

A SÁROSPATAKI ÁGYÚÖNTŐ MŰHELY RÉGÉSZETI KUTATÁSA ÉS A RÉGÉSZETI LELETANYAG METALLURGIAI VIZSGÁLATA

ARCHAEOLOGICAL RESEARCH OF THE SÁROSPATAK GUN FOUNDRY AND THE METALLURGICAL STUDY OF THE FINDS

RINGER ISTVÁN,¹ BARKÓCZY PÉTER,² KOVÁCS ÁRPÁD³

¹Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma E-mail: ringer.istvan@gmail.com

^{2,3}Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet E-mail: peter.barkoczy@gmail.com, femkov@uni-miskolc.hu

Abstract

The Rákóczi Museum of the Hungarian National Museum revealed a cannon casting foundry in the territory of the castle of Sárospatak. The excavation started at the summer of 2006. A great amount of findings revealed from the metallurgical, alloying and casting processes of the foundry. The Archaeometallurgical Research Group of the University of Miskolc examines the microstructure and the chemical composition of these findings. The aim of this research work to complete the knowledge of the contemporary literature, and reconstruct the technological processes of the foundry. In this article the current status of the examination is introduced.

Kivonat

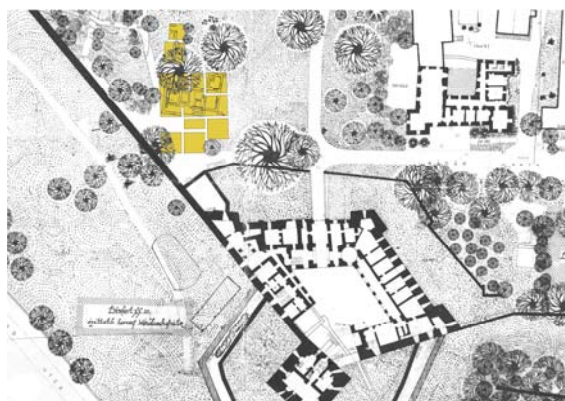
A Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma a sárospataki vár területén 2006-ban megkezdett kutatásában feltárta I. Rákóczi György ágyúöntő műhelyét. Az ásítás során számos ötvözetkészítési, metallurgiai és öntészet technológiai lépéssel kapcsolatos lelet került elő. Ezek mikroszerkezetének és összetételének vizsgálatával a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja foglalkozik. A vizsgálatok célja, hogy a korabeli dokumentumokban rejlő ismeretanyagot kiegészítve pontosabban rekonstruálni lehessen az ágyúöntő műhelyben végzett kohászati munkát. Cikkünkben az eddig kapott eredményekről számolunk be.

KEYWORDS: CANNON CASTING, METALLURGY, METALLOGRAPHY, CHEMICAL COMPOSITION

KULCSSZAVAK: ÁGYÚÖNTÉS, METALLURGIA, METALLOGRÁFIA, KÉMIAI ÖSSZETÉTEL

Bevezető

A Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma 2006 nyarán tervásatást kezdett a sárospataki külső vár délnyugati sarkában, a mostani park területén (1. ábra).



1. ábra: A feltárási terület elhelyezkedése a sárospataki külső várban. (Hermann Orsolya Zsanett)

Fig. 1.: The localization of the exploration site at the outer castle of Sárospatak. (Zsanett Orsolya Hermann)

A kutatás célkitűzése az volt, hogy felszínre hozza és dokumentálja az itt lévő ágyúöntő műhely maradványait. A téma kutatása Sárospatak vonatkozásában – történeti értelemben legalábbis – nem számított előzmény nélkülinek. Détszy Mihály levéltári forrásfeltáró munkája nyomán zömmel egykorú levelezések formájában ismertté váltak azok a dokumentumok, amelyek az öntőműhely I. Rákóczi György kori történetéről, az 1631 és 1648 közötti ágyúöntésekről nagy részletességgel tájékoztatnak. A közelmúltban elhunyt kiváló kutató kivonatolt formában közzé is tette ezeket a forrásokat (Détszy 1971; a téma további történeti feldolgozása: Szendrei 1891, Szilágyi 1888, Makkai 1954). A régészeti feltárás megkezdése előtt tehát rendelkezésünkre állt egy olyan történeti kutatás, melynek eredményeire munkánk során több ponton nagy haszonnal tudtunk támaszkodni. A mára teljesen föld alá került műhely külső váron belüli topográfiáját a 17-18. századi urbáriumok alapján aránylag biztosan meg tudtuk határozni. Az összeírások a belső vár előtti szárazárokkanal párhuzamosan futó út szemközti házsorának délről legutolsó épületeként említik az ágyúöntő házat. A források alapján meghatározott területen a feltárás megkezdése előtt geofizikai kutatást végeztek a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékének munkatársai (Hursán 2006).



2. ábra: Az ágyúöntő műhely feltárt részletei nyugatról (fotó: Váradi László)

Fig. 2.: The explored details of the cannon foundry; picture from West (photo: László Váradi)



3. ábra: Az ágyúöntő műhely feltárási összesítő alaprajza, 2006-2009. (Rácz Miklós és Szökrön Péter)

Fig. 3.: The global ground-plan of the excavated cannon foundry, 2006-2009 (Miklós Rácz and Péter Szökrön)

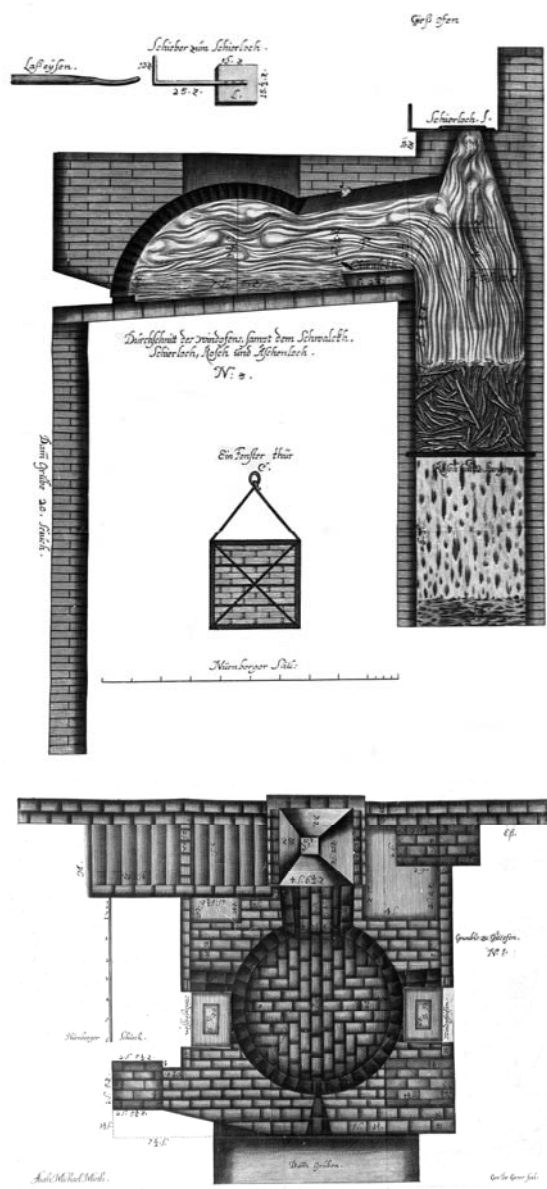


4. ábra: Lángkemence működés közben (Pierre Surirey de Saint-Remy: Mémoires d'Artillerie)

Fig. 4.: Furnace at work (Pierre Suriery de Saint-Remy: Memories d'Artillerie)

Az itt végzett geoelektromos mérések eredményeinek kiértékelése után a vizsgált területen egy nagy alapterületű, összetett kőépület felszín közeli maradványai rajzolódtak ki, melyet az ásás megkezdése előtt feltételelesen az elpusztult műhellyel azonosítottunk. Teljesen feltártnak tekinthető a műhely technológiai értelemben legizgalmasabbnak számító részlete, annak „lelke”, az épület déli oldalán lévő olvasztókemence és környezete (**3., 4. ábra**). A Sárospatakon feltárt ipartörténeti emlék azonosításában és értelmezésében nagy szerepet játszott az, hogy a tulajdonképpen – európai vonatkozásban is – egyetlennek számító, ugyancsak régészeti kontextusban előkerülő párhuzam feldolgozása munkánkkal egy időben zajlik. A budai Szent György téren folytatott régészeti kutatás során a Szent György utca 6. és 8. számú telkén napvilágra kerültek az írásos forrásokból ismert, 15-16. század fordulóján működött királyi ágyúöntő műhely maradványai. Az itteni feltárás során előkerülő két, erősen roncsolt állapotban megőrződött kemence maradványaiból Belényesy Károly példaértékű rekonstrukciós munkával azonosított egy olyan bronzolvasztó kemence típust, mely a 15-16. század fordulóján jelenhetett meg, s a 17. századra vált általánosan elterjedté az európai bronzöntő műhelyekben: a lángkemencét (Belényesy 2008. 348-350). A korábbi, aknás kemencéket felváltó új típus megjelenésében, s általánosságban véve a bronzöntés technológiájában bekövetkezett váltás mögött a tűzfegyverek szerepének fokozatos növekedése állt,

melynek eredményeként a 17. században már az egységes ágyútípusok és nagyobb szériák gyártására rendezkedtek be a műhelyek. A budai és sárospataki emlék két külön fejezetet képvisel az ágyúöntés magyarországi történetében, hiszen míg a 15. század végén működő – technológiailag modernnek számító – budai ágyúöntő házban igazolhatóan négy ágyút öntöttek, a működését másfél évszázaddal később megkezdő sárospataki műhelyben készített ágyúk száma százas nagyságrendű lehetett. A két emléket ugyanakkor sajátos és szerencsés módon összekapcsolja a fent említett speciális, a korábbi olvasztókemencéknél nagyobb hatásfokkal működő lángkemence típusa. A budai maradványok értelmezése segített tehát a sárospataki kemence meghatározásában. Ez utóbbi pontosabb rekonstrukciójában további régészeti analógiák és álló, ma is tanulmányozható hasonló emlékek hiányában figyelmünk fokozatosan egy olyan forráscsoport felé irányult, mely szinte kimeríthetetlen gazdagságban tárja elénk a kora újkori európai ágyúöntő műhelyeket: ezek a 17-18. században íródott nagy tűzérési munkák, a traktátusok. A legtöbb esetben csupán kéziratban fennmaradt, zömmel német és francia, kisebb számban angol és itáliai szakírók (legtöbbször tüzérmesterek) által szerzett könyveknek külön fejezete foglalkozik a bronzöntéssel és így következésképpen a kemencékkel is.



5. ábra: Lángkemence alaprajza és metszete (Miethen, Michael: *Artillerie Recentior Praxis...*)

Fig. 5.: The ground-plan and the cross-section of the furnace (Miethen, Michael: *Artillerie Recentior Praxis...*)

A fejezetekhez sokszor a műszaki rajz igényességével készített, pontos méretezéssel és megnevezésekkel ellátott alap- és metszetrajzok társulnak.

