3. BÁNYÁSZAT ÉS KOHÁSZAT SZÉKELYFÖLDÖN

Az őskori fémművesség emlékei

A történelmi Székelyföldként ismert terület a Maros és az Olt felső folyásának, a Küküllők, illetve a Feketeügy és mindezek mellékvizeinek medencéit foglalta magába, de hozzá tartozott az V. István által kézdi székelyek ide telepítésével a szorosan vett Erdélyi-medence nyugati oldalán enklávéként létrehozott Aranyosszék is, amely a rajta átfolyó Aranyosról kapta nevét. Ezek a területek természetesen a székelyek 13. századi betelepítése előtt sem voltak lakatlanok, s így a Székelyföldre fűződő fémművesség kezdetei is évezredekkel korábbra nyúlnak vissza.¹

Az ivóvíz, a lakható és védhető teraszok, szerszámok, háztartási eszközök, fegyverek készítéséhez alkalmas nyersanyagok lelőhelyei a legrégebb időktől fogva meghatározó tényezői voltak a kis települések kialakulásának a Kárpát-medencének ezen a részén. Az itt végzett régészeti ásatások eredményei bizonyítják az őskortól a középső kőkoron át az új kőkorszakig és tovább is az őskor emberének jelenlétét. Az újabb kőkor idején e terület már viszonylag sűrűn lakott (Roska Márton 1929. 263.). Jelen munkának nem célja e terület kőkorszakának ismertetése. Csupán azt jegyezzük meg, hogy a fémhasználatra utaló első régészeti leletek az újabb kőkorszakra jellemző festett kerámiával együtt kerültek elő Erdély-szerte (Roska Márton 1929. 268, 274.). Ebből a korból Erősdön (Kovácsna megye) kerültek elő réz-

tárgyak maradványai, pl. rézár, kis rézlemezcse és egy rézpenge.¹

Az újkőkor végén, az i. e. negyedik évezredének utolsó századaiban új kultúra kezdetéről is beszél a régészet tudománya, amit átmeneti korként határoz meg, és ami a bronzkorig vezet. Ennek az átmeneti időszaknak a második fele a rézkor. Erről, az e korból származó jó néhány rézből készült lelet is tanúskodik. I. e. 3000–2500-ban lehettek azok a népek, amelyek megjelenéséhez a rézkor kezdetét társítja a régészet.

Szlávok, germánok, görögök, latinok, kelták, de irániak, indiaiak, albánok is őseiknek mondhatják azokat a népeket, amelyeket gyűjtőnév alatt indoeurópai népeknek neveznek, és akiknek a későbbi Székelyföldön 2-3 ezer évvel korábbi létezésük számos jelét tárták fel régészek (Székely Zsolt 2007. 13.).

A rézművesség kezdetei réz tartalmú érc termékeihez kapcsolhatók. Jó néhány elmélet érvel a mellett, hogy a rézművesség (rézöntés) kifejlődése több helyszínen, egymástól függetlenül is létrejöhetett. „Érckutatók kellett hogy bevezessék az olvasztás és öntés tudnivalóit, de úgy tűnik, hogy az erdélyi termékek helyi rézből készültek” (Colin Renfrew 1995. 177.). Az erdélyi rézkor rézművessége részeként kell értékelnünk a székelyföldi rézművességet.

A székelyföldi rézművesség nyersanyagbázisa nem kellően tisztázott témakör, de nem kizárt, hogy a Csíkszentdomokos–Balánbánya határában található komplex rézérc is

lehetett. Részletes helyszíni feltárások hiánya mellett a székelőföldi rézkori leletek sem nyújtanak átfogó és reális képet a kor rézművességéről, különösképpen arról nem, hogy a leletek valóban a csíkszentdomokosi–balánbányai vonulat rézércéből készültek. Ennek tisztázása természettudományos módszerek segítségével volna lehetséges, spektroszkópos vizsgálatokkal lehetne a problémát meghatározni, pontosítani. A tellúr² vagy más elemek jelenléte, koncentrációja a réztárgy anyagában fontos információ lehetne a rézérc balánbányai, esetleg más erdélyi rézérclelőhelyéről, eredetéről. Ismeretes, hogy bizonyos rézércek, ide tartozik a balánbányai kalkopirit is, meghatározható koncentrációban tartalmaznak tellúrt. A tellúr egyedivé tesz minden olyan rézércet, amely ezt az elemet is tartalmazza.

