

Avar kori vasművesség az interdiszciplináris kutatások tükrében

(NKFI K 116396)

Szakmai beszámoló
2015.09.01-2018.08.31.

1. Vezetői összefoglaló

Az iparrégészeti kutatások az elmúlt században megtalálták az avar és az Árpád-kori magyar vaskohászat nyomait, amelyek alapján a korszak vasművességének vonásai régészeti szempontból felvázolhatóak. Ugyanakkor a kora középkori kárpát-medencei vasművesség (vaskohászat és alakítás-kovácsolás) régészetéhez kapcsolódó alapkutatások csak részben történtek meg, alapvetően eseti jelleggel. Bár technikatörténeti jelentősége már az 1950-es évektől kezdve folyamatosan hangsúlyozott volt, jellemző, hogy a korai középkori magyarországi vaskohászatról szóló, régészeti fókuszú, kezdeti műszaki vizsgálatokat és kísérleteket is tartalmazó első összefoglaló művet (Heckenast – Nováki – Vastagh - Zoltay: A magyarországi vaskohászat története a korai középkorban) csak 32 év múlva, 2000-ben követte olyan, amely az akkor ismert lelőhelyek összegyűjtése mellett sorra veszi a '90-es évek kapcsolódó archeometriai jellegű vizsgálatait is (Gömöri J: Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában). Az azóta eltelt évek feltárásai és vizsgálatai ellenére az avar kori vasművesség régészeti és technológiai rekonstrukciója 2015-ig nem történt meg. A megtalált leletek közül a kutatási projektünk előtt relatíve kevésnek történt meg az archeometriai jellegű anyagvizsgálata és ezek a vizsgálatok sem átfogó program, szisztematikus kutatási stratégia keretében zajlottak.¹ Az elmúlt 15-18 évben két lelőhelyen (Zamárdi és Kaposvár) olyan avar kori vaskohászati centrumok kerültek részben napvilágra, amelyek Európa legnagyobb iparrégészeti lelőhelyei közé tartoznak és a legnagyobbak az eddig feltárt kora középkori vaskohászati telepek közül.

Az említett két lelőhely kohótelepeinek ásatását végző régész – *Gallina Zsolt* – és a *Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának* (ARGUM) vezetője – *Török Béla* – mintegy tíz éves együttműködése során, tulajdonképpen az addigi részkutatások²

¹ Hazai viszonylatban 2015 előtt csak nagyon ritkán találhatók az avar vasművességgel kapcsolatos, archeometriai-archeometallurgiai vizsgálatokról szóló publikációk, azok is főként az ARGUM csoport jelen kutatásban is részt vevő tagjainak vizsgálatairól számolnak be. Ezekon kívüli példaként említhető *Györke Réka* és társai Bátaszék avar kori kohótelepén talált érc- és salakleletek archeometriai vizsgálatáról szóló írása (Archeometriai Műhely 2014/XI./1.). A témához kapcsolódó, szintén elvétve található külföldi szakirodalmi, földrajzilag közeli példaként *Mathias Mehofer: Archäologische und technologische Untersuchungen zur Eisenverhüttung und Verarbeitung in der avarischen Siedlung von Zillingtal/Burgenland* című írását említjük (Die avarische Siedlung von Zillingtal, Monographien des RGZM, Mainz, 2010)

² A projektet megelőző, az avar vasművességről szóló publikációk, főként Zamárdi és Kaposvár lelőhelyeinek vonatkozásában: GALLINA ZS. –HORNOK P.: *Avar kori vaskohászati centrum Zamárdiban (Magyarország, Somogy megye).* – *Avar-aged metallurgical centre in Zamárdi (Hungary, Somogy county)* VIII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság,

betetőzéseként, fogalmztuk meg és hajtottuk végre komplex, a hazai viszonyok között roppant széles interdiszciplinaritású kutatási projektünket, amely az avar vasművességet veszi górcső alá, számtalan aspektusból.

A kutatás konkrét célja többértű volt, mégis a résztvevőket úgy terveztük, hogy azok egymást kiegészítően, szolgálóan lehetőleg egységes egészként működő projektet építsenek fel. A végcél egy kétkötetes, az egyes kapcsolódó tudományok eredményeit tükröző, a két nevezett lelőhely fókuszából kiinduló, de lehetőség szerint az avar vasművesség minél több területét felölelő, jövőbeni írásmű alapjául szolgáló kéziratok, vizsgálati elemzések, publikációk elkészítése volt. A kutatási terv, pályázati formát öltve, a Nemzetközi Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal OTKA-támogatását elnyerve, 2015 szeptembere és 2018 augusztusa közötti három évben valósult meg a Miskolci Egyetem NKFI K 116396 azonosító számú, *Avar kori vasművesség az interdiszciplináris kutatások tükrében* című kutatási projekt formájában. A projekt vezető kutatója, illetve a régészeti vonatkozásokat koordináló kutatója a fent említett két szakember volt.

A kutatási projekt két, egymással szervesen összefüggő, alapvető egységre, illetve további négy-négy, egymással részben párhuzamosan is zajló részprojektre bontható, amely egyúttal a kutatás eredményeiből tervezett kétkötetes mű szerkezeti tematikájaként is szolgál:

I. Régészet, társadalom- és technikatörténet

1. Zamárdi és Kaposvár-Fészerlak kohótelepek katalógusa, alapközlése
2. Az avar vasművesség kialakulására és fejlődésére ható vaskultúrák
3. Az Avar Birodalom vaskultúrájának régészeti és társadalomtörténeti vonatkozásai
4. Az avar vasművesség öröksége

II. Interdiszciplináris kutatások

1. A vasművesség régészeti leleteinek archeometriai vizsgálatai
2. Rekonstrukciós kísérletek és azokhoz kapcsolódó vizsgálatok
3. Az avar kori vaskohászat és vasfeldolgozás technológiájának elméleti vonatkozásai és gyakorlati fázisai
4. Zamárdi és Kaposvár-Fészerlak lelőhelyek egyéb régészeti leleteinek természettudományos vizsgálatai

Régészeti, technika-, társadalom és gazdaságtörténeti aspektusból természetesen fókuszban Zamárdi és Kaposvár avar kori kohótelepeinek alapközlése van. Ez alapján megtörtént a kohászati objektumok, jelenségek katalógusának elkészítése, a vasművességgel

Sepsiszentgyörgy 2006. 161-170.; GALLINA ZS. – HORNOK P. – SOMOGYI K.: *Előzetes jelentés a Zamárdi, Zamárdit elkerülő 65101. sz. út 89., 58/a., 58/b., 56. lelőhelyeinek feltárásáról. – Preliminary report of the excavations of the 89, 58/a, 58/b, 56. sites on the encircling road No. 65101. around Zamárdi.* Somogyi Múzeumok Közleményei 17/A (2006) 2007. 153-168.; GALLINA ZS.: *Avar kori vaskohászati és települési centrum Zamárdiban.* Kecskemét 2005. A Barbaricum ösvényein... Konferenciakötet. Archaeologia Cumanica 1 2011. 179-198.; TÖRÖK B. – KOVÁCS Á.: *Avar vastárgyleletek szövetszerkezetének elektronmikroszkópos vizsgálata. Examinations of metallographic structure of Avar iron finds by electron microscope;* XI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa, Máramarossziget, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2009. 91-95.; TÖRÖK B. – KOVÁCS Á.: *Materials Characterization of Iron and Slag Finds of the Early Medieval Avar Metallurgists;* Proceedings of the 15th International Metallurgy & Materials Congress (11-13 November 2010), Istanbul, 2011. 386-397.; B. TÖRÖK – Á. KOVÁCS – ZS. GALLINA: *Ironmetallurgy of the pannonian avars of the 7-9th century based on excavations and material examinations;* Der Anschnitt, Beiheft 26, Bochum, 2015. 229-237.; TÖRÖK B. – KOVÁCS Á.: *Crystallization of Iron Slags Found in Early Medieval Bloomery Furnaces;* 5th International Conference on Solidification and Gravity, Miskolc-Lillafüred, Hungary, (2008) Materials Science Forum 649 (2010) Trans Tech Publications, Switzerland p. 455-460.

kapcsolatos tárgyak meghatározása, tipológiája, a kohótelepek belső időrendje, tér- és időbeli viszonyai, műhelykörzetek lehatárolása. Ugyanakkor elvégeztük Zamárdi és Kaposvár lelőhelyeinek összehasonlító elemzését egymással, illetve a környező avar lelőhelyekkel, avar kohótelepekkel. Egyben részben választ kaphattunk olyan társadalom- és gazdaságtörténeti kérdésekre, hogy a barbár szervezési mintán alapuló, főemberekhez köthető vasművesség milyen szerepet játszott az avar és kora Árpád-kori hatalmi központokban, milyen stratégiai fontossággal bírt, mi volt a szerepe az avar történelemben. A kutatás egyik fő célja volt, annak megállapítása, hogy milyen technológiai, technikatörténeti előzményei voltak a Kárpát-medencében illetve a releváns keleti kultúrákban az avarok vasművességének, főként a kideríthető technikai-technológiai hatások vonatkozásában. Az Avar Kaganátus vaskultúrájának régészeti és társadalomtörténeti fókuszú jellemzőinek megfogalmazásán túl törekedtünk arra, hogy megválaszolhatóak legyenek azok a kérdések is, hogy milyen technológiai különbségek lehettek a honfoglalás kori és az avar kori vaskohászat között, van-e kézzelfogható öröksége az avarok vasművességének a Kárpát-medence későbbi századaiban.