Jelen dolgozatnak nem lehet célja, hogy részletesen áttekintse valamennyi, általunk eddig felgyűjtött ilyen jellegű forrást, terjedelmi korlátok miatt csupán néhány, a sárospataki kemence rekonstrukciója kapcsán igen jól hasznosítható munka ismertetésére szorítkozhatunk. A korszak egyik legnépszerűbb tüzéségi írása Pierre Surirey de Saint Remy nevéhez fűződik (Saint-Remy 1707). A kétkötetes munkában található illusztrációk között olyan lángkemence metszetrajz is fellelhető, ahol jól megfigyelhető a bronzolvasztó berendezés jellegzetes rész-

letei: a tüzelőtér, az olvasztótér és az ez utóbbi előtt lévő öntőakna. Az egyik perspektivikus ábrázoláson pedig, ahol a kemencét működés közben, körülré sűrű-forgó munkásokkal ábrázolják, szinte meg-elevenedik előttünk a korabeli öntőműhelyek izgalmas világa (4. ábra). A francia szakíróéhoz hasonló népszerűségnek örvendő tüzéségi traktátus volt a 18. században David Emanuel Musly gazdagon illusztrált könyve. Ennek legelső fejezetében részletes leírás található a kemence építésénél alkalmazott szempontokról, a felhasználásra javasolt építőanyagokról. Mindezt precíz alaprajzok és többirányú metszetrajzok egészítik ki. Kevésbé ismert, ám esetünkben elsődleges fontossággal bír Michael Miethen 1683-ban megjelent traktátusa. Az itt közölt lángkemence alaprajz ugyanis elrendezését és méreteit tekintve csaknem teljes azonosságot mutat a sárospataki kemence feltárási alaprajzával (5a-b ábra.). Mivel a német tüzermester ugyanannak a kemencének a metszetrajzát is közli, ez alapján megkísérelhetjük az elpusztult részletek elméleti rekonstrukcióját is.

Mindezek előtt fontos azonban összefoglalnunk röviden azt, hogy hogyan is működtettek egy ilyen kemencét. Noha az egyes lángkemencék – a felgyűjtött képi ábrázolások tanúsága szerint is – részleteikben különbözhetnek egymástól, a főbb elrendezésük, szerkezetük azonos volt. A kemence két alapvető részből állt. A tulajdonképpeni kemencéből: az olvasztótérből, ahol a fémot megolvasztották és a tüztérből, ahol ölfákkal tüzelve, folyamatosan hevítették a kemencét. A lángkemence működési elve a forró levegő, a hő áramoltatásán alapult. A tüztérben keletkezett lángokat egy nyíláson keresztül vezették az olvasztótérbe, ahol a lángok a fém körül cirkulálva azt felhevítették, továbbá átizzították a kemence tetejét, ahonnan a visszacsugárzó hő ugyancsak elősegítette az olvadást. Ahhoz, hogy egészen hosszú lángnyelveket kapjanak, a fűtőanyagoknak nagy felületen kellett érintkeznie a levegővel és izzás közben sok gázt kellett leadnia. A tüzeléshez száraz, egyenes, görcs nélküli ölfát használtak. A fának gyantásnak és gyorsan égőnek kellett lennie, leggyakrabban szilfát, bükköt és nyírfát alkalmaztak. A tűz erőteljes, egyenletes égésének biztosítására bőségesen hagytak helyet a levegőnek, mely a műhely itteni része alatt kiépített boltozatos alagútrendszerből egy rácson keresztül jutott be a tüztérbe. Ettől szélesebb járatra volt szükség a füst elvezetéséhez. A megfelelő huzat eléréséhez és a füst elvezetése végett kéményeket építettek. Maga a kemence kör alakú volt, melynek feneke enyhén lejtett a tüztértől a csapoló nyílásig. Derékszöveget bezárva a tüzelőnyílással és a csapoló nyílással, egymással átellenben két széles ajtó volt, ahonnan a kemencét megtölthették, és használat közben ellenőrizhették. Ezeket a nyílásokon keresztül távolították el a fémfűdő felszínén úszó salakot és egyéb szennyeződések is. Amikor az ágyúöntő mester új kemencét épített, nagyon precíz munkát kellett vé-

geznie, s gondosan ki kellett választania a megfelelő anyagokat. Az olvasztótér tégláinak tűzállónak kellett lenniük. A sárospataki öntőműhely kapcsán Debreczeni Tamás prefektus többször beszámolt leveleiben arról, hogy a kemence fenekét átépítették, és ahhoz tűzálló, „passaui” téglák küldését sürgette. Az újonnan megépített kemencét először gyenge tüzeléssel szárították. A kemencét minden egyes öntés után hagyták teljesen kihűlni, hogy a szükséges javításokat véghez lehessen vinni rajta. Amikor a kemencét megtöltötték, ügyelni kellett arra, hogy fokozatosan hevítsék fel, nehogy szerkezetében komolyabb károsodás következzen be. Miközben az olvasztás zajlott, az öntömesternek nyomon kellett követnie a kemencében lévő fémek elegyének összetételét. Ennek érdekében minden olyan fémadarabot, melyet a kemencében helyeztek el, pontosan lemértek.

Az ágyúak anyaga hazánkban a 17. században általában a bronz, vagyis vörösréz és ón ötvözet volt. Ez az ötvözet lényegesen jobb tulajdonságokkal rendelkezett, mint a korai módszerekkel öntött vas. Ráadásul annak ellenére, hogy a bronz 20%-kal nehezebb a vasnál, a bronzágyúk mégis könnyebbek voltak, mivel az ellenállóbb fémből vékonyabb falú ágyút készíthettek, mint az ugyanolyan kaliberű vaságyú esetében. A bronzágyú jobban bírta a kilövés okozta rázkódást és a korróziónak is jobban ellenállt, ugyanakkor kisebb volt a valószínűsége annak, hogy tüzelés közben tönkremenjen. Ha ez mégis előfordult, az ágyúcső kidudorodott, vagy hosszában megrepedt a csőfar tájékán, de nem feltétlenül robbant fel. Ha viszont egy vaságyú felrobbant, akkor rendszerint apró darabokra hullott, darabjai mindenfelé szétszóródtak, s ez a közelben állók között katasztrofális sérüléseket okozott. A bronzágyú könnyen újraönthető, s ami ugyancsak lényegesnek számított, könnyen díszíthető is volt. Ágyúkészítő alapanyagként a bronznak negatívuma volt viszont, hogy nagyon hamar felmelegedett. Ennek következtében, ha egy bronzágyúból sorozatos lövéseket adtak le, akkor hajlamos volt a meglágyulásra, megvetemedésre, vagy a furat más módon történő megsérülésére. A bronzágyúk legfőbb hátrányát mégsem ez, hanem az előállítás költséges volta jellemezte. Általában háromszor, négyszer kerültek többre, mint a vaságyúk. Nem meglepő tehát, hogy a 17. század első felének európai uralkodói elkezdtek megbízásokat adni a vaságyú öntésével kapcsolatos kísérletek végzésére, illetve támogatták is azokat. Céljuk a vasból készült tüzérségi fegyverek minőségének javítása volt. Ámbár a vaságyúkat sohasem tartották olyan biztonságosnak, mint a bronzból készültöket, az 1630-as évekre Anglia és Svédország is elismert minőségű vaságyúkat exportált (Cipolla 1965. 43.). Fontos azonban utalni arra, hogy míg a hadfelszerelésben, haditechnikában Nyugat-Európában megjelenő újítások a tárgyalt időszakban késedelem nélkül megjelentek Magyarországon, az ágyúak öntése terén fentebb leírt fejle-

dés nem mutatkozik meg a korabeli forrásokban. A modern, huzagolt hátultöltő lövegek megjelenéséig a magyarországi ágyúk túlnyomó többségét bronzból öntötték.

Az ágyúbronz összetételének pontos arányát csak ritkán jelölik meg a korabeli források, s a közölt mennyiségeket is kritikusán kell kezelni. Egy 1640-ben közölt német recept szerint: 100 rész réz, 20 rész ón, 5 rész sárgaréz és 10 rész ólom, míg egy 1716-ból származó szerint 100 rész réz, 10-12 rész ón és 6 rész sárgaréz ötvözet a legalkalmasabb ágyúöntésre (Dolleczek 1884. 164.). A Sárospatakon öntött ágyúk összetételére vonatkozóan több adatunk is fennmaradt. Egy 1645. november 10-én kelt levélben szereplő említés szerint az öntömester „160 mázsa rezet és 6 mázsa ónat rakott vala be a kemencében”. Majd egy évvel későbbi adat szerint: „145 mázsa réz és 7 mázsa fejer ón volt benne”. Ez az összetétel 95-96% réz és 4-5% ón keverési arányt eredményezett. Általában azonban, mint ahogyan a fenti két öntés esetében is, nemcsak színrezet adagoltak, hanem a tönkrement ágyúk és harangok bronzát, ún. „materiás rezet” is beolvasztották, továbbá a formákból túlsorodult, kemence fenekén visszamaradt bronzdarabokat, illetve a cső és a gyújtólyuk fűrásánál nyert „furadékrezet” is felhasználták, amivel az öntartalom 8-9%-ra emelkedett. A témával foglalkozó szakirodalom általános vélekedése szerint ágyúöntés céljára legjobban a Cu=90%, Sn=10% tartalmú ötvözet felelt meg. Az olvasztótér töltésének módját és az olvasztási folyamat sorrendjét a lángkemence különös adottságai határozták meg. Amint a fém elkezdett összeolvadni, fennállt a veszélye annak, hogy a még szilárd fémadarabok lesüllyednek. Ez azzal járt, hogy sem a lángok, sem a hősugárzás nem érte el őket, s csak csekély esély maradt arra, hogy az ilyen darabok elérjék az olvadási hőfokot. Ennek megelőzésére az olvasztani kívánt anyagot kissé megemelték, s előbb csak enyhébb erejű tüzet raktak, melynek hőfokát fokozatosan emelték. Így a kemence alja már teljesen átforrósodott, mire elárasztották az olvadt fémmel. A töltés során először az igazán nagy fémadarabokat tették be, s ezeket a töltőnyíláshoz közel tartották. Az ilyen darabok régebbi, kiselejtezett ágyúk és egyéb öntvények lehettek. Ha tiszta rezet is adtak az anyaghoz, akkor azt a lángok közvetlen közelébe tették, ahol legmagasabb volt a hőmérséklet. A fémfürdőt időről időre hosszú, száraz fenyő rudakkal kavarták meg.



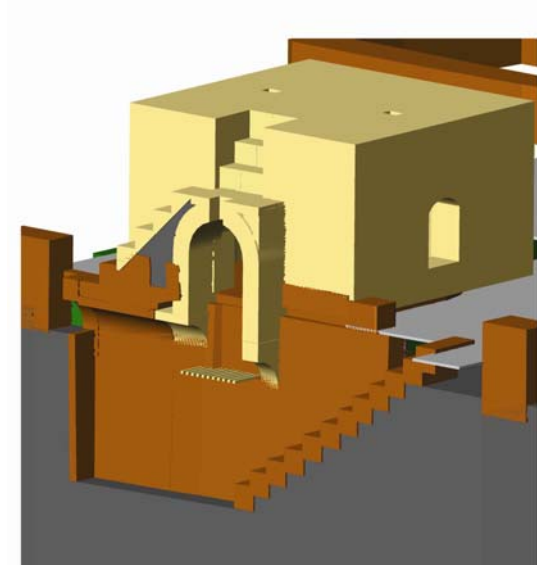
6. ábra: A kemence tűzterébe vezető lépcsősor (fotó: Váradi László)

Fig. 6.: Stairs leading to the fireplace of the furnace (photo: László Váradi)

A fa erre a célra nagyszerűen megfelelt: az elszeneződés során kiváló gázok megnövelték a kevergetés hatását. Mintegy 14-16 órányi olvasztás után, a téglák és kődarabok – melyek segítségével a fémdarabokat megemelték, hogy ne érintkezzenek a kemence aljával – valamint az egyéb szennyező anyagok már a megolvadt bronz felszínére emelkedtek. A salakot és szennyeződésekot kotrószerszámmal távolították el, mely súlyos, keményfa lapból állt.