A tellúr koncentrációjának meghatározásával, valamint a szennyező összetevőként jelen lévő elemek kimutatásával értékelhe-

tő pontossággal meghatározható az illető bronztárgy alapanyagának eredete. Ehhez előzetesen ismerni kell a feltételezett eredet rézércének összetételét. Ezt napjaink metallográfiai tudománya rutinelemzésként kezeli. A természettudományos módszerek minél szélesebb körű alkalmazása a régészetben új utakat nyithat letűnt évszázadok fémművességének megismeréséhez.

Az **1. táblázat** néhány székelőföldi régészeti ásatás rézből készült leleteit, ezek lelőhelyét foglalja össze a teljesség igénye nélkül. A leletek az i. e. 4. évezred utolsó századaiból származó réztárgyak. Csupán a feltételezés kategóriájába tartozik, hogy: a leletek nyersanyaga a csíkszentdomokosi–balánbányai rézérclelőhelyekhez is kapcsolható, ugyanis az itt végzett régészeti kutatások nem bizonyították a rézérc bányászatának őskori nyomait, netán a rézérc kohósítását. Azt is meg kell jegyeznünk, hogy az említett terület archeológiai feltárása sem teljes. Colin Renfrew

1. táblázat. Rézkori leletek

Helység	Lelet	Megjegyzések
Erősd (Kv)	Vörösrézhuval töredékek, kéthegyű vékony rézár, huzalból készült kis karikák Kettős, ellentétes élű rézcsákány	Több ásatási rétegből származnak más hasonló leletekkel, kerámiatöredékekkel együtt A kőkorszak és a bronzkorszak közötti átmeneti időkből
Gyergyószentmiklós (Hr)	Egyélű rézcsákány, másik kilenc darabbal együtt	A Lázár grófok birtokán találták, pontos helye ismeretlen
Árkos (Kv)	Két fejszéből álló lelet	
Sáromberke (Ms)	Nyéllyuknyúlványos balta	Hasonló balták kerültek elő Nyárádgálfalván, Altorján, Kovásznán, Sepsibesenyőn, Székelyzsomboron
Várhegy (Hr) Albis (Kv) Bodok (Kv) Csernáton (Kv) Székelyudvarhely (Hr)	Kettős ellentétes élű rézcsákányok	Ezek már a kezdeti bronzkor időszakából származnak
Csikbámfalva (Hr)	Rézcsákány	Magángyűjteményben, különleges kiképzésű fokkal
Sepsibesenyő (Kv)	Rézfokos	A Székelyföldön előforduló egyetlen példány

viszont leszögezi, hogy „[a]felől kétségünk sem lehet, hogy a felhasznált réz helyi eredetű volt” (Colin Renfrew 1995. 177.).

Első réztárgyait a kor embere, termésvéz-ből³ készítette. Tetszetős színe értékesítette az addig csupán kőből, csontból, fából készült, főleg dísz tárgyakkal, egyszerű ékszerekkel szemben. A kalapálásos hidegalakítás volt az első technológiai művelete a termésvéz feldolgozásának. Megtanulta az őskor rézművese, hogy a vörös színű fém könnyen alakítható kalapálással, ugyanakkor az ütések hatására keménnyé, rideggé válik, ami megnehezíti a további alakváltoztatást. Azt is kitalálta, hogy felmelegítéssel a rideg, törékeny réztárgy ismét meglágyul, további alakításra is alkalmassá válik. Hosszú századoknak kellett eltelniük, amíg a mesterségbeli tudás gyarapodása meghozta eredményét: a rézércben található fém kinyerését olvasztással. A kezdetekkor csak bizonyos rézércet mutatkoztak alkalmasoknak fémvéz előállítására. Ma már világos, hogy a réz-oxidok, réz-karbonátok voltak ezek az ércet, amelyek könnyebben redukálhatók⁴, mint például a szulfid típusú rézércet.

A kuprit (CuO_2), az azurit ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), a malachit $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) hevítéssel aránylag könnyen redukálódó ércet. A faszén, égése közben, az olvadási hő is, de a redukáló közeget is kialakította. Ez 700°C körüli hőmérsékletet jelent a következő vegyi reakció létrejöttével:

Ez még nem az igazi, vörös színű réz előállításának fázisa, mert a réz olvadási hőmérséklete 1083°C . A rézművesség megjelenésének kezdetén fontos szerepe volt a fazekasságnak. A kerámia gyártásában használatos kemencék hőmérséklete elérte a $600\text{--}700^\circ\text{C}$ is, ami már a rézérc olvasztás előcsarnoka is lehetett. A fűtató, a többlet-

levegő befújásával létrehozott hőmérséklet-emelő szerepe valóságos ugrást jelentett az ércet feldolgozásában általában, nem csak a rézércet esetében.