A kutatás másik nagy egysége a projekt interdiszciplináris alapjait teremtette meg. Az archeometallurgiai anyagvizsgálatok eredményeként beazonosíthatók, anyagszerkezeti és fizikai-kémiai tulajdonságai alapján jól jellemezhetők és típusai alapján csoportosíthatók lettek az avar kori vasművesség alap- és segédanyagai, termékei, melléktermékei illetve a kohósításhoz és a fémalakításhoz használt technikai objektumok, eszközök. A Miskolci Egyetemen elvégzett vizsgálatok a régészeti leletek kémiai összetételére (XRF, ICP, GD-OES, EDS), ásványi összetételére (XRD) és mikroszerkezetének vizsgálatára (OM, SEM) irányultak. Ugyanakkor – az archeometallurgia és a kísérleti régészet komplex feladatai és tevékenységi körének megfelelően – rekonstrukciós jellegű kohósítási kísérleteket is végeztünk szabadban és műhelyben/laboratóriumban egyaránt. A gyepvasérc redukációs folyamatait vizsgáló műhelykísérletek, laboratóriumi vizsgálatok, illetve a szerkezetében és anyagában élethűen rekonstruált avar típusú bucakemencékben végrehajtott próbaolvasztások, valamint az ahhoz kapcsolódó vizsgálatok, mérések eredményeként reprodukálhatók, illetve leírhatók lettek a korabeli szakma technológiai részletei (adagviszonyok abszolút és relatív vonatkozásban, metallurgiai folyamatok a bucakemencében, a kemence hőviszonyai és gázatmoszférája, vaskihozatal fajlagos értéke, termelékenység, hatásfok, stb). Ezzel együtt megfogalmazásra kerültek a bucaeljárás (gyakorlatilag lágyvas, illetve acélszerű anyag egylépcsős, direkt úton történő előállítás) általános értelemben vett fizikai-kémiai folyamatai (kvantitatív modell), amely némileg módosított, pontosított is néhány korábbi hipotézist. Az avar kori vasművesség szakmai komplexitásának megfogalmazása a bevezető (ércpörkölés, kemencekonstrukció kialakítása), illetve a fémalakító (bucatómörítés és kovácsolás) tevékenységek reprodukálásával lett teljes.

Az archeometriai terület kiszélesítéseként, a projekt interdiszciplinaritásának bővítéseként számos természettudományos vizsgálatot is integráltunk a kutatásba. A radiokarbon vizsgálatok meglepő eredményeket hoztak, de a párhuzamos kerámiaelemzési és tipokronológiai vizsgálatok igazolták ezeket.

A korabeli vasművesség alapvetően összefügg a kerámiakészítéssel, hiszen a vaskohászat több objektumának, eszközének (kemencék, tűzhelybélések, fűvókák, mellfalazatok) nyersanyaga azonos a háztartási kerámiák készítéséhez használt anyaggal. A kerámiavizsgálat alapvető kapcsolatokra mutathat rá a kerámiakészítés és vasművesség között. A kerámia-petrográfiai vizsgálatokból kiderültek, hogy az avar vaskohászatban használt agyagtárgyak, objektumok milyen nyersanyagokból, milyen módszerrel készültek, illetve milyen fizikai és kémiai hatás érte őket használat közben. Másrészt a vizsgálatban részt

vevő településkerámiák technológiai vizsgálata segítette a különböző kerámiatípusok kapcsolatának és technológiai fejlődésének vizsgálatában, ezáltal a kerámiatípusok kronológiájának pontosításában. Ennél fogva a vizsgálati eredmények megfelelően kontextusba helyezhetők az avar korszakon belül, hiszen a vizsgált lelőhelyek kerámiatechnológiáit össze tudtuk hasonlítani a korábban vizsgált avar lelőhelyek kerámiatechnológiájával. Ezáltal a kerámiavizsgálat szervesen kapcsolódik a régészeti elemzéshez és a kronológia finomításához.

A régészeti növénytan kutatások, kifejezetten az anthrakológia (faszénelemzés) egyfelől segítettek definiálni a vasművességben használt tüzelő és redukálóanyagok fajtáit, leírni jellegzetességeit, valamint egy tágabb gazdaságtörténeti (vö. növény- és tájhasznosítási modellek) keretben helyezik el az avar kori vaskohászati központokat. A vizsgálatba vont minták makro- és mikro-archeobotanikai elemzése tovább részletezi az egyes avar populációk növénytermesztéshez és tájhasználathoz való viszonyát. A lelőhelyeken talált csontleletek pedig vizsgálati anyagul szolgáltak egyrészt a radiokarbonos kormeghatározásoknak, másrészt az archeozoológiai vizsgálatnak, amely által szintén a helyi környezet és életmód ismeretanyaga bővült. A dendrokronológiai és fafajmeghatározási vizsgálatok jól egészítették ki a természettudományos projektet.

A három éves projektünk általános célja a kutatási eredmények felhasználásával az avar kori vasművesség – az ércelőkészítéstől a vastárgyak kialakításáig – minél alaposabb technikai-technológiai, környezeti és életmódbeli feltérképezése volt, a lehetőségek adta keretek szerint felvázolva az adott technológia előzményeit, múltját és történeti örökségét is. A kutatás párhuzamosan alkalmazta és egymáshoz kapcsolta a régészeti elemzést, a műszaki és természettudományos vizsgálatokat és a kapcsolódó rekonstrukciós kísérleteket. Ezáltal jelentősen bővíthető lett a jelenlegi ismeretanyag, ugyanakkor amellet, hogy régészeti, technikatörténeti és archeometallurgiai szempontból egyaránt fontos, a történelmi nemzettudat alakítása szempontjából is értékes lehet, mivel közvetlenül a magyarok előtti kárpát-medencei vasművesség emlékeit vizsgáltuk. A leletanyag a korabeli szakma szempontjából gyakorlatilag teljes spektruma, a válogatott és más projekteken már együttműködő kutatógárda, a kutatási infrastruktúra kivételes komplexitása új, valóban interdiszciplináris perspektívát nyújtott az iparrégészeti leletek régészeti és természettudományos feldolgozását, archeometallurgiáját illetően.

A vizsgálatok és a rájuk épülő kísérletek eredményeinek újszerű feldolgozása bebizonyította, hogy megismerhető, reprodukálható egy nép és egy stratégiai fontosságú termelő tevékenység korabeli technológiája, egyúttal vizsgálható annak korabeli társadalmi, gazdasági és politikai hatása. Mindezzel – a korszak és a szakma tekintetében hiányt betöltve – egyszerre teremt régészeti, archeometriai, illetve technika- és kultúrtörténeti értéket, további kutatásokban használható információkat és reményeink szerint modell értékű kutatási irányvonalat. A kutatási projektünk komplexitása, jellege egyúttal lehetőséget nyújt, hogy a korabeli vasművesség ismeretterjesztő, tudománynépszerűsítő tevékenységgel is megeleveníthető, bemutatható legyen a szélesebb közönségnek, illetve eredményei az oktatás minden szintjén is szerepet kaphatnak.

2. A projektben résztvevők

Kutatók (a pályázatban, illetve támogatási szerződésben megjelölt kutatók személye a projekt során nem változott):

Dr. Török Béla, okl. kohómérnök, történelemtanár, egyetemi docens (vezető senior kutató); *Gallina Zsolt*, régész (kutató, a projekt régészeti koordinátora), *Dr. Gömöri János*, régész, történész, tanár (senior kutató), *Dr. Kreiter Attila*, régész, történész (senior kutató); *Skriba Péter*, régész, történelemtanár (kutató) *Dr. Pető Ákos*, okl. agrármérnök, környezetvédelmi szakmérnök (senior kutató), *Dr. Gyulai Ferenc*, okl. agrármérnök, környezetvédelmi szakmérnök, MTA doktora (senior kutató); *Dr. Barkóczy Péter*, okl. anyagmérnök, egyetemi docens (senior kutató), *Dr. Kristály Ferenc*, okl. geológus, tudományos főmunkatárs (kutató); *Dr. Bánhidi Olivér*, okl. vegyész, címzetes egyetemi tanár (senior kutató); *Kovács Árpád*, okl. kohómérnök, mérnök tanár (kutató)

A projektben foglalkoztatott egyetemi hallgatók (valamennyien a Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Karának hallgatói):

Györke Réka, régész, lev. anyagmérnök BSc hallgató; *Molnár István*, anyagmérnök, kohómérnök MSc hallgató; *Suszter Mór*, anyagmérnök BSc hallgató; *Bárány Máté*, anyagmérnök BSc hallgató; *Szabó Lajos Ádám*, anyagmérnök BSc hallgató

A pályázatban egy fő státusza volt tervezve a projekt három évére vetítve. Ezt a keretet összességében nem léptük túl, de a feladatok alapján, illetve ahhoz kapcsolódó szükséges aktivitás szerint több hallgatót is foglalkoztattunk. A foglalkoztatás – szintén az elvégzendő munka függvényében – időszakonként több fővel párhuzamosan is történt, illetve szünetelt.