Ehhez előszeretettel használtak bükköt vagy tölgyet. Az első tisztogatás után a fémfürdőt fél órán át nyugodni hagyták, hogy a hőmérséklet újra visszaálljon a megfelelő szintre, mivel az ajtók kinyitása miatt a hőmérséklet lecsökkent.

A fémolvasztás folyamata akár 20 órát is igénybe vehetett. A tüzelés időtartamáról több említés is maradt a sárospataki forrásokban: „a 12 lövészerszámot tegnap estve önté meg az ágyúöntő... tegnapelőtt 9 órakor gyújtotta vala be az kemencét, attól fogva estvéig majd 8 óráig mind égette.” Az öntés előtt 2-3 órával a fával táplált tüzet egy erősebb faszéntüzzel váltották fel. Lényeges volt pontosan meghatározni azt a pillanatot, amikor a fémfürdő készen áll az öntésre.



7. ábra: A sárospataki lángkemence rekonstrukciós modellje (Rác Miklós)

Fig. 7.: The reconstructional model of the furnace of Sárospatak. (Miklós Rác)

A korabeli szakírók több ilyen szempontot is említettek: egyes vélemények szerint a fenyőből készült lefelőlöző rudaknak úgy kell úszkálniuk a fémfürdő tetején, hogy ne okozzanak bugyborékolást az olvadátkban, a rudakról leváló faszédaraboknak fel kell jönniük a fémfürdő felszínére és nem volt szabad, hogy bronz tapadjon hozzájuk. A fém felszínének olyanak kell látszania, mintha egy elágazó repedésekkel tarkított takaró borítaná, vagy egy filmrétegnek kell képződnie, mely a hamarosan bekövetkező oxidációra utal. Mások szerint a fémfürdő felett zöldes fehér gőznek kell jelentkeznie.

Akárhogyan is volt, valószínűleg az egyik műhelytitok talán éppen abban rejlett, hogy az öntőmester képes volt megítélni a helyes pillanatot az öntésre úgy, hogy egyszerűen belepillantott a kemencébe.

A lángkemence működési elvének áttekintése után foglaljuk össze röviden, hogy a sárospataki ágyúöntő műhely kutatása során milyen azonosítható és értelmezhető részletei láttak napvilágot az olvasztó-kemencének.

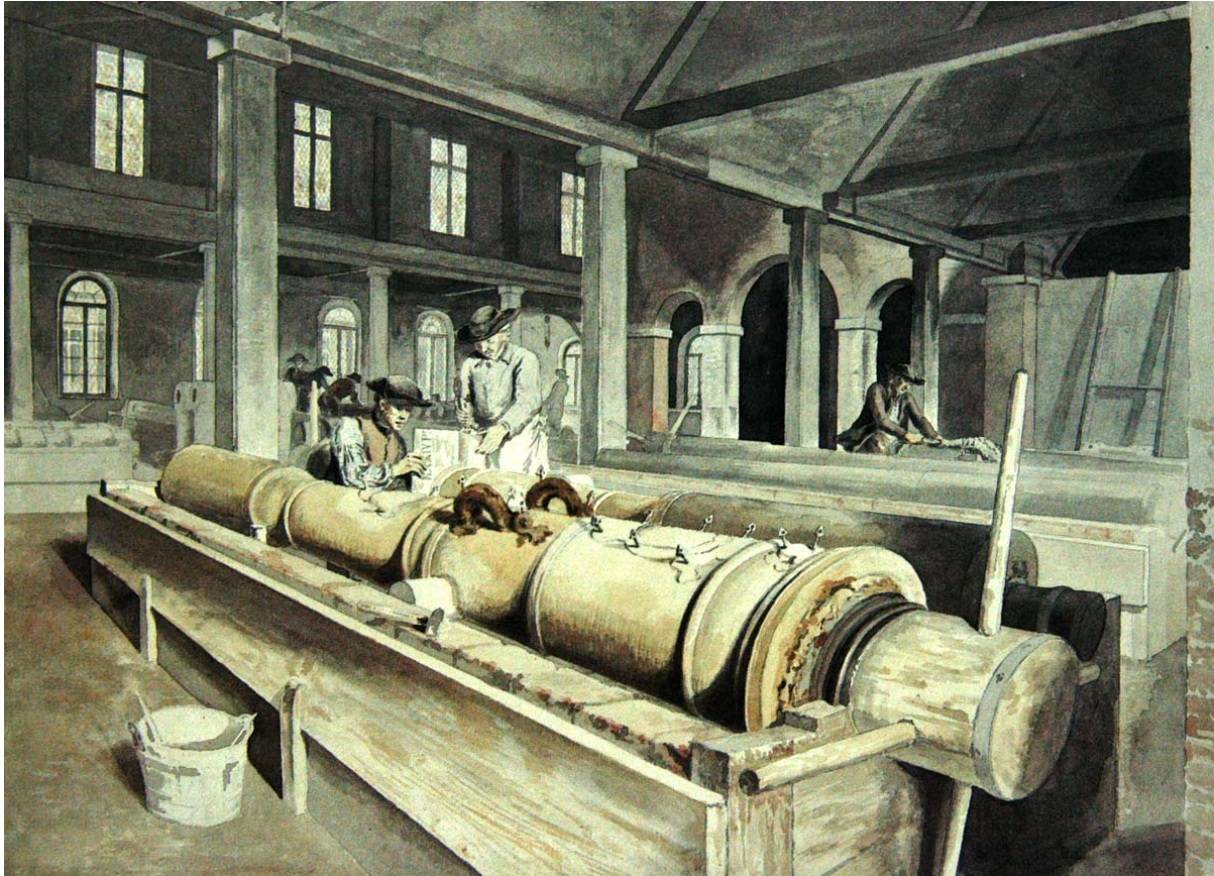
A feltárás napvilágra hozott egy összesen 11 db, 110 cm széles téglalépcső fokból álló lejáratot, amely egy 400 cm hosszú, 350 cm belmagasságú folyosóban folytatódik (**6. ábra**). A folyosó utolsó szakaszán annak téglaboltozata is épen megmaradt. A folyosó végén, közvetlenül a boltozat alatt egy kisebb, ovális nyílást bontottunk ki, ez esetleg kémlelőnyílásként szolgálhatott a tüztérben zajló égési folyamat kontrollálása végett. A lépcsős lejáró és a tüzelőtér folyosójának köpenyfala zömmel ugyancsak téglából készült. A tüzelőtér folyosójának boltozott szakasza felett, azzal alaprajzilag egy vonalban egy másik téglalépcső indítás került elő. Az itt lévő néhány lépcsőfok vezethetett fel a tüzelőtér fe-

lett kialakított nyíláshoz, ahonnan a kemence begyújtása után a tűz folyamatos, ölfákkal történő táplálása megoldható volt, mint ahogyan az a Saint-Remy-féle illusztráción is megfigyelhető. A tüzelő-térbe vezető lépcsős lejárát és a folyosó mellett, ezek északi oldalán egy 5x5 m-es, 25 m² alapterületű, törtkövekből épített tömb látott napvilágot, délnyugati és délkeleti sarkain téglából rakott, íves felépítmény, az olvasztótér maradványával. Ez utóbbi erősen sérült északi oldalán pedig, a nagyjából 300x350 cm-es, téglalap alakú kifalazott, s az olvasztótér szintjétől számítva 400 cm mély öntőakna került napvilágra. A felsorolt elemek alaprajzilag összefüggő, együttes megléte alapján azonosítható a korban bronzolvasztásra általánosan elterjedt kemencetípus, a lángkemence. A sárospataki lángkemence rekonstrukciós modelljén vörösbarna színnel láthatóak azok a részletek, melyeket a régészeti feltárás napvilágra hozott, sárga színnel pedig azok a kiegészítések, amelyek a jól alkalmazható rajzi analógiák és fentebb összegzett technológiai leírások, továbbá az olvasztó berendezés típusajátosságaiából fakadóan nagy biztonsággal meghatározhatóak voltak (7. ábra).

A bronzolvasztást meg kellett előznie egy nem kevésbé bonyolult és fáradságos munkának: a mintázásnak és a formázásnak. Ezek folyamatainak tanulmányozásánál a bőség zavarával küzdünk. A témában leggyakrabban idézett szerző Vanoccio Biringuccio, aki *Pirotechnia* című munkájában összefoglalja kora fémtani és fémmegmunkálási ismereteit. Könyve 1540-ben jelent meg nyomtatásban, s rendkívül világosan, már-már kézikönyvszerűen tárgyalja több más mellett a bronzágyúöntését, nagy figyelmet szentelve az öntőforma elkészítésének. Fontos hangsúlyozni, hogy míg az öntéstechnika a kora újkor időszakában a lángkemencék megjelenésével jelentősen módosult, addig a formakészítés változatlan maradt. Így tehát az ágyúöntő forma készítésének egyik legkorábbi, 1500 körüli ábrázolása, mely Leonardo da Vinci Codex Atlanticus-ából való, tökéletesen összecseng a már említett, 17-18. századi traktátusokban fellelhető illusztrációkkal, vagy a közismert, Francia Enciklopédia ágyúöntéssel foglalkozó fejezetében szereplő ábrákkal. (Az ágyúöntéssel foglalkozó fejezet reprint kiadása: *Fabrication des Canons*. Bibliothèque de L'Image. 2002.) A formakészítés Biringuccio által leírt lépései legszemléletesebben egy olyan, összesen 50 darabból álló színes akvarell-sorozaton követhetőek nyomon, melyek a London melletti Woolwichban lévő, III. György-kori angol királyi ágyúöntő műhelyben zajló munkát örökíti meg. A magángyűjteményben fennmaradó akvarell-sorozat készítője ráadásul nem volt más, mint az egyik ott dolgozó öntőmester, a németalföldi Jan

Verbruggen. (Jackson-Beer 1973. valamint Beer 1991.)