A balánbányai rézérc, a kalkopirit (CuFeS_2) szulfid típusú érc, amelynek pirotechnikai feldolgozása őskori módszerekkel szinte lehetetlen volt. A kalkopirit feldolgozásának alapja szintén redukációs folyamat. A folyamat részeredményeként az égést tápláló oxigén egy részének kénrel való reakciójában a végtermék a kén-dioxid, ami az égési gázok összetevőjeként távozik a kemencéből. A megmaradt részből a vasnak szintén az oxigénnel való reakciója következtében vas-oxid keletkezik, ami a salaknak egyik összetevője lesz. De ez a folyamat nem ilyen egyszerű, mert a kvarchomok folyamatos adagolásával a vas-szulfiddal vegyi reakcióba lép a következő vegyi reakció szerint:

Tulajdonképpen ez az első salakképző folyamat. Mivel a salak könnyebb a rézben dústult olvadéknál, a felszínen összegyűl, amit el lehet távolítani az olvadékról. A megmaradt réz-szulfid (CuS) olvadék a további levegő befújás következtében redukálódik:

Még ez a vegyi reakció is kétfokozatú. Először a réz-oxid és a réz-szulfid képez részleges redukciót. A maradék réz-szulfid és a réz-oxid reakciójából keletkezik a fémes réz:

A vas olvadáspontja (1535°C) jóval magasabb a réz olvadáspontjánál, ezért az érc vastartalma a salak összetevője marad. Ezért tartalmaznak a szulfid típusú rézércet salakjai vas-oxidot.

Hogyan találta ki az őskor embere a réz kinyerését érceiből 2500 évvel Kr. e.? Amint azt az előbbiekben megjegyeztük, a rézművesség az újkőkor második felében, a festett kerámiával egy korban keletkezett. A kerá-

mia gyártásának már évezredes múltja volt akkor. Viszonylag jól kidolgozott technológiája volt az agyag feldolgozásának. Jó néhány típusú égetőkemencét üzemeltettek a kor fazekasműhelyei. A kőből épült, agyaggal kitapasztott égetőkemence lehetett a réz ércéből való kinyerésének kiindulópontja. Feltehetőleg az égetőkemence építéskor falazatába rezet tartalmazó kő is bekerülhetett, olyan rézérc, aminek a réztartalma ismeretlen volt az őskor ember számára. Maga a fém is ismeretlen volt abban a korban.

Az edényégető kemence többszöri használata a falazat többszöri felhevülésével járt, így a réztartalmú kőben végbementek azok a folyamatok, amelyek a későbbiekben az érc pörkölését, olvasztását, a fémréz kinyerésének folyamatát jelentették a rézérc kohósításában. Ezt nevezhetjük a rézművesség igazi kezdetének, amikor a kor emberének meg kellett találnia azt a követ, amelyik rezet tartalmaz, de nem csupán natív rezet. Ezután a kemény sziklából, kőből készített szerszámaival ki kellett fejtenie azt a réteget, amelyik színével, netán természetes natív-réz-tartalmával kivált környezetéből. Iszonyú nehéz munka lehetett. Az egész folyamat a bányászástól az olvasztáson át a kinyert réz feldolgozásának elsajátításáig hosszú évszázadokon át tökéletesedett, és lassan terjedt az őskorban. És ha a kor embere már tudatosan kereste a felszínen található természetes rezet is tartalmazó követ, tapasztalatot is szerzett azzal kapcsolatban, hogy a megolvadt fém, az égetőkemence falában található rézérc terméke bele is folyhatott valamelyik edényébe. Ez vezethette arra a felfedezésre, hogy egyes, rezet tartalmazó kővek agyagedényben is megolvaszthatók, és hogy a megdermedt, megszilárdult fém felveszi az edény belső formáját. Ez lehetett az a lépés, amelyik elvezette az embert az öntőforma elkészíté-

séhez, a fémöntés igazi kezdetéhez. A Székelyföld területén végzett ásatások alkalmával öntőforma maradványai is előkerültek.

A kétrészes öntőforma használata volt a fémművesség következő állomása, amely már bonyolult alakú végtermékek előállítását is lehetővé tette.