A kutatási projekt három éve alatt számos olyan információt, adatot, eredménykort kaptunk, amely a tervezetthez képest is változatosabb, szélesebb körű kitekintést tesz lehetővé, interdiszciplináris szinten. Ezért a kézirat elkészítésébe – amelynek gerincét természetesen a projekt kutatógárdájának tagjai készítették - bevontunk a projekt kutatóin kívül további néhány speciális ismeretekkel bíró szakembert, hogy minél teljesebb képet kapjunk, eredményeink szélesebb skálán legyenek értelmezve. Ezeknek a szakembereknek a bevonása nem érintette az eredeti kutatás menetét és költségeit. Az itt felsorolt szakemberek az egyes témakörök, alfejezetek (társ)szerzőiként jelenhetnek majd meg a tanulmánykötet elkészítésekor, jelen kutatási projekt költségeitől teljesen függetlenül: Dr. Csiky Gergő, Dr. Fehér András, Dr. Grynaeus András, Gulyás Bence, Gulyás Gyöngyi, Harag Mátyás, Haramza Márk, Dr. Hári László, Dr. Költő László, Lönhardt Denisa, Lukács Nikoletta, Máté László, Dr. Molnár Mihály, Saláta Dénes, Skoda Péter, Dr. Szalontai Csaba, Székely Anna, Dr. Thiele Ádám, Tugya Beáta, Viktorik Orsolya,

A kutatáshoz szükséges szolgáltatások, rendelkezésre nem álló infrastruktúra kapcsán, a pályázati költségvetéshez igazodva – a Dr. Prószéky Gábor által jóváhagyott kérelmek alapján - az alábbi cégek kaptak megrendelést: Magyar Nemzeti Múzeum, Régész Kft, S-KO Factory Kft, MTA Atommagkutató Intézet, BorsodChem Zrt.

3. Az elvégzett kutatómunka

3.1. Régészet, társadalom- és technikatörténet

Kaposvár és Zamárdi-Fészerlak lelőhelyek kohó- és vasműves telepei Európa legnagyobb iparrégészeti lelőhelyei közé tartoznak és a legnagyobbak az eddig felfedezett kora középkori vaskohászati telepek közül. Kaposváron 17500 m²-en több mint 400 kohászati vagy vasművességhez köthető avar kori objektum - köztük több, teljesen egyedülálló és bonyolult szerkezetű, a kohászati víznyerési szükségletet biztosító és megőrzött faszerkezetű kút - Zamárdiban 27200 m²-en 580 avar kori kohászati vagy kohászathoz köthető telepobjektum - közte közel 100 ércpörkölő gödör, mintegy 20 bucakemence, két újraizzító tűzhely, valamint egy kovácsműhely került napvilágra. Elkészült az érintett és közlendő avar kori kohótelepek adatbázisa, illetve az alapján az alapközléshez szükséges régészeti katalógus (régészeti jelenségek, objektumok, leletek, fotók, rajzok).

Az előzetes munkálatok után Zamárdi–Kút völgyi-dűlő (56, 58 a-b és 89-es lelőhely) és Kaposvár–Fészerlak (19. lelőhely) közel 1100 objektumának feldolgozása által elkészült a régészeti katalógus, az ún. alapközlés, amely közel 7 Gbyte-nyi anyag.

Elkészült az említett lelőhelyeken talált avar kohászati, vasművességi tárgyak, objektumok régészeti jellegű tipológiája, összehasonlítása.

Megtörtént Kaposvár és Zamárdi avar kori kohászati telepek kerámiájának tipokronológiai vizsgálata, köztük kohászati jellegű kerámiáké is. Megtörtént a lelőhelyek kiegészítő kormeghatározása radiokarbonos módszerekkel (lásd 3.4. fejezet).

Megfogalmazásra kerültek az avar vasművesség kialakulására és fejlődésére ható vaskultúrák jellemzői, különös tekintettel:

- a római kori vasművesség örökségére, ezen belül az avar vasművesség előzményeire a római korban, illetve a szarmata és császárkori germán vasművességre,
- az avar vasművesség keleti kapcsolataira,
- a Meroving kori vasművességre a Kárpát-medencében
- illetve a kárpát-medencei szláv és Karoling kori vasművességre

Megtörtént az Avar Birodalom vaskultúrájának régészeti és társadalomtörténeti vonatkozásainak elemzése, amely a témakörre vonatkozó, 20. századi kárpát-medencei régészeti kutatástörténet összefoglalása mellett vázolja a vasművesség rendszerét a kaganátusban (központok, telepek, munkarendszer, munkafázisok társadalmi vonatkozások).

Feldolgozásra került az avarok vastárgyai (szerszámok, fegyverek, egyéb vaseszközök) vonatkozásában a kialakítás és a használat témaköre, illetve a vasművesség szerepe az életmód tükrében. Ezen belül megkülönböztetett figyelmet kapott az avar hadsereg és fegyverzete, illetve a fegyverforgalom és technológia kérdésköre. Tisztázásra került az északi és nyugat-európai kardműves jegyek megjelenése és szerepe a 8–9. századi Kárpát-medence fegyveranyagában. Szintén az eszközhasználat témakörében megtörtént az előkerült szántóföldi növénytermesztésben használt eszközök elemzése alapján a korabeli Kárpát-medencében folytatott avar kori földművelés színvonalának megállapítása, továbbá korábbi-későbbi kultúrák agrotechnikájával történő összehasonlítása.

Az avar vasművesség öröksége kapcsán feltérképezésre került annak 9. századi továbbélése, kapcsolatrendszere a vasművességgel kapcsolatba hozható telepeken, Megtörtént az Avar és kora Árpád-kori vasművesség összehasonlító elemzése, illetve speciális témaként a 8-11. századi vasműves vagy vasművességgel is foglalkozó alföldi települések összehasonlítása.

3.2. Archeometria, archeometallurgia

A régészeti fémfeldolgozás és megmunkálás kutatása során fontos, hogy a nyersanyagok és melléktermékek, megmunkálási hulladékok összetételét is vizsgáljuk, hiszen csak így tudjuk kideríteni, hogyan készítették elő az érceket, hogyan nyerték ki, dolgozták fel a fémeket. Kutatásunk során igazoltuk (és az első kutatási évben a projekthez kapcsolva publikáltuk is), hogy legalább három alapvető anyagvizsgálati módszert alkalmazni kell a leletek anyagvizsgálatához. Ezek a röntgen-pordiffrakció (XRD – kristályos és amorf alkotók azonosítása, mennyisége), induktívan csatolt plazmagerjesztésű optikai emissziós spektrometria (ICP-OES – kémiai elemek azonosítása és mennyisége) valamint pásztázó elektronmikroszkópra szerelt energiadisperzív spektrometria (SEM+EDS – szövetszerkezet és ahhoz tartozó kémiai elemek megoszlása, egyedi szemcsék kémiai összetétele). Ezekhez kiegészítő módszerként hasznos a kézi röntgen fluoreszcens spektrometria (XRF), amely főleg a leletek gyors osztályozásában, a vizsgálatokra történő kiválasztásban nyújt segítséget. A kutatás során kiderült, hogy többek között a karbon-tartalom pontos lokális értéke miatt szükséges, de bizonyos összetevők (pl. P, As) megbízható elemzése és más módszerrel történő mérés eredményeivel való összehasonlítás miatt célszerű kísérleti bucavas-felületeket GD-OES módszerrel (ködkisüléses optikai emissziós spektrofotometria) is vizsgálni.

50 salak és 15 vasérc darab, valamint 25 vastárgy került kiválogatásra a kaposvári és zamárdi ásatás rendszerezett régészeti anyagából a Miskolci Egyetemen végrehajtott archeometriai vizsgálatok céljára a teljes leletegyüttes előzetesen leválasztott hányadából (mintegy 150 salak- és érccdarab és 80 vastárgy). A kiválasztott salakmintáknál törekedtünk arra, hogy makroszerkezetileg valamennyi fellelhető sajátosság (fajsúly, szín, tagoltság, felszíni formák, lunckeresség, méret, stb) képviseltetve legyen, így mind a kohósítás, mind a fémalakítás valamennyi részfolyamatához kapcsolódva határozhatunk meg salakjellemzőket. A fémek esetében a megmaradt fémes rész vizsgálhatósága (korrodáltság mértéke), a mintavételi lehetőség, az anyagvastagság és az egyes tárgy meghatározható funkciója figyelembe vételével szintén teljes palettára törekedtünk.