A fentiek alapján tekintsük át röviden a minta és a formakészítés legfontosabb mozzanatait. Az öntőaknába helyezett negatív öntőforma előkészítésének első lépése egy – a majdan öntvényként viszontlátni kívánt ágyúval minden tekintetben megegyező – öntőminta elkészítése volt. Ennek elkészítése során, első mozzanatként összezsavart rozsszalmából készült kötélből armatúrát helyeztek el egy elkeskenyedő végű fatengelyre, melyet előtte szappannal, vagy zsírral kentek be azért, hogy amikor arra sor került, könnyebben el tudják távolítani a későbbi formából. A tengely, melyet belőlesztett kereszt rudakkal forgattak, egy esztergakereten nyugodott. A keretet egy téglából rakott tüztér felé helyezték, mely később a kötélből készült armatúrára felrakott agyagrétegek szárítására szolgált. A mintázáshoz használt agyagot gondosan elő kellett készíteni. Ahhoz, hogy megfelelő szilárdságú keveréket állítsanak elő, mely képes megtartani a köréje épített öntőformát, ugyanakkor elég könnyen morzsolódik is, hogy szárítás után gond nélkül eltávolítható legyen az öntőformából, csomómentes, homogén, apró kavicsoktól és egyéb szennyeződésektől mentes agyagra volt szükség. A megfelelő sűrűségű állag elnyeréséhez a jól átmosott agyagot lótrágyával elegyített vízbe áztatták. Előfordult, hogy időnként a korábban használt öntőformák finomra őrölt darabjait is hozzáadták a keverékhez. Az agyag súlya nagyjából ugyanannyi volt, mint az egyéb adalékoké. Az adalékanyagok egy speciális típusát jelöli meg Biringuccio: „...az agyagot munkapadra tegyék, és nedvesítés által masszát készítsenek. Majd, mint a fazekas mesterek, egy vasrúddal jól dolgozzák meg, s az egész mennyiségnek kétharmadával egyenlő gyapjúnyesedéket is keverjenek belé...” Miután az armatúrára az agyagrétegek végleges alakot megközelítő formában már felkerültek, elvégezték a felesleg eltávolítását és elkészítették az ágyúcső végleges alakját. Ez a test folyamatos forgatása mellett, formázósablon segítségével történt. A cső formája készült el így, de még nem kapta meg díszítéseit, fogantyúit, címerét, feliratait. Ez a fázis azzal fejeződött be, hogy a formát egy réteg megolvasztott és még folyékony viasszal vonták be. Kihülése közben a viasz formálhatóvá vált, melyet a sablon segítségével alakítottak, simítottak. Ezt addig folytatták, míg minden domborulat és borda jól láthatóvá nem vált. A viasz nemcsak szép, sima felületet biztosított, hanem megakadályozta azt is, hogy az öntőminta beleragadjon az öntőformába. A beviaszozott öntőminta tehát készen állt arra, hogy felkerüljenek rá a különböző feliratok, díszítések. Ezeket a jól ismert viaszveszejtési eljárással készítették.



8. ábra: Ágyúöntőforma készítése (Carel de Beer: The Art of Gunfounding)

Fig. 8.: Making of a gun-founding mould. (Carel de Beer: The Art of Gunfounding)



9. ábra: Öntőformák leengedése az aknába (Musly, David Emmenule: Traité d' Artillerie.

Fig. 9.: The letting down of moulds into the shaft. (Musly, David Emmenule: Traité d'Artillerie.)

Ennek során a díszítő elemek viasz öntőmintája úgy készült, hogy egy jól kiszírozott öntőformába forró viaszt öntöttek. Miután a viasz egy rétege megszilárdult, a fennmaradó folyékony viaszmaradékot kiöntötték a formából. Ezt a két lépést addig ismételték, amíg megfelelő mennyiségű szilárd viasz rakódott le. A két részből álló öntőformát ekkor felnyitották, a viaszmintát kivették és az öntőforma darabjaival együtt hideg vízbe mártva lehűtötték. A viaszmintákat az ágyúcső öntőformájára vaspálcákkal rögzítették, melyeket beszúrtak a fatengelybe. Nagy műgondot igényelt a csőcsapok mintáinak pontos elhelyezése. A csőcsapok tengelyeinek egy vonalban kellett lenniük, különben lehetetlen lett volna az ágyúcsövet felemelni és úgy fordítani, hogy az elérje az irányzáshoz kívánt magasságot. Másodszor, a csőcsap-tengelynek és a furat tengelyének egymásra merőlegesnek kellett lenniük, különben a csőemelkedéssel járó változás oldalirányú félrehordást eredményezett volna. A csőcsapok alaposan befagyózott, vagy beviaszozott öntőmintájának rögzítésével az ágyúcső öntőmintájának készítése befejeződött, s a darab készen állt, hogy megkezdjék az öntőforma készítését (8. ábra).

Az öntőforma első rétegének felhelyezése igen fontos művelet volt. A felhordott réteg bármely tökéletlensége meglátszott a kész ágyú felszínén, különösen akkor, ha a díszítés anyagának állaga törékeny, porhanyós lett. Következésképpen az első rétegnek elég lágynak kellett lennie ahhoz, hogy a forma legapróbb vájatait is meg tudja tölteni. Ezért ecsettel felvihető állagú, hígított márgát, finomra őrölt, porított hóálló agyag és homok vízzel elegyített keverékét használták. Előfordult, hogy gyapjúnyesedéket, vagy kártolt tehénszőrt is adtak a keverékhez, más szerzők viszont egyáltalán nem kívántak szerves anyagot keverni az öntőforma agyagjához. Az első réteget nagy gonddal, ecsettel vitték fel és megvárták, amíg teljesen megszárad, mielőtt a következő réteget felvitték volna. Az első rétegek szárítása pusztán a levegő által történt, hiszen a tűz melege megolvastotta volna a minta viaszozását. Addig haladtak így, míg az öntőforma elérte végső vastagságának mintegy harmadát. Az első rétegek felhordása után bizonyos mesterek átgerenezett kendert tekertek az öntőformára annak megerősítése céljából. A kenderrel való körbetekerés végzetével már öt-hat – közönséges mintázó agyagból készült – réteg is felkerült a mintára, s ezt faszén tűz fölött szárították ki. Ezt követően a rögzítő tuskéket óvatosan eltávolították a fogantyúkból és díszítésekből. Miután az utolsó agyagréteget is megszári-

tották a tűzön, az öntőformát meg kellett erősíteni, hogy kibírja az öntőminta eltávolítását és az öntéshez szükséges előkészítő munkálatokat. Emellett el kellett viselnie a megolvadt fém által kifejtett nagy nyomást, mely az öntéskor nehezedett rá. Mindezek miatt az öntőformát vaspántokkal, abroncsokkal erősítették meg. A vasalás végétével az öntőforma készen állt arra, hogy az esztergakeretről levegyék, a mintát pedig kivegyék belőle. Az öntőmintának a formából való eltávolítása ugyanabban a sorrendben történt, mint ahogyan felépítették. Vagyis először a tengelyt, majd a kötéltekercekből készült armatúrát, végül az agyagrétegeket távolították el. A fogantyúk és egyéb díszítmények viaszmintáit kiolvasztották, az öntőformán ott maradt a negatív lenyomatuk. A minta kiszedése után az öntőforma belseje itt-ott bizonyos apróbb hibákat viselt magán, melyet javítani kellett. Az öntőminta darabjaitól teljesen megtisztított öntőformában gyakran tüzet raktak. Ennek kettős célja volt: egyrészt a forma belseje a hő hatására egészen megkeményedett, a fogantyúk és díszítések viaszmintái teljesen kiolvadtak. Az égetést addig kellett folytatni, amíg az öntőforma belseje halványpirosas, csaknem fehér színben kezdett játszani. Az agyag ezen a ponton majdnem üveggé válik, ezt az állapotot azonban mindenképpen kerülni kellett. Az öntőforma elkészítésének egyik utolsó mozzanataként a forma belsejét vékony szénréteggel vonták be, s ezzel mintegy szigetelték a porózus felületet azért, hogy a megolvadt fém ne ragadjon az öntőforma falához. Ezt követően a forma közepére az ágyúcső ürméretének megfelelő átmérőjű vasat, ún. bélvasat helyeztek. Miután a formázás befejeződött, elérkezett a munkafolyamat kritikus fontosságú része, a formák öntőaknába való leengedése. Biringuccio így ír erről: „Ha ágyú öntőformájáról van szó, melyről már sokszor elmondatott, hogy sok oka van miért álló pozícióba helyezve kell önteni, akkor az öntőgödört, vagy kutat, hívhatják tetszés szerint, az olvasztó kemence elé kell ásni. Legyen olyan mély, mint amilyen hosszú az öntőforma, sőt még annyi mélyebb, hogy mikor az öntőforma pontosan a helyére kerül, akkor a kemence csapoló nyílásától egy kis lejtőnek is legyen helye, hogy a bronz könnyen folyhasson.”

Az aknába leengedett öntőformák környezetét, hogy azok ne tudjanak elmozdulni, földdel feltöltötték. A földrétegeket bizonyos időközönként nehéz bronz vagy vas súlyokkal döngölték, hogy elérjék a megfelelő keménységet.



10. ábra: A feltárás során előkerült öntőformák töredékei (fotó: Váradi László, rajz: Magyar Virág)

Fig. 10.: The fractions of moulds found at the excavation of the cannon foundry (photo: László Váradi, drawing: Virág Magyar)

Amint a fémfürdő készen állt az öntésre, a csapoló nyílás vasdugóját beütötték, az olvadt bronz massa a formák fölött kialakított vályogcsatornákon át az öntőformákba áramlott. A bronzágyúk készítése során az öntés volt a legkritikusabb, egyben a leglátványosabb mozzanat is. Évszázadok tapasztalata, évekig tartó tanulás, többhónapnyi tervezés, hetek kemény munkája sűrűsödött bele az előkészületekbe. Az öntőformák percekben belül megteltek, s az öntvények minősége megváltoztathatatlanul eldőlt. Az öntvényeket általában 24 óráig hűlni hagyták, majd megkezdődött azok kiásása. A kiemelt öntvényt kibontották formájából, torkolatáról lefűrészték a túlfolyóban összegyűlt bronzot, majd felületéről az egyenetlenségeket letisztogatták és eltávolították belőle a bélvasat. Az egyik legnehezebb munka, amennyire a sárospataki ágyúöntésekről fennmaradt levelekből megítélhetjük, a gyújtólyuk és a cső járatának pontos ürméretre való kifűrésze volt. A tisztítás és a fűrés után próbának vetették alá az új ágyúkat, ez egyben előfeltétele is volt annak, hogy az öntömesternek kifizessék a járandóságát. A sikeres próbálövés után már csak az ágyú felszerelése volt hátra, amit már nem az ágyúöntő mester, hanem ácsok, kovácsok és kerékgyártók végeztek. Ágyat, lafettát készítettek az ágyúnak, ezt vasalókkal megerősítették, majd kerekre helyezték.

Mivel a sárospataki ágyúöntő műhely jellegéből fakadóan a nagyobb sorozatok, szériák gyártására

rendezkedett be, feltárása régészeti szempontból egy igen intenzív ipari környezetet jelentett. Munkánk során a fentebb felvázolt ágyúöntési technológiai sorozat valamennyi mozzanatának tárgyiasult emlékei napvilágra kerültek. A műhelyépület csaknem teljesen feltárt keleti külső oldalánál került elő számottevő mennyiségű ipari hulladék, mely főképpen öntőminták és –formák különböző méretű töredékeit, s az azok egyik jellegzetes alapanyagául szolgáló, fehér színű, zsíros tapintású, magas kaolintartalmú nyers agyagtömbjeit is tartalmazta. A formatöredékek némelyikén az öntvényen lévő feliratokra, díszítésekre vonatkozóan is információkat nyerhetünk (10. ábra). Előkerültek továbbá – zömmel az öntőaknát és a kemence tűzterébe vezető lépcsős lejárót kitöltő omladékban – az olvasztótérhez köthető, helyenként üvegesen átégett, megfolyt téglák töredékei. Ugyanígy olvasztásra szánt réz, ón és ólomtömbök, a kemence fenekén visszamaradt, alakjában a téglák közeit felvevő bronzmaradványok, a fémfürdő felszínéről eltávolított, utóbb kidobott salakok, különböző előötvözetek, de néhány töredék formájában maguk a műhelyben készült – vélhetően hibás öntvénynek számító – ágyúcsövek maradványai is! Az előkerült fa és faszéminták között kimutathatóak a fémfürdő kavargatására szolgáló fenyő rudak bronzszemcsékkel tarkított töredékei, s a tüzelőanyagként használt bükkfa szenült maradványai.