Az igazi, korszakalkotó ugrást a fémművességben az ötvöztetés⁵ gyakorlata jelentette. A rézhez egy másik, alacsonyabb olvadási hőmérsékletű fémeket olvasztottak. A két fém keveredéséből i. e. 2500 körül keletkezett az új, korszakalkotó fémötvöztet, a bronz. Ennek az új fémnek az emberi civilizációra és kultúrára gyakorolt hatása egy új történelmi kort is kialakított, a bronzkort.

Összegezve az őskor rézművességének történetét, amely i. e. 4000–4500 körül kezdődhetett, megállapítjuk, hogy ebben a korban alakult ki a következő évezredek fémművességének mesterségbeli alaptudása. A fejlődés néhány szakasza véletlenszerű, a folytatás viszont logikus és egyre tudatosabb folyamattá alakult az évezredek folyamán.

„A bronzkor szerves folytatása a már említett aeneolitikus, illetőleg rézkori periódusnak, ennek alapján a fokról-fokra fejlődést, mint általában Erdélyben, a Székelyföldön is nyomom kellene követnünk.” (Roska Márton 1929, 278.)

1. kép. Öntőforma Kovászna megye területén végzett régészeti ásatásból. A Székely Nemzeti Múzeum tulajdona, Sepsiszentgyörgy

Székelyföld területén végzett ásatások alkalmával előkerült nagyszámú bronzleletből néhányat a **2. táblázat** foglal magában.

A leletek nagy száma, amelyek néhol egykori nyersanyag- és késztermék-raktárakra utalnak (Székely Zsolt 2007. 70–79.) (Felsőcsernáton, Bánkfalva) öntőkanál-maradványok, öntött tárgyak a bronzművesség magas szintjéről, öntőműhelyek működéséről tanúskodnak. Mindez i. e. 3000–3500-ból a mostani Hargita és Kovászna megye területéről (**2. kép**).

Mit tudtak, milyen technológiai tapasztalat halmozódhatott fel ahhoz, hogy Erdély és ezen belül a székelyföldi rész híressé váljon bronzművességéről? Az őskor mestere ismerte a használható, rezet tartalmazó ásványi érceket. Tudott olvasztókemencét építe-

ni, agyag és porrá tört kerámia keverékéből olvasztótégelyt készíteni. Tudott faszenet égetni és a szén felhasználni olvasztókemencéjének fűtéséhez. Tudott huzatos égőteret létrehozni, amivel növelhette az olvasztási folyamat hőmérsékletét. Ismerte az óntulajdonságait, szerepét, jelentőségét abban a keverékben, aminek tudatos előállítási végterméke az új fémötvözet a bronz keletkezett. Megtanulta az ötvözőelem részarányának jelentőségét, és a bronz rendeltetésének függvényében elő tudott állítani különböző tulajdonságú bronzötvözeteket. Ékszerek (fibulák, karkötők), használati tárgyak (balták, kések, sarlók), harciaszati eszközök (dárdák, kardok, harci szekercék) jellegzetes összetételű ötvözeit is előállította (**3. és 4. kép**).

2. kép. Őskori bronztárgyak Kovászna megye területén végzett régészeti ásatásokból. Székely Nemzeti Múzeum tulajdona, Sepsiszentgyörgy