A két említett, fókuszban lévő lelőhelyen kívül számos egyéb lelőhelyről származó leletek általunk korábban, illetve a projekt három éve alatt végzett archeometriai vizsgálatának eredményeit is bevontuk a kutatásba. Ezt egyrészt az avar vasművességhez kapcsolódó leletek anyagvizsgálati palettájának szélesítése, az idevonatkozó adatbázis bővítése, másrészt az avar kori vasművesség közvetlen kárpát-medencei előzményeit, illetve örökségét reprezentáló leletek kutatásba való bevonása indokolta. Ugyanakkor a vizsgálat leletfajták (salakdarabok, fémtárgyak) általános anyagszerkezeti tulajdonságairól, a feltételezhető technológiai sajátosságokról információt adó, de néhány száz évvel korábbi korszakok leleteinek vizsgálati eredményeit is felhasználtuk a kutatásban.

- *Az avarok vasművessége közvetlen vonatkozásában:* Bátaszék (salakleletek), Előszállás-Öreghegy (avar fokosok), Úrhida (avar fokos), Nagyvenyim (avar övtartozékok), Petesmalom (avar kori vasbuca), Kecskemét-Belsőnyír (salakleletek) Kecskemét, Méntelepi

út (salakleletek), Kecskemét ÉNY-i elkerülő (salakleletek), Hódmezővásárhely-Kingéc (salakleletek), Zamárdi-Rétiföldek (vastárgyak: kengyel, kés, lándzsa)

- *Az avar kori vasművesség közvetlen előzménye és folytatása (honfoglalás és Árpád-kor) a Kárpát-medencében:* Csanádpalota (Árpád-kori vaskés és kengyel), Solt-Révbér (Árpád-kori kard), Tázlár-Templomhegy (honfoglalás-kori vastárgyak, salakok), Karos (honfoglalás kori szablya), Homokmégy-Székes (10-11. századi vaskard), Zalavár (9. századi vasbuca), Pusztataskony (6. századi gepida kard)

- *A Kárpát-medence vaskorából származó leletek, az anyagvizsgálati jellemzők korszaktól független összehasonlíthatósága érdekében:* Nagymágocs-Paptanya (salakok szarmata kovácsműhelyből), Szilvássvár-Lovaspálya (késő vaskori salakok és feltételezhető kovácsműhely), Ordacsehi (késő vaskori salakok, vasbuca-darab és vastárgyak), Jászberény (késő vaskori salakok), Bátmonostor (vaskori balta, fokosok, lándzsák)

Az archeometriai-archeometallurgiai vizsgálatokat a rekonstrukciós jellegű, szabadban végzett, korhű körülmények mellett reprodukált kohósítási kísérletek és műszeres műhelykísérletek termékeinek, anyagainak vizsgálata tette teljessé (összesen 30 minta).

Mindösszesen elmondható, hogy a komplex kutatás kohászathoz kapcsolódó leleteken végzett archeometriai vizsgálati része a tervezetten felüli volumenben lett teljesítve, többletköltségek nélkül.

Salak- és ércvizsgálatok

Kutatásunk első szakaszában körüljártuk a salakok típusainak azonosítási lehetőségeit (erről a kutatás első évében publikáltunk is). A három alapvető módszerrel sikerült azonosítanunk azokat a szövetszerkezeti, kémiai és ásványtani bélyegeket, amelyekkel a kohászati salakokat el tudjuk különíteni az égett agyag és más, nem kohászati jellegű anyagoktól. A kutatás folyamán Zamárdi és Kaposvár lelőhelyekről összesen 45 salak és 15 ércmintát vizsgáltunk, ezt kiegészítettük a lelőhelyről származó 21 salak- és ércminta általunk végzett korábbi vizsgálati eredményeivel, valamint mintegy 50, egyéb, fent nevezett lelőhelyekről származó minták vizsgálatával, illetve a szabadban és műhelyben végzett rekonstrukciós kísérletek salakjainak és érceinek vizsgálatával (25 minta).

A beszerzett hordozható röntgenfluoreszcens elemző (ED-XRF) salakok vizsgálatára eredetileg nem tartalmazott sztenderdet, viszont a gyártóval együttműködve, korábbi EDS salakvizsgálati eredményeink alapján létrehoztunk egyet. A vizsgálati módszer használhatósága ezzel együtt is csak korlátozott a salakok esetében, leginkább alapvető összetevők beazonosítását szolgálta.

Az XRF mérések mellett a kémiai összetétel meghatározására ICP-méréseket végeztünk 40 salak- és ércmintával, egyes sorozatoknál külön vizsgálati módszert alkalmazva az oxidos komponensekre, illetve egy másikat a Na_2O , K_2O és 19 nyomelem meghatározására. Az ICP-OES méréseket Varian típusú axiális plazma figyelésű készülékkel végeztük, Li-metaborátos feltárással oldatba vitt mintákon. A módszer fontos előnye, hogy a kimutatási határ akár 0,001 ppm is lehet, így olyan elemek jelenlétét is meg tudjuk figyelni, amelyre a SEM-EDS nem alkalmas és ezek ugyancsak felhasználhatók a salakok illetve ércek csoportosítására, származási különbségek nyomozására. Például a Ba a Mn-oxidokba tud beépülni, és a Mn-oxidok oldatból való kicsapódása végbe megy a gyevasércek

képződésénél is. Így a nagy mennyiségű Mn és a mindig megjelenő Ba olyan ércekre utal, amelyek Mn-tartamú kőzetek lepusztulásánál keletkeznek, illetve azokban az oxidos ásványokban vannak jelen, amelyek a Fe-oxidokkal hasonló módon olvadnak és viselkednek.

A másik fontos területe az ICP-OES eredmények felhasználásának, hogy a mennyiségi XRD-ből számolt kémiai összetétellel egyeztetve, ki tudjuk számolni az amorf anyag hozzávetőleges összetételét.

A kutatás folyamán 40 salak és 15 ércmintát vizsgáltunk XRD módszerrel. A mintákat előzetesen megtisztítottuk a talajból származó szennyeződésektől, majd aprítás után dörzsmozsárban készítettük elő a vizsgálatra. Ahol indokolt volt, ICP-OES vizsgálatra is különítettünk el mintát. A méréseket a Miskolci Egyetem Ásványtani- Földtani Intézetében vizsgáltuk, a Bruker D8 Advance típusú készüléken. A kristályos alkotók azonosításához az International Centre for Diffraction Data Powder Diffraction File adatbázisát használtuk. A mennyiségi kiértékeléseket TOPAS4 szoftverben végeztük, az Inorganic Crystal Structure Database és szakirodalomból átvett kristályszerkezeti adatok alapján. A salakok kristályos ásványfázisainak beazonosítása, illetve azok keletkezési hőmérsékleteinek ismerete az egyes metallurgiai fázisokhoz való kötődésről, illetve azok paramétereiről szolgáltatnak információt.

A SEM-EDS eredményeket csiszolt és polírozott felületű mintákon készítettük, arany vezetőréteg alkalmazásával, Zeiss EVO MA10 készüléken. A fázisok XRD-vel való összevetéséhez a kémiai méréseket pontszerű, ~ 1 µm átmérű nyalábbal mértük, 1-5 µm behatolási mélységgel. Az átlag kémiai összetétel részletenként való változását a képeken látható fázisok területi átlag mérésével végeztük. A képalkotás minősége a 100 nm körüli részletek értelmezését is lehetővé teszi, így a szöveti képeken meg tudtuk állapítani az egyes alkotók közötti reakciókat, elemhelyettesítéseket és elkülöníteni az egyes kristályosodási szakaszok termékeit. A kihülés során, a hőmérséklet fokozatos csökkenésével rétegzetten fejlődnek ki, az egyes termikus stádiumokra jellemző fázisok, így amit az XRD vagy ICP-OES módszerekkel csak átlagösszetételként észlelünk, visszafejthető a salakok keletkezési szakaszaira. Jól megfigyelhetők voltak a magas hőmérsékletű fázisok felületére kristályosodó későbbi fázisok, a kifejlődés típusából és a kristályok méretéből relatív képződési gyorsaságot is meg tudtunk becsülni.

A salakok SEM-EDS vizsgálata során bizonyos mikroszerkezeti jellemzői, (pl. wüstit dendritágak formája és szimmetriája, komplex oxidok réteges, táblás vagy egyéb formája) és a rendszámérzékeny, visszaszórt („backscatter”) elektronokkal készült képeken a sötétebb színű, alacsony rendszámú elemek alkotta oxidok elhelyezkedésének, eloszlásának sajátosságai a vizsgált darabok tipologizálását tette lehetővé.

A tapasztalataink azt mutatták, hogy bizonyos vizsgálati aspektusból jól használható elemösszetétel volt kapható EDS-vizsgálattal is, ezért valamennyi vizsgált lelet esetében (fémés és nemfémés) a tervezetten felül vettünk fel EDS-spektrumokat, amelyek részben a nehezkesebb és költségesebb ICP-vizsgálatokat is helyettesíthették.