11. ábra: Válogatás a műhely szerszámleleteiből (fotó: Váradi László)

Fig. 11.: Selection from the tool-founds of the foundry. (photo: László Váradi)

A fent felsorolt leletcsoportok természet-tudományos vizsgálata, az eredmények archeometriai értelmezése hozzásegíthet bennünket a korabeli öntési technológia helyi vonatkozásainak megismeréséhez, továbbá az alkalmazott nyersanyagok eredetének meghatározásához. A feltárás során előkerült fém leleteknek egy markáns csoportja minden kétséget kizáróan köthető az egykoron ott zajló tevékenységhez. A műhely felszerelését alkotó szerszámkészlet egyes darabjai (balta, csákány, kétágú, lapát, stb.) mellett napvilágra kerültek az öntőformák összefogására szolgáló vas-pántok, aroncsok is (**11. ábra**). A régészeti leletek tanúsága szerint a sárospataki várban nemcsak ágyúöntés zajlott, hanem komoly szertüzerési eszközgyártás is. A nagy mennyiségben előkerülő, sok esetben megtöltött állapotban lévő aprópuskák, a tüzes labda-vázak, különböző lövedékek, valamint az ágyúk lafettáinak vasalásai minden bizonnyal az öntőműhely szomszédságában lévő, forrásokból ugyancsak ismert, ám jelenleg még feltáratlan kovácsműhelyben készültek.

A fenti összefoglalásból látható, hogy komoly ismerettel rendelkezünk az ágyúöntő műhelyekben folyó munkákról. Az említett nagy számban előkerült technológiai lelet azonban lehetőséget ad arra is, hogy a sárospataki műhelyben folyó munkát pontosan megismerhessük technológiai oldalról, és nagy pontossággal rekonstruálhassuk az ott folyó metallurgiai és öntészeti munkát. Ennek a tevékenységünknek első lépésében a metallurgiai folyamatokhoz köthető fémes leletekből végeztünk mintavételes vizsgálatot, hogy lássuk, milyen információk nyerhetők a fent bemutatottakon felül. A

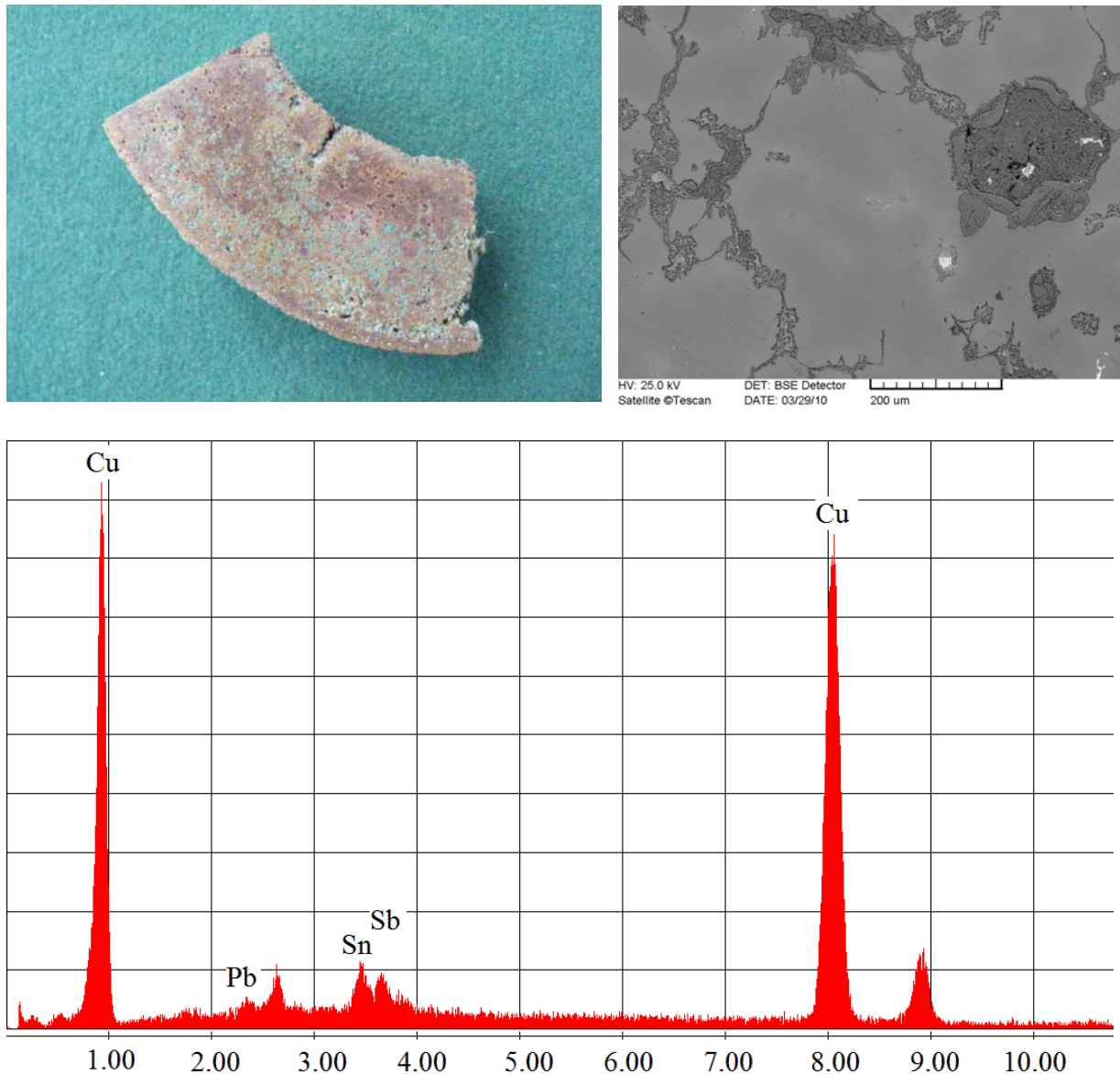
következőkben a kiválasztott leletek vizsgálati eredményeit mutatjuk be.

Vizsgált anyagok és vizsgálati módszerek

A sárospataki vár területén feltárt ágyúöntő műhely ágyúöntési technológiával kapcsolatos leleteit vizsgáltuk. Elemeztük a leletek átlagos összetételét, fázis összetételét, mikroszerkezetét. Fémes leletek közül ágyútöredékekkel, fémolvadék maradványokkal, nem fémes leletek közül salakmaradványokkal, tűzálló falazat elemekkel és öntőtégely maradványokkal foglalkoztunk. A mikroszerkezet vizsgálatokhoz a Miskolci Egyetem Anyagtudományi Intézetének LISA laboratóriumában található Zeiss AxioImager és Zeiss AxioVert 40 optikai mikroszkópokat használtunk. A nagyobb nagyítású felvételek készítéséhez és az összetétel elemzésekhez energia diszperzív mikroszkóppal felszerelt Amray 1840 pásztázó elektronmikroszkópot alkalmaztunk. A készülékeket a gyártó által előírt eszközökkel és módszerrel kalibráltuk.

Ágyútöredékek vizsgálata

Cikkünkben a válogatott minták vizsgálatával kapcsolatos eredményeket mutatjuk be. A vizsgálatok során két ágyúcső maradvány mikroszerkezetét tanulmányoztuk. Az egyikről azt az előzetes hipotézist ismertük, hogy az ágyúcső felrobbant, a másik leletről ilyen információnk nem volt. Az első ágyúcső minta felvételét és mikroszerkezetét a **12. ábra** mutatja. Az elemzések kimutatták, hogy a minta tömegszázalék egységekben 4.75% önt, 2.42% antimont és 0.74% ólmot tartalmaz. A jelentős antimon tartalom vélhetően az önthetőség miatt szerepel az ágyú alapanyagában.



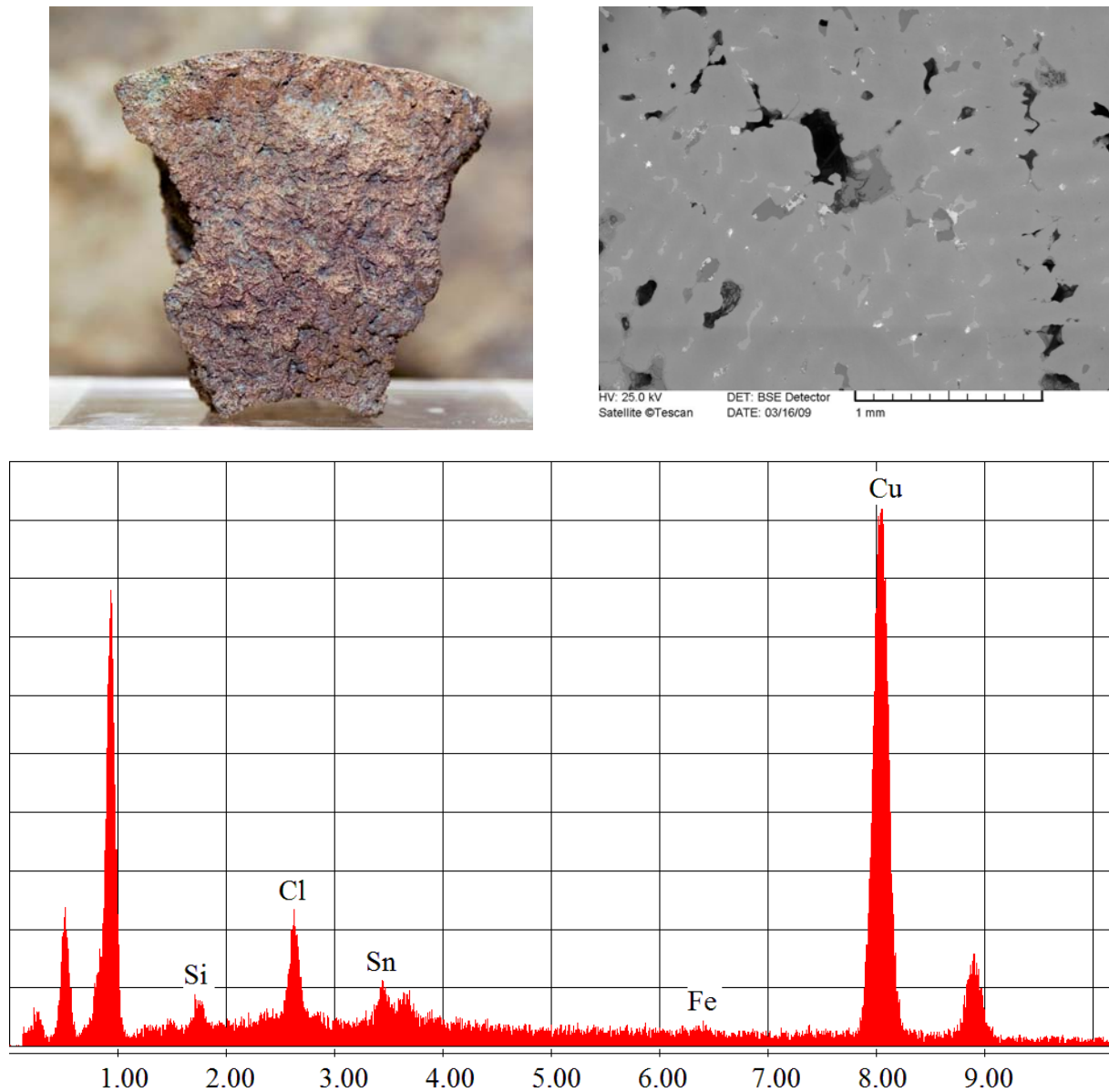
12. ábra. A vizsgált, valószínűleg felrobbant ágyú töredéke (a), mikroszkópi felvétel (b), az átlagos összetétel elemzés energia spektruma (c)

Fig. 12.: The examined part of the probably exploded cannon (a), a micrograph (b) and the energy spectrum of the EDX analysis (c)

A jelentős mennyiségű ólom azonban figyelmet érdemel. Kísérő ásványból a kohósításnál számottevő ólom nem került az ötvözetbe, valószínűleg az ötvözet készítés során adagolták az ágyú anyagába. Az ólom nem elegyedik a rézzel, különálló alacsony olvadáspontú fázist alkotva jelenik meg az ötvözet mikroszerkezetében (12b ábra világos foltok). Az ágyú elsütésekor ezek a fázisok megolvadnak, így gyengítve az ágyú mechanikai szerkezetét, szélső esetben az ágyú felrobbanásához vezetve. Korabeli gazdasági viszonyokat rekonstruálva is-

meretes, hogy az ón ára emelkedett az ágyúöntő műhely működése során, valószínűleg költségesökentés végett került az ólom az ágyúba, ami az ágyú tönkremeneteléhez vezetett.