2. táblázat. Bronzkori leletek

Helység	Lelet	Megjegyzések
Sepsiszentgyörgy (Kv)	Talpas bronzfejsze	
Bölon (Kv)	Bronz szárnyas fejszék	Ugyanitt sarló és tokos balta töredékek, bronzkorong, bronzedény
Kézdivásárhely (Kv)	Tokos füles balták	Egy félholdasan bevágott szájút a szakirodalom mint magyar típust ír le
Zágon (Kv)	Tokos kalapács	Ritkaságszámba menő
Málnás (Kv)	Bronzsarló (erdélyi típus), bronzkés	Hasonló példányok kerültek elő Csíkbánkfalván (HR)
Firtosmartonos (Hr)	Bronztőr	Hasonló lelet Zaboláról (KV) is ismert. Az erdélyi bronzkor legvégén készült
Maroshévíz (Hr)	Törpengetőredék, fűrész, tőr	
Bardóc (Kv)	Bronztőr	305 mm hosszúságú, rövid kardnak is megfelel
Magyaros (Ms)	Bronzkard	920 mm hosszú hasonló lelet Kovásznán is előkerült
Bardóc (Kv) Marosfalu (Ms) Altörja (Kv)	Bronzkard	Különböző típusú és formájú fegyverek, bronzfejsze, 25 gyűrű nagyságú aranylemez, bronzüst, bronzsarló
Sáromberke (Ms)	Bronzkard	Görbe alakú pengéje lapos
Nyárádszentanna (Ms)	Harci csákány	Hasonló lelet Sáromberkén is előfordult
Mezőbánd (Ms) Kedezér (Ms) Marosfalu (Ms)	Lándzsacsúcs, balták, karperecek, fibulák, övrészetek, kardtöredékek	A lándzsahegy gyakori a székelyföldi kincsleletekben. Például Zágonban kilenc darabot találtak. Hasonló leletek Bereck és Nagyalambfalva leleteiben is megtalálhatók
Réty (Kv)	Bronz karperec	Az anyagot csavarással teszik tetszőbbé
Zágon (Kv)	Bronz karperec töredék	Hasonló lelet Bölonból, Málnásról, Csíkbánkfalváról is előkerült
Marosfalu (Ms)	Több példánya a bronz karperecnek	Töredékek is találhatóak ebben a leletben
Bereck (Kv)	Bronzbalta, lándzsacsúcsok	
Csikdánfalva (Hr)	15 tokos, füles balta, 5 karperec, 1 sarló, 2 lándzsacsúcs	A lelet öntőműhely maradványaival együtt képezi a bronzkincset. A sarlók nagy része erdélyi típus
Bardóc (Kv)	30 bronzbalta, bronzkard	A balták a kard körül szabályos körben voltak elhelyezve
Erdőszentgyörgy (Ms)	12 tokos, füles balta, fokos, véső, füles kiscésze, bronztányérka, bogrács, lószerzámdísz	A lelet egyes darabjain vasrozsdafoltok voltak
Olasztelek (Kv)	bronzsarló	töredék, karperec, halászhorog
Csikszentkirály (Hr)	Bogrács, csésze, serpenyő, bronzkarika az i. e. 9. századból valók	Ekkor Székelyföldön is megjelenik a vas használata. A csíkbánkfalvi leletek és a marosfalu lelet is rozsdafoltokat tartalmaznak.

3. kép. Bronzleletek Hargita megye területén végzett ásatásokból. A Csiki Székely Múzeum tulajdona

4. kép. Őskori bronztárgyak a baróti Erdővidék Múzeuma időszakos kiállításában, Barót Dénes István geológus (1954–2005) családjának tulajdona.

Azt is meg kell említenünk, hogy a feltárt öntőszerszámok, például Felsőcsernátomban agyagból készült öntőkanál-töredéke, öntőforma-töredék, jelentős mennyiségű salakmaradvány a régészek szerint a bronzkort meghatározó összes fejlődési szakasz nyomait magukon viselik, a kezdetektől a kora vaskorba is beleolvadva: „*A szerszámtípusok görögországi és általában balkáni kapcsolatokra utalnak.*” (Székely Zsolt 2007. 79.) A kora vaskor B szakaszában az új fém, a vas együtt jelentkezik bronztárgyakkal. Ez a bronzkor végét és a kora vaskor kezdetét jelenti. A vasrudacsák jelenléte a bronz öntőminták együttesében részint a vASFeldolgozás együtt fejlődését jelenti a bronzöntés technikájával, bár a bronztól a vasművességig egy évezrednek kellett eltelnie. Az említett korszakban a vasötvözetek hőkezelésének technikája ismeretlen volt.

A folyékony bronz a méhviaszformát megolvasztotta, ami a fém nyomásának és hőmérsékletének hatására a gázkieresztő nyílásokon kifolyt. A viasz helyén maradt üreget a folyékony halmazállapotú bronz kitöltötte,

Az i. e. 12. században Egyiptomból, ahol már fejlett vasgyártás folyik, a görög szigetekre, Görögországon, Szicílián át egyre északra terjed a vas bányászatának, kohászatának tudománya. Az új fém utáni civilizációs és kulturális korszakot Hallstatt-kultúráként, első vaskorszakként tartja számon a történelem tudománya.

A hosszú ókori évszázadok lassú fejlődését követően az első ezredfordulót és az utána következő száz esztendőit a megújulás, a rohamos fejlődés jellemzi. Ekkor már a művészek technológiájának leírása is megjelenik írott receptek formájában. Az első ilyen receptkönyv, amely a

misztikus magyarázatok mellőzésével mutatja be az első ezredfordulót követő első évszázadok rézművességét is, a *Schedula Diversarum Artium*, Theophilus Presbyter bencés apát műve. Leírása olyannyira valószínű, hogy például a réz- és bronzművesség szakmai ismereteit ma is alkalmazható technológiaként tárja olvasója elé.