Vastárgyak

Kaposvár és Zamárdi kohótelepének lelőhelyeiről 18 vastárgy volt alkalmas és érdemes archeometriai vizsgálatra. Ezen kívül a kutatáshoz kapcsolható, a közeli Zamárdi-Rétiföldek többszáz síros avar temetőjéből származó vasanyag metallográfiai vizsgálata (mintegy 20 minta), illetve a szintén általunk végzett, fent felsorolt lelőhelyekről származó

vastárgyak vizsgálata (összesen még 15 tárgy, gyakran tárgyanként több minta). Kiemelendő, hogy sikerült avar kori (Petesmalom), illetve 9. századi (Zalavár) vasbucát is – ami igen ritka lelet, különösen 10-11 kg-os súlyban – a vizsgálatokba bevonni.

Az ED-XRF mérésre alkalmasnak ítélt leletek felületén és vágott felületein is végeztünk hordozható spektrométerrel méréseket. Röntgendiffrakciós vizsgálatot fémek esetén hordozható, energiadiszperzív spektrométerrel is egyenes, tiszta felületeken (célszerűen csiszolaton) érdemes használni.

A vastárgyak mikroszkópos metallográfiai vizsgálata kimondottan roncsolásos vizsgálat, mivel a korabeli vastárgyak felszíne, de gyakran az eredeti felszín alatti mélyebb zónák is elkorrodálódtak az eltelt évszázadok folyamán. Relatíván kis keresztmetszetű vastárgyak esetében (kés, kardpenge, kengyel, lándzsahegy, tű, stb.) kifejezetten javasolt röntgenfelvétel készítése, különösen - ha kiállítási tárgyakról van szó – mivel gyakran nem található már vizsgálatra érdemes fémes terület a tárgy belsejében. Ekkor a mintavételre irányuló vágás gyakorlatilag feleslegesen darabokra törheti a leletet. Röntgenfelvétel készítését igényeltük Zamárdi-Rétiföldek avar kori temetőjéből származó vastárgyak esetében.

A vastárgyakból kivágott minták helyének és irányának kijelölésekor figyelembe vettük:

- ha egyfajta tárgyból több darab is van, legyenek összehasonlítható minták,
- lehetőleg valamennyi tárgyfajta képviselve legyen a vizsgálatoknál, amennyiben az anyagminősége engedi,
- a vélhetően speciálisan kidolgozott, jobban alakított részek (élek, hegyek, hajlítások, stb.) vizsgálva legyenek,
- a SEM-vizsgálatnál figyelembe kell venni a vizsgálható minta méretbeli korlátait,
- a vizsgálat után a tárgy minél könnyebben restaurálható maradjon.

A kivágott minták mechanikai csiszolása és polírozása után savas vegyszerrel marattuk (2%-os Nital). Optikai mikroszkópos vizsgálattal (Zeiss Stereo Discovery, AxioImager, AxioVert) a benne lévő szövetelemek, fázisok alakját, eloszlását vizsgáltuk, általános szövetképet kaptunk. A pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) már nagyobb felbontású képeket is készíthettünk. A SEM-vizsgálatok alkalmával az egyes szövetelemek (ferrit, perlit, szekunder cementit, ledeburit, martenzit) arányait, eloszlását lokális szinten is megfigyelhettük. A szemcseméretből, a mikroszerkezet finomságából vagy éppen durvaságából, a karbon eloszlásából alakítástechnológiai jellemzőkre lehetett következtetni. Az eljárást kiegészítették az EDAX energiadiszperzív mikroszkop által készített területi és lokális spektrumok, amelyeket főként a salakzárványok kémiai összetételének meghatározásánál használtunk.

3.3. Rekonstrukciós kísérletek

A kutatás részprojektjeként több alkalommal végeztünk rekonstrukciós kohósítási kísérleteket. A kísérletek két csoportba oszthatók:

Szabadban, korhű körülmények reprodukálásával végzett kohósítási kísérletek

Kaposvár, 2016: A 2001-es kaposvár-fészerlaci ásatás közelében 2016-ban újabb kohászati objektumok kerültek elő (ásatásvezető: Németh Péter). A kutatásunk keretében

alkalom nyílt az ásatási területen, egy eredeti műhelygödör egymással szemben oldalain megépíteni két avar típusú bucakemencét. A korhű méretekben és anyagból (homokkal kevert helyi agyag) megépített és kiegészített kemencékben egy-egy kísérleti olvasztás történt, általunk bányászott somogyi gypvasérc felhasználásával. A gypvasércet a helyszínen aprítottuk, előpörköltük és napi egy-egy kohósítást végeztünk, ami közben többpontos, időszakos hőmérsékletmérés és gázminta vétele is történt.

A kísérleti kohósításokról a helyi sajtó is beszámolt, illetve televíziós helyszíni riportot készített az m1 és a Kapos TV

Ózd, 2017: Az ózdi Gyártörténeti Emlékpark területén lévő nyitott kiállítási pavilonban felépített avar típusú bucakemencét tettük próbakohósításra alkalmassá, illetve ugyanabban a pavilonban szintén korhű méretekben és anyagból megépítettünk egy szabadon álló kemence-változatot (a 9. századnak datált nemeskéri típusú kohó mintájára). A kemencékben két különböző napon egy-egy próbakohósítást végeztünk, általunk gyűjtött somogyi (libickozmai) gypvasércel. Az érc előkészítő pörkölése, szintén a helyszínen történt. A kohósítás ideje alatt, többpontos, folyamatos hőmérsékletmérés és többszöri gázmintavétel történt.

A kísérletek egyúttal látványkohósításként is szerepeltek a Múzeumok Őszi Fesztiválja helyi programjai között. Ennek részeként az egyik olvasztás egyúttal ismeretterjesztő, pedagógiai szerepet is betöltött; több érkező általános és középiskolás csoportnak bemutattuk a korabeli szakma fázisait és beszéltünk a korai középkori vasművesség jellegzetességeiről, történeti szerepéről, régészetről. A skanzenben fesztivál napján folyamatosan érkeztek látogatók a kísérleti műhelyhez, illetve az Ózdi Városi TV is csinált egy képes riportműsort a vezető kutatóval.

A kaposvári és ózdi próbakohósítások legfontosabb célja magának a technológiának, a szakmai fogásoknak a reprodukálása volt. Főként azt próbáltuk kideríteni, hogy milyen tényezők hatnak az egyes szakmai fázisok minőségére, eredményességére. A levett gázminták, illetve a keletkezett anyagok kémiai összetételét, mikroszerkezetét mindkét helyszín esetében elemeztük.

Bátor, 2017-2018: Korhű méretekben, műhelygödör falában kialakított bucakemencében két kísérletsorozat is történt, összesen mintegy 20 kohósítással. A Thiele Ádám műhelyében, gönci vasércel végzett első sorozatban - állandó adagsúly mellett - a faszénadagolás és a fűvószél intenzitásának hatását vizsgáltuk a kapott vasbucák minőségére. A második sorozatban somogyi, petesalmi gypvasércet használtunk fel, főként annak foszfortartalma miatt. A fűjtetés ezeknél a kísérletsorozatoknál – mivel intenzitásának állandó értéken tartása lényeges volt – elektromos ventilátor által volt biztosítva. A kísérletsorozat elsődleges célja a beadagolt gypvasérc szemcsenagyságának, az adagolt anyag formájának (agyaggal keverten, golyókká formázva) hatása a kohómenetre és a keletkezett vasbucára (méret, vaskihozatal, minőség), illetve különös figyelmet kapott a keletkezett bucák foszfortartalma, karbon-foszfor eloszlása, főként az anyag alakíthatósága, kovácsolhatósága tekintetében.

Mivel a kísérletsorozatok kiértékelésénél kiderült, hogy a lokális karbontartalom és foszfortartalom pontos meghatározása igen fontos, a vizsgálati módszerek repertoárját bővítettük, a vasbucák vágott metszetein végzett GD-OES mérésekkel.

A fentiek alapján a kutatási projektünkben a kísérleti munka volumene esetében is többet teljesítettünk a tervezettnél. Az ehhez szükséges plusz anyagokat, energiát, eszközöket, logisztikai feladatokat saját erőből teremtettük elő, illetve fedeztük.

Képek a kísérleti olvasztásokról:



Kaposvár, 2015



Ózd, 2017



Bátor, 2018



Ózd, 2017

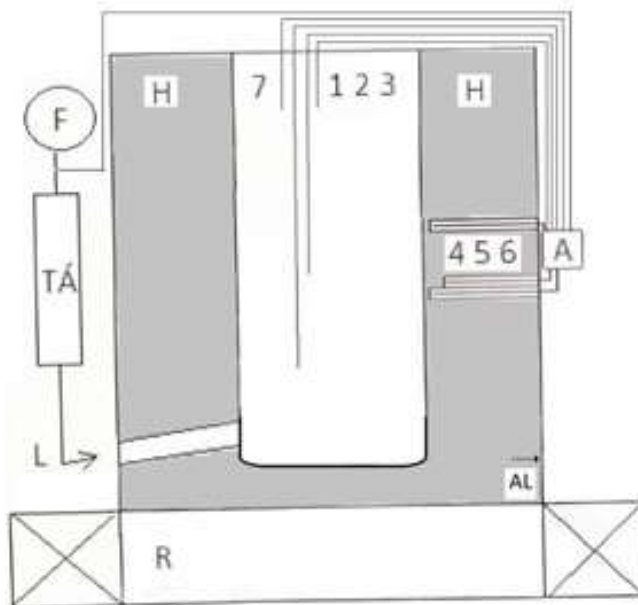
Műhelylaboratóriumban végzett kísérletek

A Miskolci Egyetem Metallurgiai Intézetének műhelylaboratóriumában 6 kísérletet végeztünk 200 mm átmérőjű és 90 cm magas mesterségesen kialakított retortákban.

