of fired samples made of these sediments are also very similar to that of typical Fažana amphorae. In addition, the pottery experiments also have shown that resedimented flysch sediments are suitable for amphora production in their direct form.

Consequently the North Istrian recent marine sediment itself could be appropriate for the only main source of the raw material of Fažana amphorae.

#### Firing conditions

In many Fažana amphora samples, during the polarising and electron-microscopic study varying degrees of evanescence of original calcareous components and small grains of newly crystallised phases could be detected. On the base of the changes in calcareous content and texture visible in Fažana amphorae samples the following conclusions could be made.

In the cases of many amphora samples no changes of original calcareous grains could be visible. The firing temperature of these amphorae was not greater than cc. 700 °C. In most of the amphorae coarse-grained calcareous components show partial decomposition while fine-grained small calcareous components usually fired out totally. The firing temperature of these amphorae could reach 750 °C. Similar phenomena could be detected in the thin sections of resedimented flysch specimens fired on 750 °C. In the samples of amphorae fired on higher temperature all calcareous materials have disappeared while on the wall of the pores very small idiomorphic crystals visible only by electron-microscope have grown. Together with this, traces of weak melting and vitrification of fine mesh structured groundmass is visible. Isotropic crossed polarised microscopic picture of certain amphora samples indicates stronger melting of the groundmass on temperature higher than 850 °C. These conclusion coincide with the results of XRD measurements made by Weiszburg & Papp (1987).

#### Final conclusions

On the base of our new complex comparative study we can clearly establish that the main mass of the raw material of Fažana amphorae was manufactured from Istrian flysch. In this material only few percent of other ingredients (commonly recent marine fragments, less frequently terra rossa and Mesozoic limestone) can be found. On the base of comparative petrological study we concluded, that the raw material of Fažana amphorae was excavated most probably from a locality close to the sea-shore of a North Istrian flat bay between Poreč and Trieste where huge amount of recent or sub-recent shallow marine mainly flysch originated soft silty sediment could be found. This material was used purely for the manufacturing of the main type of Fažana amphorae. Tempering material originated from South Istrian sea-shore sediment taken perhaps in Fažana was used in small quantity only for certain groups of Fažana amphorae.

After the excavation, the flysch-based raw material was transported 60-70 km by seaway delivery from Gulf of Trieste to Fažana. The exact composition, and consequently the quality of manufactured amphorae depended on from which bay, moreover exactly from what part of the pit the raw material where excavated. If the responsible potter was not completely satisfied with the clay, he may have optimized it by adding materials available in Fažana. Occasionally or at certain times, the potter could add some coarser grained marine sediment for leaning, or terra rossa mud for fattening.

#### Acknowledgement

This work would not have started without Tamás Bezeczky, thanks for his constant support. Also thanks to Attila Kreiter, Dóra Kürthy, Péter Pánczél, Katalin Vanicsek and Péter Véninger for their selfless assistance. This work was supported by the Austrian Academy of Science (FWF) P 23684.