Az ókor természetes folytatása az őskornak, bár határozott és egyértelmű válaszvonalat kijelölni a két civilizáció között lehetetlen, a több évezred alatt végbement fejlődés jelei nyilvánvalóvá válnak. Megváltozik a hagyomány és az újítások közötti arány, előtérbe kerül a szellemi alkotás, a tudomány, a művészetek, amelyek egyenrangú elismerésben részesülnek a fizikai munkával.

A kelták, a rómaiak tovább fejlesztik a bányászatot, a kohászatot, féművességet. A harcos birodalmaknak nagy mennyiségű fegyverre, harci eszközre volt szükségük, ezek túlnyomó része még mindig bronzból készült. A népesség számbeli növekedése kényszerként hatott az erdős területek mezőgazdaságra alkalmas, megmunkálható területekké való átalakítására, ami megfelelő eszközök, szerszámok nélkül elképzelhetetlen lett volna. Sarlók, csákányok, fejszék tömeges gyártásának szükségessége mennyiségi és minőségi ösztönzőjévé vált a féművességnek, ennek fejlesztésének.

Azoknak az ókori népeknek, amelyek a tanulmányozott területen megfordultak, lehetett ugyan a kor színvonalán bronzművességük, de akkor már a vas az uralkodó fém. Nem kétséges, hogy a dákoknak, rómaiaknak fejlett bányászatuk, féművességük, kohászatuk volt. Erre utal többek között a csíkszentkirályi, 20 darabból álló ezüstkincs⁶ is, amelynek keletkezését az i. e. 1. századra teszi a régészet. Kultúrtörténeti megjegyzés csupán, hogy Homérosz művében, az *Iliász*-

ban sokkal többször említi a vasat (279-szer), mint a bronzot (23-szor). (Rakoczy Sámuel 1910. 18.).

Az is nehezíti az ókor végéhez, a középkor kezdeti évszázadaihoz kapcsolódó féművesség eredményeinek megismerését, hogy a Székelyföld területén végzett régészeti feltárások nem bizonyították e kor kimagasló bányászatát, kohászatát, féművességét. A római uralom ugyan hagyott néhány castrummaradványt (Mikháza, Sóvárada, Firtos stb.), de ezek teljes feltárása még napjainkban is várat magára.

I. sz. 270 körül a vizigótok, 450 körül a gepidák, 568 után az avarok, majd a bolgárok már a népvándorlás koráról tanúskodnak. Így közeledünk az első ezredfordulóhoz, amikor Nyugat-Európában, amint már említettük, több műszaki jellegű receptes könyv is megjelenik, azt bizonyítva, hogy új lendületet vett a kézművesipar, többek között a féművesség is. A mai „*Székelyföld területén székely csoportok masszív beköltözése aligha előzhette meg a 12. század második felét*” (Székelyföld története 2016. I. 150.). Tulajdonképpen ettől az időszaktól beszélhetünk Székelyföldről és féművességéről.

A betelepedés körülményeinek tisztázása, valamint az itt található népközösségekkel kapcsolatos történések ismertetése nem technikátörténeti kategória. Az azonban bizonyos, hogy mint láttuk, nem teljesen lakatlan területre érkeztek, és a betelepülés sem egyik napról a másikra ment végbe. Az új lakhely új élet kezdetét jelentette a féművesség szempontjából is. Erre már olvasztókemence-töredékek, salakmaradványok utalnak. Ezek zöme a vasgyártásra utal. Nem ismeretes semmi olyan feljegyzés vagy ásatásokból előkerült lelet, amely a népvándorlás korában vagy a székelyek letelepedésének idején, működő rézércbányászatra,

kohászatra utalna. Az ebből a korból származtatható néhány öntött bronztárgy (Vargyas, Székelyudvarhely-Budvár) már abba a kategóriába tartozik, amelyekről Benkő Elek 2003-ban közölt tanulmányában így ír: *„Székelyföld leleteinek egy része erdélyi szász közösségek jelenlétét vagy – ugyanakkora eséllyel – közelségét jelzi. E közvetlen közlőről érkező impulzusok a középkori Székelyföldön éppúgy történelmi jelentőségűek, mint azok távolról, de esetleg szintén erdélyi, vélhetően többek között erdélyi német áttétellel, helyi kereskedők közvetítésével érkező hatások, amelyek a Székelyföld középkori tárgyi világát az eddig sejtettnél gazdagabbá, árnyaltabbá tették.”* (Benkő Elek 2003. 46–58.)