A berendezések megválasztása és részint a munkamód nem igazodott az autentikus bucagyártáshoz, annak részleteihez. Fő célunk a mechanizmus kutatása volt, ezért a kemencét felműszereztük. Ennek keretében a levegőt fűvógéppel vittük be, térfogatáramát rotaméterrel mértük. Az akna magasságában, több helyen hőelemeket építettünk be az elegyoszlop és az elegyfelszín hőmérsékletének a mérésére. A távozó torokgázokat begyűjtve (az égőzóna alól) a fűvátás alatt többször gázmintát vettünk. A felhasznált vasérc az ipari üzemektől kapott 66% Fe-tartalmú hematitos érc volt.

A kísérletsorozat fő célja nem elsősorban vasbuca készítése volt, hanem a mechanizmus feltérképezése, a fizikai-kémiai folyamatok minél pontosabb determinálása, a bucaeljárásra vonatkozó kvantitatív modell felállítása. A szakirodalomban e téren egymástól néha eltérő, részben feltételezéseken alapuló fejtegetéseket találunk. Elgondolásunk szerint a folyamatok minél pontosabb feltérképezése közelebb visz az avar kohászok empirikus úton megtanult, illetve feltételezhetően továbbadott szakmai rutinra épülő szakmájukhoz, illetve a bucakemencék termelékenységének határfokának jobb megismeréséhez.

Mobil bucakemence vázlat
(60 x 60 x 120 cm)



- H homok
- R raklap
- 1 2 3 mozgatható hőelemek
- 4 5 6 fix hőelemek a falban
- 7 gázmintavevő és elemző
- L levegőáram
- F fúvógép
- A mérési adatgyűjtő
- TÁ térfogatáram-mérő (elektronikus)
- AL acéllemez (2 mm)



3.4. Természettudományos vizsgálatok

Interdiszciplináris jellegű kutatási projektünk komplexitását az archeometriai vizsgálatok természettudományos vizsgálatokkal szélesített spektruma is képviselte.

Kerámia petrográfia és tipokronológia

A korabeli vasművesség alapvetően összefügg a kerámiakészítéssel, hiszen a vaskohászat több objektumának, eszközének (kemencék, tűzhelybélések, fúvókák,

mellfalazatok) nyersanyaga azonos, vagy hasonló lehet a háztartási kerámiák készítéséhez használt anyaggal. A kerámiavizsgálat alapvető kapcsolatokra mutathat rá a kerámiakészítés és vasművesség között. Másrészt a vizsgálatban részt vevő településkerámiák technológiai vizsgálata segít a különböző kerámiatípusok kapcsolatának és technológiai fejlődésének vizsgálatában, ezáltal a kerámiatípusok kronológiájának pontosításában.

A kutatási programban 38 kerámia petrográfiai vizsgálatát végeztük el Kaposvárról, míg Zamárdiból 45 kerámiát vizsgáltunk. A vizsgálatok célja az avar kori kerámiák polarizációs mikroszkópos vizsgálata és összehasonlító elemzése, az egyes kerámia típusok összehasonlítása, azok kapcsolatának, egymásra való lehetséges hatásának elemzése volt. Vizsgáltuk a lehetséges technológiai párhuzamosságot, különös tekintettel a lassú- és gyorskorongolt kerámiák kapcsolatára. A kerámiák készítéstechnikájának részletes vizsgálatával és a nyersanyagaik elemzésével megpróbáltuk lehatárolni, hogy mely kerámiák készülhettek egy műhelyben, vizsgáltuk a kerámiák lehetséges import eredetét, illetve finomítottuk a kerámia típusok kronológiai kapcsolatait is.

A háztartási kerámiákon kívül vizsgálunk továbbá 16 db avar fűvócsövet, 2 db paticsot és 1 db kohótorkolat-maradványt is. Ezen tárgyak vizsgálati eredményeit összevetettük a kerámiák nyersanyagával. A paticsok és a kohótorkolat töredék vizsgálatával célunk volt eldönthetővé tenni, hogy a fűvócsövek nyersanyagát soványíthatták vagy természetes állapotában használhatták fel a helyi agyagot.

Természettudományos kormeghatározás

A sírkerámia tipokronológiai vizsgálatának alátámasztása céljából Zamárdi 56. lelőhelyről 2 db és Kaposvár 19. lelőhelyeiről 4 db, állatcsontból vett mintákon végzett radiokarbon kormeghatározás is történt.

Kaposvár lelőhely kútjainak faanyagából dendronkronológiai és fafajmeghatározási vizsgálat is történt.

Archeobotanikai vizsgálatok

Az avar kori vaskohászatban használt faalapú tüzelő és redukáló anyagok (tűzifa, faszén) közelebbi ismeretét, valamint az avar kori vaskohászati központok egy tágabb gazdaságtörténeti (növény- és tájhasznosítási modellek) keretben való elhelyezését segítik elő az archeobotanikai vizsgálatok. A vizsgálatba vont minták makro- és mikro-archeobotanikai elemzése tovább részletezi az egyes avar populációk növénytermesztéshez és tájhasználathoz való viszonyát.

Karpológiai vizsgálatok keretében Zamárdi 56. számú lelőhelyének késő avar kori (7-9. század) régészeti objektumaiból összesen 13 db talajminta került feldolgozásra. Ezek a minták ércpörkölő gödröket, hamus gödröket, épületeket, illetve további régészeti kontextusokat jelenítenek meg. Az objektumbetöltésből származó antropogén üledékmintákat a standard archeobotanikai protokoll szerint kezeltük. A növényi makro-maradványok identifikálása elsősorban az összehasonlító mag- és termésgyűjteményünkben található recens diaszpórákkal való összevetéssel történt, de meghatározásukhoz meghatározókat és archeobotanikai tanulmányokat is felhasználtunk. Eredményeinket az egyéb avar kori lelőhelyeken talált növénymaradványokkal is összevetettük.

Anthrakológiai vizsgálatot 4 db faszén-mintán végeztünk, amelyek Zamárdi 56. lelőhelyről származnak. Ezek a minták egy épületből és két ércpörkölő gödörből kerültek elő. A mintákon azonosításra alkalmas felületek létrehozása volt a cél, főként a transzverzális oldalon. A minták felületének megtisztítását követően makroszkópos vizsgálatot és leírást készítettünk, amelyet mikroszkópos vizsgálat követett. A minták az azonosítást követően mind faanatómiai, mind taxonómiai besorolásra kerültek.

Archeozoológiai vizsgálatok

Kaposvár 19. sz. lelőhelyén dokumentált 422 objektum közül 60-ból kerültek elő állatsontok, gödrökből, árkokból, műhelyekből, kutakból, épületekből. Az állatsontok mennyisége kevés, mindössze 762 db, feldolgozásuk, értékelésük mégis fontos, hiszen információkkal szolgál egy speciális avar kori telep életmódjáról, húsfogyasztási szokásairól. A 60, állatsontot tartalmazó objektumból átlagosan 12-13 db csontmaradvány került elő. A kézi gyűjtésű csontok között számos olyan található, amelyeknek a fizikai hosszúságukon kívül más adatuk nem mérhető.

Zamárdiban az avar kori településrészlet egy kohótelep maradványa, melynek 115 objektuma tartalmazott közepes mennyiségű, 1631 db állatsontot. Több objektumból csak 1-2 lelet került elő, de néhányból több tucat is, szinte kivétel nélkül jó, sok esetben kiváló állapotban maradtak meg. Ezt mutatja az is, hogy az avar kori leletanyag 1631 db lelete között mindössze 6 db nem meghatározható lelet található.

A leletek meghatározása mindkét lelőhely tekintetében SCHMID 1972, a csontméretek rögzítése DRIESCH 1976 alapján történt.

4 A kutatás fontosabb eredményei

4.1. Régészet, technika és társadalomtörténet

A kutatómunka után elkészültek az avar vasművességet feltáró kéziratok:

Zamárdi – Kút völgyi-dűlő 4 lelőhelye (56, 58/a, 68/b, 89.) kohótelepek közlése: objektumleírás és leltárkönyv, objektumfotó-, rajz, leletfotó, -rajz. Digitalizált rajz és térképanyag, teljes adatbázis.

Kaposvár kohótelep közlése: objektumleírás és leltárkönyv, objektumfotó-, rajz, leletfotó, -rajz. Digitalizált rajz és térképanyag, teljes adatbázis.