A másik ágyúcső töredék (13. ábra) egy az előzőtől különböző ágyú maradványa, hiszen az összetétele eléggé eltér az előző maradvány összetételétől ahhoz, hogy ne származhasson egy öntési – ötvözési adagból (közel 1% az eltérés az ón és az antimon tartalomban).



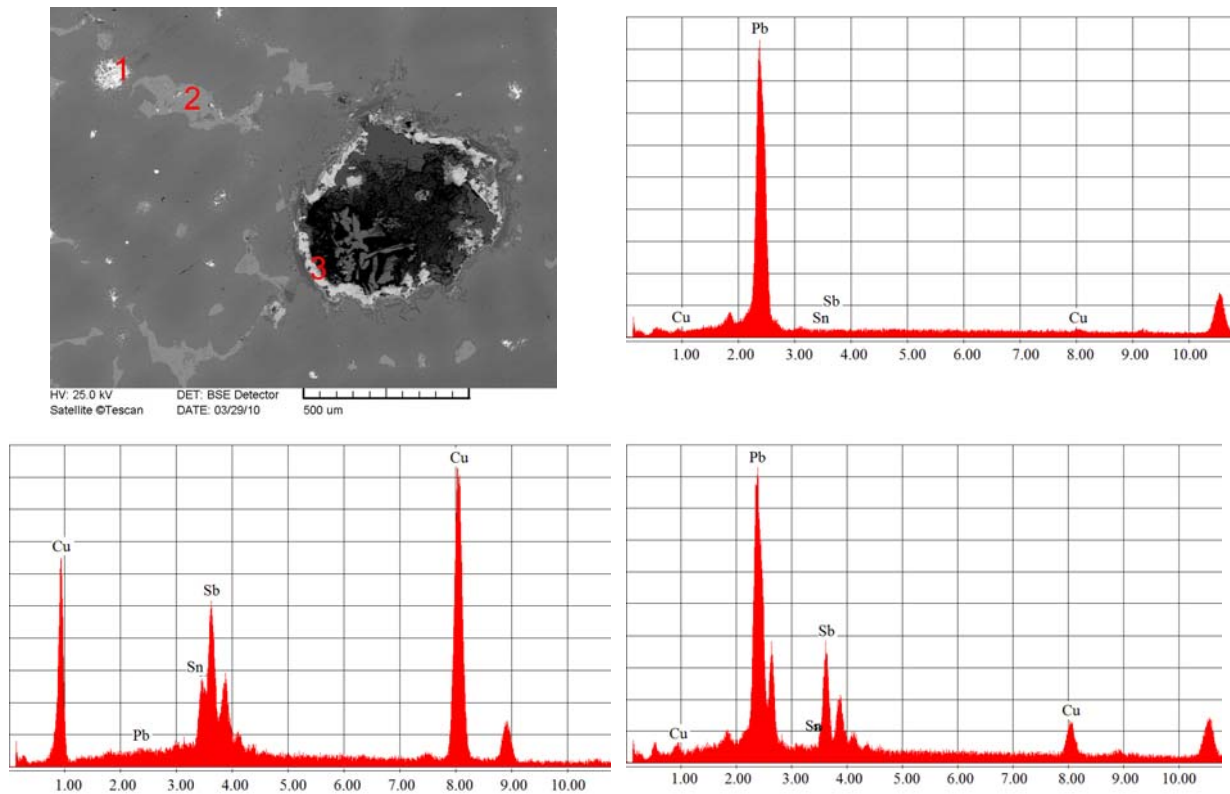
13. ábra. A második ágyú töredék fotója (a), a töredék mikroszerkezete (b), az átlagos összetétel elemzésének energia spektruma (c)

Fig. 13.: The part of the second examined cannon (a), the microstructure of this part (b) and the energy spectrum of the EDX analysis (c)

Ennek az ágyúnak az alapanyaga ugyancsak tömegszázalékos egységekben 5.73% ónt és 3.97% antimont tartalmaz a réz mellett. Összevetve a két ágyúcső összetételét megállapíthatjuk, hogy ha külön adagból származnak, akkor nincs nagy eltérés a két lelet összetétele között, főleg úgy, ha összeadjuk az előző lelet ón és ólom tartalmát. Ebből arra következtethetünk, hogy vagy helyben történt az ötvözetgyártás, vagy egy gyártótól vásárolták folyamatosan az alapanyagot. Az ötvözet gyártás ne-

hézségeit tekintve, a korabeli mérési lehetőségeket figyelembe véve nagyon fejlett ötvözet készítményt, metallurgiai szaktudást feltételez.

Az ágyú mikroszerkezetét tekintve (**13b ábra**) jól kivehető az öntött szerkezet, ahol ón- és antimon-dúsulás miatt kialakuló fázisok (világos területek) láthatóak a dendritágak között. Ez a jelenség a viszonylag nagy (jelenlegi technológiai adatoknak megfelelő) lehülési sebességnek tudható be.



14. ábra. A 13. ábrán bemutatott ágyúcső maradvány nagyobb nagyítású felvétele (a) és lokális összetétel elemzések energiaspektrumai (b-d).

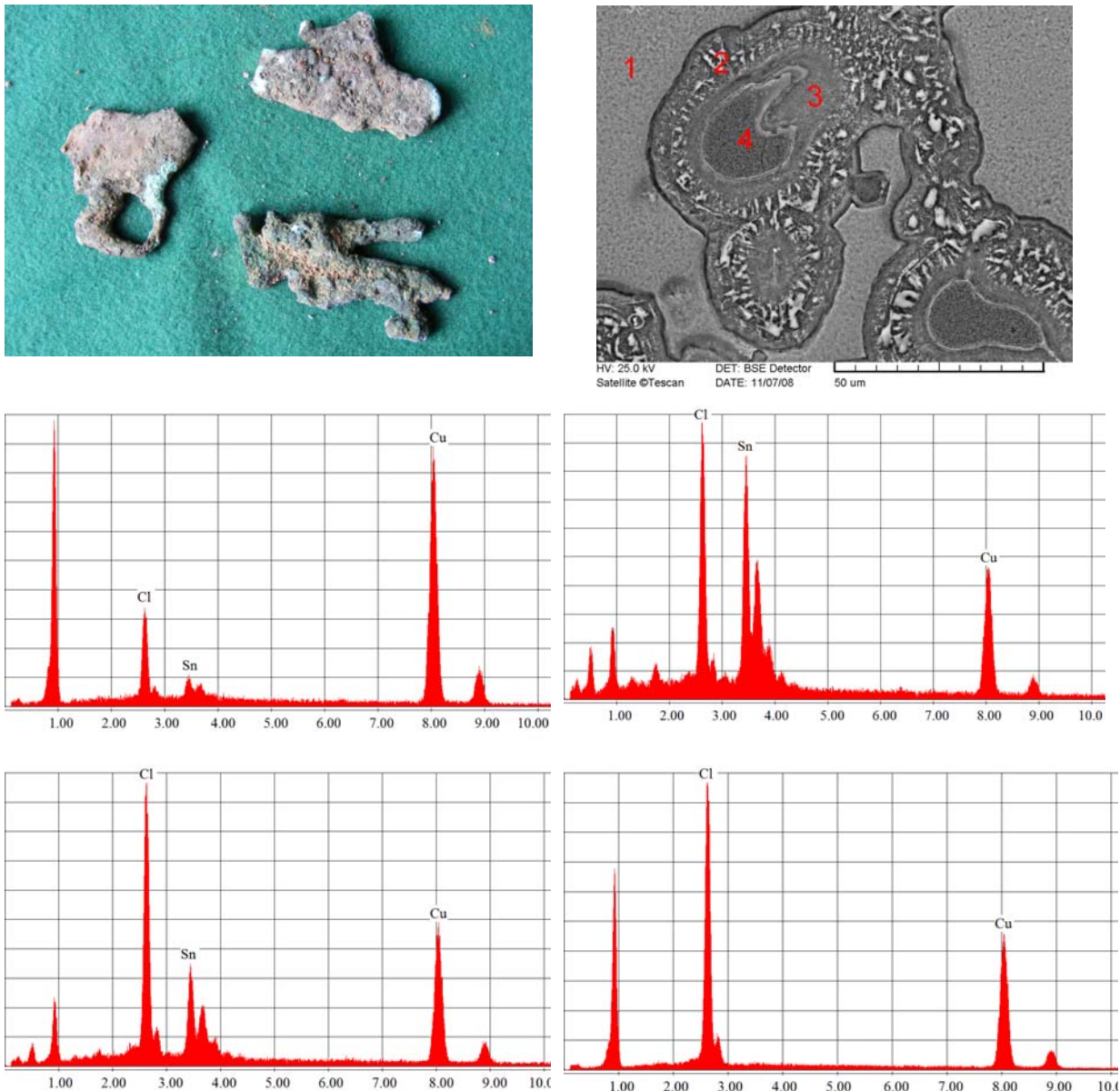
Fig.14. The microstructure of the cannon part introduced in Fig. 13. in higher magnification (a) and the energy spectrums of the local EDX analysis (b-d)

Erősebb nagyításban vizsgálva az ágyútöredéket (14. ábra) jobban láthatjuk, hogy a dendritágak között valóban az ón és az antimon dúsul. Ötvözetek gyors hűlésekor a kialakuló koncentrációk akár jelentős mértékben is eltérhetnek az egyensúlyi viszonyoktól (Verő-Káldor 1996). Ennek oka, hogy a diffúzió véges sebességgel megy végbe, és a gyors hűlés miatt nincs idő, hogy kiegyenlítse a szilárd fázisban a koncentráció különbségeket (Verhoeven 1975). Emiatt a dendritágak között található, a kristályosodás végén megszilárduló olvadék ötvözőben feldúsul, akár olyan mértékben, hogy vegyületfázisok jelennek meg (ASM International 2004). (14c ábra). Bár az átlagos összetétel elemzés nem mutatta ki, de ebben az ágyúcső anyagában is megtalálható az ólom (14b ábra.) ugyanolyan kis gömbszerű fázisban. A mennyisége azonban olyan alacsony, hogy az átlagos elemzésnél a kimutatható mennyiség határa alatt van. Ennek köszönhetően nem okozhatott zavart az ólom jelenléte ennek az ágyúnak a működése során. A 14a ábrán látható egy pórus, aminek a szélén ugyancsak feldúsult az

ólom (14d ábra). A pórus felületén megolvadó ólom nem gyengíti az ágyút, így az ezen a módon feldúsult ólom nem okoz problémát az ágyú működése közben.