A rézzel kapcsolatos legkorábbi írásos emlék az *Erdélyi Magyar Szótörténeti Tárb*an a rézedény címszó alatt található, és 1551-ből származik. Székelyföldi említése 1589-ből egy székelyudvarhelyi bíraskodási protokollumban olvasható (*Székely Oklevéltár*, új sorozat I. 1983, 40.), és rézmozsár háztartási eszközzel kapcsolatos.

A Székelyföld egyetlen rézérclelőhelye, amelyen felszínre kibúvó, natív réz is megjelenik, az Olt folyó forrásvidékén, a Nagy-Hagymás hegynyulatban található. Itt, az Olt folyó 350-400 m szélességű völgyében alakult ki bányásztelepülés, a későbbi bányaváros Balánbánya. Gazdag rézérclelőhelyéről vált nevezetessé a kis hegyi település, amely a 19–20. században érte el fénykorát, termelésének csúcsát. A Balánbánya helységnév eredete tisztázatlan, bár nem kizárt, hogy a bányatelep eredetét az egykori Tarkó nevű település rejti régmúlt idők homályába.

Tarkó 1333-ban Tarku, majd Tarkov, amely 1334-ben hat banálist fizet a pápai tizedjegyzék szerint, tehát adófizető, ami azt is feltételezi, hogy temploma és papja is volt (Lestyán Ferenc 1996. 215.). Ismeretlen körülmények

között, ismeretlen időben tűnt el a település templomával együtt, de nem kizárt, hogy éppen Balánbánya települése a folytatás. Számos spekulatív megközelítés is ismeretes a település születésének időpontjáról, alapítóról. Biztos forrás csupán az 1790–1791-ből származó említés Balánbányáról, amely az Erdélyi Országgyűlés jegyzőkönyveiben található.

Az iparszerű kitermelés-feldolgozás valamikor az 1785–1790 közötti időszakban indulhatott, a pontos idő meghatározása szinte lehetetlen. Lehet, hogy a rézérc kitermelésére irányuló kezdeményezések évszázadokkal megelőzték az első bányatelep bejegyzését, 1802. október másodikát a székelyudvarhelyi bányakapitányságnál. Ez nem lehetett igazi ipari szintű kitermelés, csupán a népi bányászat kategóriájába lehet besorolni. Ezek a próbálkozások szakmai ismeretek és tőke hiányában kudarcba fulladtak.

A 19. század elején Erdély jelentősebb bányavidékein már bányamérnökök is dolgoztak, és a bányászati tevékenységet is egyre többen elsajátították. A kincstár is jónak látta a csíkszentdomokosi rézérc feltárását, a kitermelés és feldolgozás megkezdését.

Kilenc év múlva 1811-ben már több értelepet is feltárnak, és elindítják a feldolgozó részleget is. A bányászati szakiskola, amely Nagyágon működött, bányászokat és segédmunkásokat képezett. A bevándorló szakemberek és a szakiskolát végző diákok építették fel az első balánbányai ércfeldolgozót, amelynek termelése 1811-ben 464,63 tonna rézérc feldolgozása volt.

Az első ismert, rézércet feldolgozó üzem felszerelése a következő gépeket foglalta magában: kőúzda, ércpörkölő, magaskohó, kisolvasztó, tárcsaréz-öntőde. A 19. század bányászati technológiája nem sokban különbözött a középkorban alkalmazott érc-

bányászat módszerétől. Gépesítésről nem beszélhetünk, a kitermelés kézi szerszámai a csákány, a kalapács, a repesztőék, ásó, kapa, érchordó kosár és teknő, hátra szerelhető szállítóedény, olajmécses.

A kibányászott ércet kosarakba rakták, és a gurítóhoz szállították, ahol a csúszdán az alsó szintre továbbították. A nagyobb mennyiségű ércet fából készült csillével szállították. A csillék fakerekei fasínen haladtak. A csille két hátsó kereke nagyobb volt, ami könnyebbé tette a súlyos jármű irányítását. Ez a csillétípus fakutya megnevezéssel került be a bányászati szakirodalomba.

A tárnák szellőztetése természetes huzattal valósult meg, nem lévén ebben az időben Balánbányán mesterséges légbefújás.