Összmennyiség: 7 Gbyte-nyi anyag: 200 oldal szöveges rész 700.000 karaktere mellett, több mint 3000 leltári tételszám, mintegy 2000 objektum és tárgyfotó, mintegy 200 tárgyrajz tábla, több mint 600 digitalizált objektumrajz és a lelőhely-térképek.

Elkészült az avar kohászati, vasművességi tárgyak, objektumok tipológiája, összehasonlítása. Itt Zamárdi és Kaposvár lelőhelyeinek összehasonlító tipológiai elemzését végeztük el egymással és a környező avar kohótelepekkel, kimutatva számos sajátosságot.

Elkészült Zamárdi – Kútvölgyi-dűlő (56, 58 a-b és 89-es lelőhely) és Kaposvár – Fészerlak (19. lelőhely) avar kori kohászati telepek kerámiájának tipokronológiai vizsgálata. Ezzel tisztázódtak a kohótelepek belső időrendje, tér- és időbeli viszonyai, világos és biztos lábakon álló kronológiai rendszert dolgoztunk ki, főleg a kerámiára alapozva. Mindezt a természettudományos kormeghatározások (C14, dendrokronológia) jól egészítették ki.

Megírtuk az avar vasművesség kialakulására és fejlődésére ható vaskultúrák rövid történetének kéziratát, az avar vasművességgel való lehetséges kapcsolat-rendszerét a következő szerkezetben:

- Az avar vasművesség keleti kapcsolatai.
- A római kori vasművesség öröksége.
 - o Avar vasművesség előzményei a római korban.
 - o Szarmata és császárkori germán vasművesség.
- Meroving kori vasművesség a Kárpát-medencében.
- Helyi szláv és Karoling kori vasművesség a Kárpát-medencében.

E fejezetekben az avar vasművesség eredetét, lehetséges kapcsolatrendszerét tártuk fel. Feltételezhetjük az avar vasművesség keleti örökségét. Tisztáztuk a lehetséges helyi hatásokat, egymásra hatásokat.

Kéziratként elkészültek az Avar Birodalom vaskultúrájának régészeti és társadalomtörténeti vonatkozásait taglaló fejezetek a következő tematikában:

- Az avar vasművesség 20. századi régészete a Kárpát-medencében (összefoglalás)– kutatástörténet.
- Az avarok vastárgyai – szerszámok, fegyverek, egyéb vaseszközök (kialakítás, használat, vasművesség az életmód tükrében), ezen belül:
 - Avar hadsereg és fegyverzet.
 - Fegyverforgalom és technológia – északi és nyugat-európai kardműves jegyek a 8–9. századi Kárpát-medence fegyveranyagában.
- A szántóföldi növénytermesztésben használatos eszközök az avar korban.

E fejezetekben a kutatástörténeten és a tárgyi világon keresztül vizsgáltuk meg az avar vasművesség rendszerét. Elemeztük az avar társadalom felépítését, kapcsolat és elosztási rendszerét a hadseregen és a mezőgazdaságon keresztül.

Elkészültek az avar vasművesség örökségét taglaló kézirat-fejezetek is:

- 9. századi továbbélés, kapcsolatrendszer a vasművességgel kapcsolatba hozható telepeken.
- A 8-11. századi vasműves vagy vasművességgel is foglalkozó alföldi települések összehasonlítása
- Avar és kora Árpád-kori vasművesség összehasonlító elemzése.

E fejezetekben az avar kori vasművesség lehetséges továbbélését, valamint az avar kori és a honfoglalás kori vasművesség közötti a technológiai különbségeket, azonosságokat és az avarok vasművességi örökségét foglalmaztuk meg.

Az avar vasművesség fizikai valóságának (kohótelepei, egyes objektumai) hiteles, virtuális és látványos 3D rekonstrukcióját készítettük el és fogalmazztuk meg, a kaposvári és a zamárdi lelőhelyekből kiindulva, a Pazirik Kft. technikai segítségével.



Kaposvár – kút



Kaposvár-Fészerlak 19. lelőhely



Kaposvár-Fészerlak – műhely



Kaposvár-Fészerlak - műhely



Zamárdi 58a lelőhely



Zamárdi 58b lelőhely



Zamárdi 89. lelőhely



Zamárdi - kovácsműhely

4.2 Archeometria (archeometallurgiai és természettudományos vizsgálatok és kísérletek)

Kutatási projektünk alapvető vonása – amely a címéből is egyértelműen tükröződik – hogy a maga nemében egyedülálló spektrumban kapcsoltunk össze egy témán belül régészeti, történettudományi munkát, illetve annak szolgálatában műszaki és természettudományos vizsgálati módszereket, valamint kísérleteket. Amellett viszont, hogy ezek a vizsgálatok alapvetően a régészeti megállapításokat hivatott segíteni, a projektünk egyértelműen bizonyította, hogy bizonyos témákban (pl. a bucaeljárás metallurgiai folyamatai, kvantitatív modellje; kohászati jellegű leletek tipológiája) alapkutatóként értelmezhető, önállóan is

értékes megállapításokat, illetve szélesebb körben is használható vizsgálati módszertan kidolgozását is elkönnyvelhettünk eredményként.

A salakleletek kémiai, mikroszerkezeti és ásványtani vizsgálatai alapján tipologizálni tudtuk egyrészt a vizsgált lelőhely változatos salakjait, de általános értelemben vett sajátosságokat is meghatároztunk, mind kémiai és ásványi összetétel, mind makro- és mikroszerkezet vonatkozásában. Eredményeink alapján nagy biztonsággal különválaszthatók egyrészt a kohósítás folyamatán belüli salakok (folyósalak és kemencesalak – fayalitos részek elhelyezkedése, egyes fázisok alakja, formája), illetve meghatározhatók a bucatömörítés és kovácsolás salakjainak jellegzetességei is (pl. réteges szerkezet, wüstit és leucit markáns előfordulása).

A fém tárgyak metallográfiai vizsgálata alapján kiderült, hogy az avarok többféle kovácsolási módszert is alkalmaztak. Nagyobb számban talákoztunk különböző karbon tartalmú rétegek többszöri, közepes erővel való összekovácsolásával előállított tárggyal, míg kisebb számban fordult elő az egy darabból, „telibe kovácsolt” termék. Ezeknek az alapvető technológiai módszereknek meghatároztuk a metallográfiai vizsgálatok által megfigyelhető jellemzőit.

A kísérletek, illetve ahhoz kapcsolódó vizsgálatok segítségével megfogalmazzuk az avar vasművesség komplex szakmájának technológiai jellegzetességeit valamennyi fázis vonatkozásában (érelőkészítés, kohóépítés és kohósítás, bucatömörítés és –tisztítás, félkésztermékek és késztermékek kialakítása, kovácsolás). Meghatároztuk az egyes szakmai paraméterek (érc-faszén arány, ércadagolás szemcsenagysága, a keverék minősége, fűvósél intenzitás, bázikus adalékanyagok adagolása) hatását a kohómenetre, a salakképződésre és a keletkező vasbuca méretére, minőségére, illetve az anyagában a mechanikai tulajdonságát meghatározó karbon és a melegalakíthatóságát befolyásoló foszfor eloszlására.

Elkészítettük a bucaeljárási kvantitatív modelljét, meghatároztuk a vasmérlegen alapuló vaskihozatait. Megállapítottuk, hogy a gyepvasérc redukciójában a szilárd-karbon szerepe nagyobb lehet, amely módosíthatja a szakirodalomban gyakran hangsúlyozott szén-monoxidos redukció domináns szerepét.

A petrográfiai vizsgálatokból kiderült, hogy a helyi eredetű kerámia leginkább soványítatlan, jó minőségű, sötétvörösre-barnászvörösre égetett anyagból készült termékei mellett a környező régiókból származó kerámiaanyag is jól kimutatható. A kerámiák tipokronológiája alapján a Kaposváron előkerült mezőföldi típusok „receptje” hasonló a Zamárdin megfigyeltékhez, de a nyersanyagok összetétele eltér.

Az archeobotanikai vizsgálatok kimutatták az árpa dominanciáját, illetve a faszén-minták kocsányos és kocsánytalan tölgytől való származását, amely a vaskohászati tevékenység szempontjából is lényeges információ.

Archeozoológiailag megállapítható, hogy a települések közös jellemzője, hogy legnagyobb mennyiségben szarvasmarha csontok kerültek elő. Kisebb mennyiségben kiskérődzők, sertések, lovak és kisméretű lófélék maradványai is előkerültek, illetve kutyákat és tyúkokat tartottak. A vadászatot néhány lelet bizonyítja.

A három év kutatási anyagának rendszerezése, feldolgozása és adatbázisba foglalása mintegy 45 Gbyte-os elektronikus adatbázis-mappatár létrehozását jelentette. A közeljövő feladata a kutatási eredmények felhasználásával megírt kézirat-fejezetek letisztázásával, szintetizálásával egy kétkötetes mű elkészítése, amelynek címe megegyezik a kutatási projekt címével. Ennek előmunkálataként elkészültek a felhasználandó illusztrációk, amelynek prominens, leglátványosabb része a kutatás eredményeinek felhasználásával született 3D-s ábrázolások.