Fémolvadék és salakmaradványok

Az öntési technológia során természetes, hogy fémolvadék cseppek képződnek, amikor a nagy hőmérsékletű olvadékot az olvasztótégelyből a formába öntjük. A korabeli technika nem teszi lehetővé a fémolvadék oxigéntől való tartós vagy teljes elzárását, ezért az oxidáció mindenképpen salakot képez, amit öntés előtt legalább megtörnek, de inkább eltávolítanak az olvadék felszínéről. (ASM International 1990, Casting gyűjteménye.) Az olvadék folyamatosan hűl az öntés közben, ami tapadványokat hoz létre az öntőtégely falán, alján. Ezek a leletek a történeti rekonstrukció számára nem olyan jelentősek, mint az ágyúmaradványok, de az ágyúöntés technológiájának leírásában nagyon sok értékes információt hordoznak.



15. ábra. Fémolvadék csepp és fröccsenés maradványok (a), ezek tipikus mikroszerkezete (b), a jelölt pontok lokális elemzéseinek energiaspektrumai (c-f).

Fig. 15.: Metal drop and splotch remains (a), a typical microstructure of the remains (b), and the energy spectrums of the local EDX analysis (c-f)

A vizsgálatuk így legalább akkora figyelmet kap műszaki szempontból, mint az ágyú töredékek vizsgálata. A korabeli metallurgiai eljárások, ötvöztetési műveletek és öntéstechnológiai eljárások árulkodó jeleit lelhetjük fel ezeknek a leleteknek a részletes vizsgálatából. Természetesen a vizsgálati eredményeket ki kell egészítse egy elméleti metallurgiai elemzés és rekonstrukciós munka, hogy teljes egészében kirajzolódjon előttünk a korabeli metallurgiai tevékenység. Az alábbiakban a

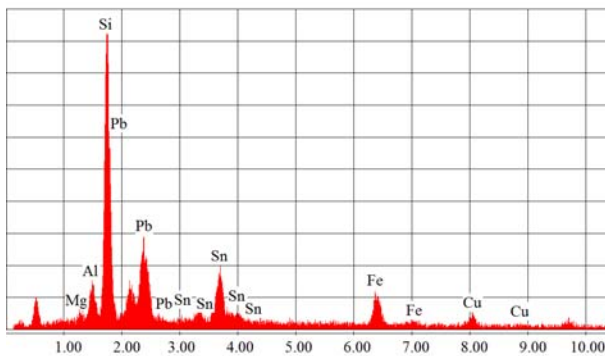
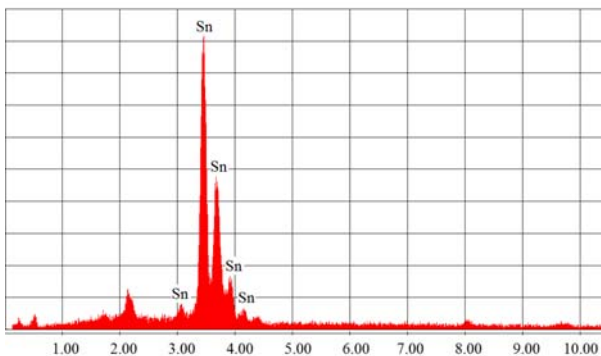
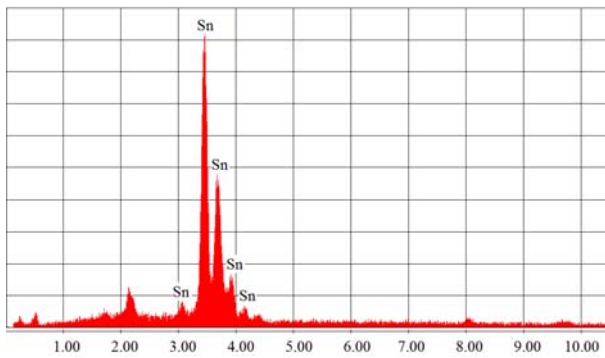
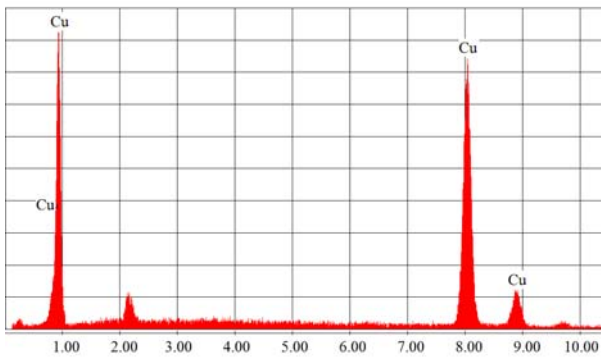
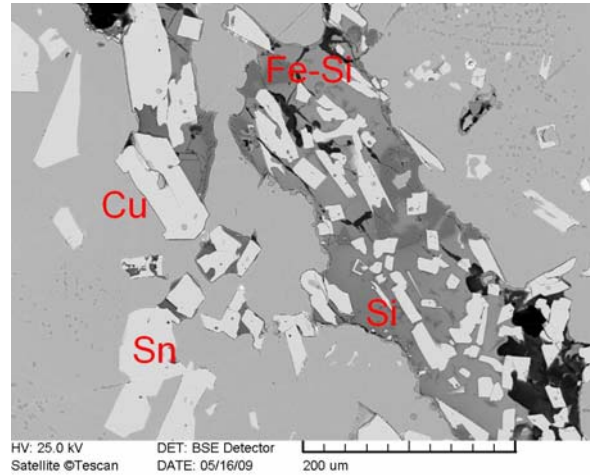
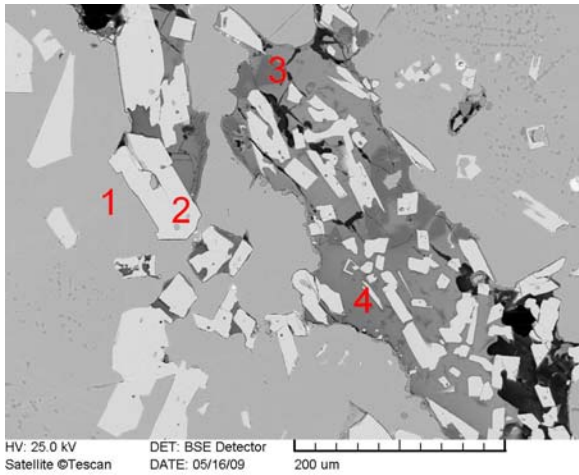
leletek eddigi vizsgálatának eredményeibe adunk bepillantást a következő ábrákon keresztül.

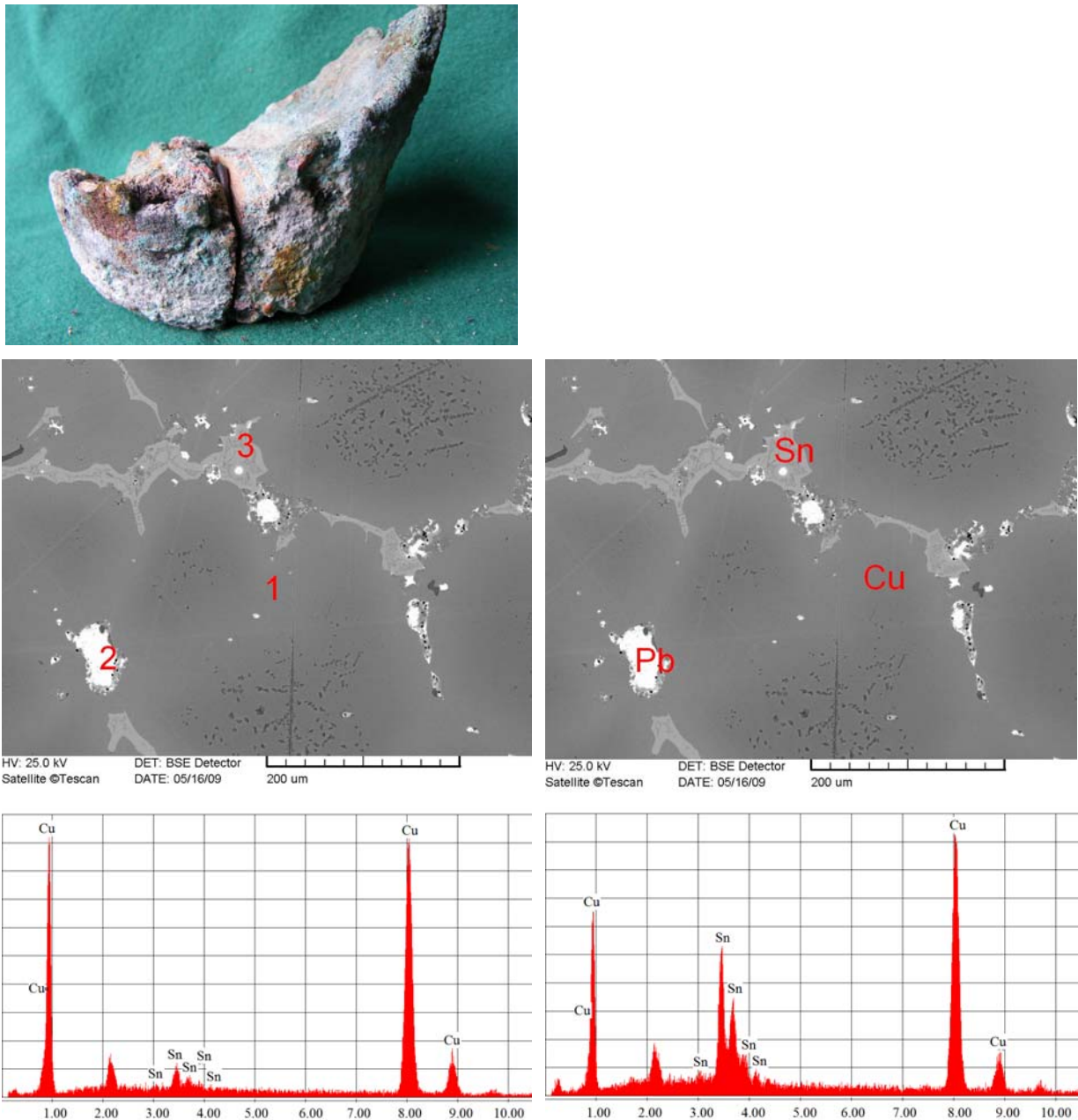
A fémolvadék maradványok cseppek és fröccsenések formájában maradtak meg a lelőhelyen. Az átlagos összetételüket tekintve az ágyúk anyagával egyező ötvözetet találunk. Jelenlegi elemzéseinkből látjuk, hogy részletes nagyszámú vizsgálatuk alapján a metallurgiai folyamatok fejlettségéről adnak majd tájékoztatást.



16. ábra. Salakos fémolvadék maradvány (a), A mikroszerkezetéről készült felvételek (b,c) és a lokális elemzéseinek energiaspektrumai (d-g).