5. Disszemináció

A kutatás eredményeiről a következő tudományos és ismeretterjesztő fórumokon hangzott el előadás, lett bemutatva prezentáció:

Két előadás a "1st International Conference on Metrology for Archaeology" c. nemzetközi konferencián (Benevento, Olaszország, 2015):

- B. Török, F. Kristály, Á. Kovács, Zs. Gallina: Methodology of complex investigation (ICP-OES, SEM+EDS, XRD and XRF) of archaeological slag
- F. Kristály, B. Török, Á. Kovács, Zs. Gallina: About the methodology of examination of fused clay residue type archaeological finds.

Prezentáció a "41st International Symposium on Archaeometry" c. nemzetközi konferencián (Kalamata, Görögország, 2016), a kutatási tervnek megfelelően:

- B. Török, Á. Kovács: Tradecraft of the Avars' metalworking - a special multi-metallic method

Saját szervezésű belföldi, nemzetközi konferenciánk a téma fókuszában: A korai középkori kézművesség régészeti emlékei, különös tekintettel a vaskohászatra és kovácsolásra (8-10. század) című nemzetközi szimpózium, Szeged, 2016:

- Gallina Zsolt - Török Béla: The latest results of the complex research of the Late Avar iron smelting sites in Somogy County / A késő avar kori vasművesség komplex kutatásában Somogy megyében.
- Török Béla – Szőke Béla Miklós: Spuren der handwerklichen Tätigkeiten im karolingischen Zentrum Zalavár (Mosaburg), mit besonderen Berücksichtigung für die archäologischen und archäometrischen Bewertungen drei hier gefundenen Eisenluppen. / Kézművesség nyomai a Karoling kori központban, Zalaváron (Mosaburg), különös tekintettel az itt talált vasbucákra.

Kurultáj, Bugac, 2016: Gallina Zsolt: "Vasakarát" - Az acél hatalma az avaroknál és a honfoglalóknál.

Iron in Archaeology - Bloomery Smelters and Blacksmiths in Europe and Beyond, nemzetközi konferencia, Prága, 2017. (a konferencián Török Béla, vezető kutató a tudományos bizottság tagja és szekcióvezető is volt):

- B. Török, Zs. Gallina, Á. Kovács, F. Kristály: One of the largest early medieval unearched ferrous metallurgical centre of Europe in Zamárdi (Hungary) – Comprehensive description and the archaeometallurgical examinations of local slags. (a témából megjelenés alatt lévő publikáció az Archeologické rozhledy-ben –lásd lent)

- B. Török, P. Barkóczy, Á. Kovács, L. Költő, A. Fehér, B.M. Szőke: A complex comparative study of early medieval split blooms from Pannonia
- P. Barkóczy, B. Török, Á. Kovács, I. Molnár: How it's made – ARGUM's practice and methodology used for metallographic analysis of medieval iron artefacts from the Carpathian Basin.

XVIII. UISPP World Congress, Paris, 2018. (a kongresszuson Török Béla, vezető kutató szekcióelnök is volt)

- B. Török, F. Kristály: The role of SiO₂ and silica rich amorphous materials in the composition of archaeological finds (az előadás anyaga publikálva lesz)

Kurultáj, Bugac 2018: Gallina Zsolt: A vas és acél országa... Az avar vasművesség keleti kapcsolatai és rekonstrukciója.

A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXVIII. konferenciája, Mosonmagyaróvár, 2018:

- Gallina Zsolt: Vas és acél országa... Az avar vasművesség virtuális rekonstrukciója

A kutatási projekthez kapcsolódó publikációk:

1. B. TÖRÖK – F. KRISTÁLY – Á. KOVÁCS – ZS. GALLINA: *Methodology of complex investigation (ICP-OES, SEM+EDS, XRD and XRF) of archaeological slag*. Proceedings of the 1st International Conference on Metrology for Archaeology, Benevento, Italy, October 21-23, 2015 ISBN 978-88-940453-3-8; p. 214-218.
2. F. KRISTÁLY - B. TÖRÖK – Á. KOVÁCS – ZS. GALLINA: *About the methodology of examination of fused clay residue type archaeological finds*. Proceedings of the 1st International Conference on Metrology for Archaeology, Benevento, Italy, October 21-23, 2015 ISBN 978-88-940453-3-8; p. 501-504.
3. TÖRÖK B. – KOVÁCS Á. – SZÜCSI F.: *Előszállás – Öreghegy és Úrhida – Arany János utca lelőhelyeken feltárt avar kori fókások elektronmikroszkópos archeometriai anyagvizsgálata és régészeti értékelése*; Alba Regia, Annales Musei Stephani Regis. Székesfehérvár, 2016. p. 17-36.
4. B. TÖRÖK, Á. KOVÁCS, P BARKÓCZY and F. SZÜCSI: *Tradecraft of the Avars' metalworking - manufacturing of iron axes and a special multi-metallic method used for belt accessories*; STAR (Science and Technology of Archaeological Research) 3:2, 258-269. ISSN: (Print) 2054-8923 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/ysta20> DOI: 10.1080/20548923.2018.1439137 (2018)
5. TÖRÖK B. - BARKÓCZY P. - KOVÁCS Á. - KRISTÁLY F. - BÁNHIDI O. – KREITER A. - SKRIBA P. - PETŐ Á. - GYULAI F. - SALÁTA D.: *Avar kori vasművesség az interdiszciplináris kutatások tükrében – Zamárdi-Kútvölgy és Kaposvár-Fészerlak leleteinek archeometriai vizsgálatai - Ironworking of the avar period in the scope of interdisciplinary research – archaeometrical investigation of the finds from Zamárdi-Kútvölgy and Kaposvár-Fészerlak sites*; Archeometriai Műhely 2017/XIV./3. Budapest, HU ISSN 1786-271X; p. 185-202.
6. TÖRÖK B. - BARKÓCZY P. - KOVÁCS Á. - KÖLTŐ L. - FEHÉR A. - SZŐKE M. B.: *Pannóniai kora középkori ékelt vasbucák összehasonlító archeometriai vizsgálata - A comparative archaeometric study of early medieval split blooms from Pannonia,*

Bányászati és Kohászat Lapok, Kohászat, 151/3. Budapest, 2018. p. 1-4. HU ISSN 0005-5670

7. GALLINA ZS.: *Az avar kori vasművesség mesterségei A korabeli vasgyártás munkafolyamatai, változásai, specializálódása*; Techné – A szakképzés módszerei az ókorban és a középkorban (Szerk.: Mundig M. - Szovák K. – Takács L.) Studia Philologica V, Piliscsaba 2018. p. 391-450.
8. B. TÖRÖK – ZS. GALLINA – Á. KOVÁCS – F. KRISTÁLY: *A large multi-period early medieval iron metallurgical centre at Zamárdi (Hungary) – Complex archaeometrical examinations of the slags*; Archeologické rozhledy Issue No. 70/3, 2018 - megjelenés alatt
9. TÖRÖK B. – BARKÓCZY P. – KOVÁCS Á.: *Microstructure analysis of metal artifacts from the Carpathian Basin – A brief methodology of the ARGUM's metallographic practice*; UISPP Journal No. 2. (2018) – megjelenés alatt
10. GALLINA ZS. – TÖRÖK B.: *Az avar kori vasművesség munkafolyamatai, korabeli mesterségei*; Két világ határán - Természet és társadalomtudományi tanulmányok. Rippl-Rónai Múzeum Kaposvár, 2018 – megjelenés alatt
11. TANKÓ K. – TÖRÖK B. – FARKAS CS.: *A késő vaskori fémmegmunkálás leleteinek régészeti és archeometriai vizsgálata Szilvásvárad-Lovaspálya lelőhelyen MOMOSZ X. Matrica Múzeum 2018 – megjelenés alatt*
12. TÖRÖK B. – KOVÁCS Á. – BENKE M. – SEPSI M.: *Szolnok-Szanda gepida temetőjéből származó három övcsat roncsolásmentes archeometallurgiai vizsgálata*, Tisicum, Jász-Nagykun-Szolnok megyei múzeumok évkönyve, XXVI., 2018 – megjelenés alatt

Az említetteken kívül a következő két évben a kutatás eredményeivel kapcsolatosan még három bírált folyóiratcikk megjelenését tervezzük.

A kutatásunk egyes részeredményeit önállóan feldolgozva, a projektben foglalkoztatott egyetemi hallgatók által született egy diplomamunka (Molnár István: *Avar kori régészeti vastárgyak anyag-vizsgálata a korabeli alakítástechnológiai sajátosságok feltárása céljából* – Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, 2016), illetve egy TDK-dolgozat (Suszter Mór - *Korai középkori régészeti vassalakok összehasonlító archeometriai anyagvizsgálata* - Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, 2016), illetve további két TDK-dolgozat elkészítése várható (Györke Réka és Bárány Máté).

Miskolc, 2018. szeptember 28.