Fig. 16.: A metal drop remain with slag (a), the micro-structure of the drop (b,c), and the energy spectrums of the local EDX analysis (d-g)





17. ábra. Az öntőtégelyben maradt fémcsepp (a) mikroszerkezete (b, c) és a 2 illetve 3 számmal jelölt pontok lokális elemzésének energia spektrumai (d, e)

Fig. 17.: Metal remains in the casting jar (a), the microstructure of this metal (b,c), the energy spectrums of the local EDX analysis of the points signed 2 (c) and 3 (d)

A mikroszerkezetben látható érdekes szöveti elemekről bebizonyosodott, hogy kloridos só kiválásával állunk szembe, nem az ötvözet szerkezetével. Ebből látható, hogy a felület elemzése téves eredményeket adhat, mindenképpen szükséges a leletek mintavételezéses belső részeinek elemzése.

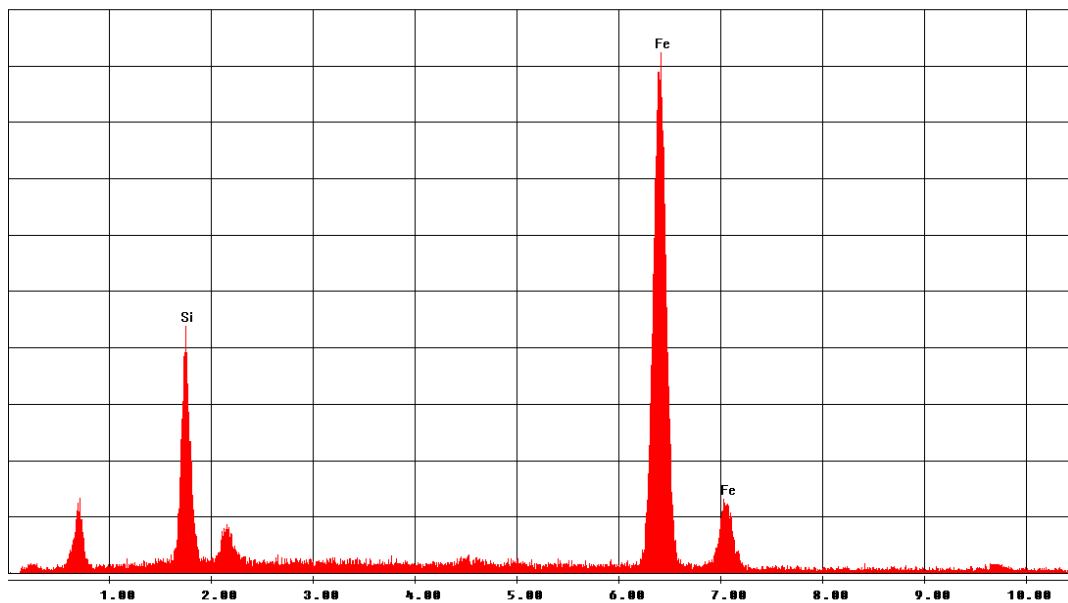
A **16. ábrán** látható mintát salakmaradványnak véltük a leletek kategorizálása során. A mikroszerkezet vizsgálatakor a jelentős vas és szilícium tartalmú

(**16c ábra**) területeken valószínűleg a falazat vagy az olvasztótégely anyagának maradványait láthatjuk. Érdekes eredmény, hogy az alapanyag réz alig tartalmaz ötvöző elemet és az ón külön fázisban foglal helyet. A réz nagy mennyiségű önt képes oldani. (ASM International 1990 Alloy Phase Diagrams gyűjteményben látható az ón – réz egyensúlyi fázisdiagram (769. o). A szerzők 520°C-on 15,8 tömeg% oldott önt jelölnek meg az ötvözetrendszerben).



D:\2009\RINGER\1\200905\1\GSZELV\1\G5-1.spc

Label A: G szelvény 5s minta szurke fem



18. ábra. Vas-szilícium ötvözet darab (a) mikroszerkezete (b) és átlagos összetételének elemzése (c).

Fig. 18.: Iron-silicon alloy piece (a), the microstructure (b) and the EDX spectrum of the average composition (c) of this piece.

Az ón olvadáspontja jóval kisebb, mint a réz olvadáspontja, így a bronz készítésénél a réz gyorsan magába oldja a hozzáadagolt ónt. Ezt a két hatást figyelembe véve magában az ötvözetben ilyen szerkezetet nem láthatunk, így az ötvözetkészítés jelére bukkantunk ebben az érdekes szerkezetben.

A leletek között találtunk egy öntőtégely maradványt, amiben megszilárdult olvadék maradt. A vizsgálat során elsősorban a megszilárdult olvadék vizsgálatára koncentráltunk (17. ábra). Mind az összetétel, mind a mikroszerkezet vizsgálatok hasonló eredményeket kaptunk, mint a felrobban ágyú töredékének vizsgálatok (12. ábra). Megtaláljuk

az ón dúsulását a dendritágak határán, és apró gömbszerű fázisban találjuk az ólmot. Jól megfigyelhető, hogy leginkább az ón dúsulás környezetében helyezkedik el az ólom. Ennek két oka van. Az egyik: alacsony olvadáspontja miatt az utoljára megszilárduló szövetelemben foglal helyet. Az ólom egyáltalán nem oldódik a rézben, amíg az ón és az ólom jelentékeny mennyiséget képes oldani egymásból szilárd állapotban is.

A 18. ábrán bemutatott lelet első csoportosítás során az ötvöző – előötvözet csoportba került, de az összetétel elemzés kimutatta, hogy vas-szilícium ötvözet. Az alakján is látható, hogy részlegesen

vagy egészében megolvasztották, majd megszilárdulva nyerte a végleges formáját. Összetételét tekintve szokatlan egy bronz feldolgozással foglalkozó műhelyben. A szilícium jelentősen csökkenti a vas olvadáspontját, és ekkora szilícium tartalmú ötvözetet akár fel is tudtak dolgozni a bronz olvasztására alkalmazott technikával. Ebből következethetünk arra, hogy az ágyúöntés során felhasznált vas alapú segédanyagokat a műhelyben állíthatták elő. Ennek a hipotézisnek az igazolására további vizsgálatokat tervezünk elvégezni.

Összegzés

A Magyar Nemzeti Múzeum Rákóczi Múzeuma 2006 nyarán ásatást kezdett a sárospataki külső vár délnyugati sarkában, hogy felszínre hozza és dokumentálja az itt lévő ágyúöntő műhely maradványait. A leletek és a korabeli dokumentumok alapján rekonstruálni lehet a műhelyben végzett technológiai lépéseket. A feltárás során nagyszámú lelet került napvilágra, amelynek műszeres vizsgálata alapján pontosabb képet kaphatunk a műhelyben végzett metallurgiai, ötvözetkészítési technológiáról. Első lépésben a fémes leletek közül választottunk ki néhányat, hogy megismerjük a nyerhető ismeretanyagot. Vizsgáltunk ágyú maradványokat, megszilárdult olvadékcseppeket és fröccsenéseket, salakmaradványokat. Vizsgáltuk a leletek átlagos és lokális összetételét és mikroszerkezetét. Megállapítottuk, hogy elegendő ismeretanyag szerezhető az ötvözetekről, a metallurgiai folyamatokról és az ötvözetek megszilárdulásáról, hogy pontosabban rekonstruálni tudjuk az ágyúöntő műhelyben végzett munkát.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a feltárás konzulenseinek, Jósvainé Dankó Katalinnak és Benkő Eleknek a feltárás során tett észrevételeikért és tanácsaikért.

Köszönettel tartozom Belényesy Károlynak, hogy részletes feldolgozás alatt álló kutatási eredményeit megosztotta velem, s hasznos tanácsokkal segít munkám során.

Tanulmányunk a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010 projekt keretében készült.

Felhasznált irodalom

ASM International (1990): *Metals Handbook* 3, Alloy Phase Diagrams, ASM International 724–775.

ASM International (1990): *Metals Handbook* 15, Casting, ASM International 3–304.

ASM International (2004): *Metals Handbook* 9, Metallography and Microstructures, ASM International 1831–1872.

BELÉNYESY K. (2008): A 15-16. század fordulóján Budán működött királyi ágyúöntő műhely régé-

szeti hagyatéka. In: *Hunyadi Mátyás, a király. Hagyomány és megújulás a királyi udvarban 1458-1490. Kiállítási katalógus*, Budapest. 348–350.

DAVENPORT et al. (2002): Davenport, W.G., King, M., Schlessinger, M., Biswas, A.K., *Extractive Metallurgy of Copper*. Pergamon Press, Kidlington, Oxford 57–71.

De BEER, C. (1991): The Art of Gunfounding. The Casting of Bronze Canon in Late 18th Century. In: Boudriot, J., *Publications in Rotherfield, East Sussex, England*

DÉTSZHY M. (1971): A sárospataki ágyúöntőház története. *Technikatörténeti Szemle 1968-1970 V/1-2* 69–115.

DÉTSZHY M. (2002): Sárospatak vára. *A Sárospataki Rákóczi Múzeum füzetek* 43. Sárospatak,

DOLLECZEK A. (1884): *Geschichte der Österreichischen Artillerie*. Wien, 1884.

HURSÁN L. (2006): Jelentés a sárospataki várkertben végzett geofizikai mérésekről. 2006. *Kézirat*. MNM Rákóczi Múzeumának Adattára, Sárospatak.

JACKSON, M.H. & de BEER, C. (1973): *Eighteenth Century Gunfounding. The Verbruggens at the Royal Brass Foundry, a Chapter in the History of Technology*. Washington, Smithsonian Institution Press.

KÉKESI et al. (1990): Kékési T., Pásztor G., Szepessy A., *Színesfémek metallurgiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 80–170.

KOVÁCS A. (2007): „Farkas az én nevem...” A gyulafehérvári fejedelmi fegyvertár és ágyúöntés kezdeteinek történetéhez. In: *Dolgozatok az Erdélyi Múzeum Érem- és Régiségtárából*. Új sorozat II. (XII. kötet) 157–172.

MAKKAI L. (1954): I. Rákóczi György tüzérségének történetéhez. *Hadtörténelmi Közlemények* 2 110–135.

MIETHEN, M. (1683): *Artillerie Recentior Praxis Oder Neuere Geschützbeschreibung Worinnen Von allen vornehmsten Hauptpuncten der Artillerie Gründlich und ausführlich behandelt, solches auch mit vielen Kupfferstücken erklaret wird*. Frankfurt und Leipzig.

SAINT-REMY (1707): *Saint-Remy Mémoires d'Artillerie ou il est traité des Mortiers, Petards, Arquebuses a Croc, Mousquets, Fusils etc*. Par le St. Surivey de Saint Remy.

SMITH, C.S., & GNUDI, M. T. (ford.) (1959): *The Pirotechnia of Vannoccio Biringuccio*. Cambridge, Mass, 1959.

SZENDREI J. (1891): A sárospataki és gyulafehérvári ágyúöntőházak a XVII. Században I. Rákóczi

György idejében. *Hadtörténelmi Közlemények* **4** 116–127.

SZILÁGYI S. (1888): Adalékok két tüzérszertár történetéhez I. Rákóczi György idejében. *Hadtörténelmi Közlemények* **I.** (1888). 177–185.

VERHOEVEN J. (1975): *Fundamentals of Physical Metallurgy*, Wiley & Sons, New York 137–168.

VERŐ J. & KÁLDOR M. (1996): *Fémtan*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 213–284.