A rézkinyerés hosszas folyamat eredménye volt, amelynek első művelete, a válogatás még a tárnában történt. Csak a dús, szemmel is kivethető réztartalmú darabokat szállították a felszínre, további feldolgozásra. A válogatás műveletében gyermekek is szerepet kaptak, a felszíni második válogatást nők végezték. A feldolgozás előtt ez volt az utolsó válogatás.

A szulfid típusú ércet pirotechnikai feldolgozása hosszas és bonyolult folyamat. A válogatás után az első, hőenergiát igénylő, művelet a pörkölés volt, aminek rendeltetése a kén egy részének az eltávolítása, kiűzése volt a szulfidércből. Fából rakott ágyra rakták a nagyság szerint szétválasztott ércdarabokat, úgy, hogy a nagyobb méretűek alul, a kisebbek a máglya felső részére kerüljenek. Az így kialakított máglyát beföldelték, hogy a keletkező hő a máglya belsejében maradjon. Az égési gázok a máglya közepén kialakított kürtőszerű, huzatkeltő nyíláson át távoztak. A faágyat meggyújtották, a keletkező hőenergia felizzította az ércet, aminek hatására az érc kéntartalmának egy része kipárolgott, a közegnedvesség tartalmával kénessavat ké-

pezett. A pörkölés hosszas és faigényes művelet volt, addig kellett fenntartani, amíg az érc vas-szulfid része, a pirit vas-oxiddá és kén-dioxiddá alakult. A kén-dioxid kénessavként a máglya alatti üregben gyűl össze, de egy része kén-dioxidként távozott a máglyából.

Az átalakult pirit az ércdarabok felületén képezett törékeny réteget, amit töréssel választott le a rézben, réz-oxidban dúsított magról. Ez a pörkölés nem eredményezett tiszta rezet, csupán koncentrátumot. A koncentrátumot tovább finomították, mészke hozzáadásával olvasztókemencében újra megolvasztották, ami egy második redukációs folyamatot eredményezett. Ezúttal nem fát használtak a kemence felfűtésére, hanem faszén. Az így előállított koncentrátum is csupán 60% rezet tartalmazott, amit egy újabb, a harmadik finomító pörköléssel dúsítottak. A termék az ún. fekete réz, 90-95% réztartalommal. A fekete rezet ismét megolvasztották, de már falazott kemencében, faszénrel hevítve, levegőbefújással. Ez egy újabb oxidáló olvasztás volt, és a maradék kéntartalom kiűzésére irányult. A keletkező gázok színéből, az olvadákszakra kibocsátásából, valamint a vasrudas próba eredményéből lehetett következtetni a réz finomsági fokára. A vasrudas próba abból állt, hogy az olvadékba merítettek egy vasrudat, majd gyorsan kihúzták, és vízben lehűtötték. A rúd felületére rakódott vékony rézréteg színéről a szakember megállapította a redukációs folyamat eredményét, a réz tisztasági fokát, és ha jónak látta, megállította a folyamatot, megszüntette a további hevítést.

Ezután az olvadék felszínéről lehúzták a salakréteget, majd vízzel hűtötték a megolvadt réz felületét, ami egy bizonyos mélységig megszilárdult. Ezt a szilárd rézkorongot kiemelték az olvadékból, és újabb hűtéssel addig ismételték a rézkorongok készítését és

kiemelését, amíg a kemence megüresedett. A műveletet tárczaszakításnak nevezték.

Bár nem tartozik Balánbánya technikatörténetéhez, a gyakori tulajdonosváltás és a tulajdonosok törekvése a bányászat és ércfeldolgozás terén meghatározó tényezői voltak a bányatelep technikatörténetének. A kezdeti időszak 464,63 tonna réz termelése harminchét esztendő múlva a kétszeresére emelkedett, a réztermelés csúcséve 1581 mázsával a forradalom és szabadságharc éve, 1848 volt. Ekkor a bánya és feldolgozóüzem a részvényesek tulajdona, fő részvényesek a gyergyószentmiklósi Zakariás testvérek, Antal és István. Ők a rézművet (bányát és feldolgozóüzemet) a Kincstártól 2500 ezüsterint értékben megvásárolták. Kereskedők voltak, ezért alkalmazták Bodor Ferenc bánya- és kohómérnököt, akinek szaktudása és a Zakariás családhoz fűződő kapcsolata hozzájárult a vállalat tevékenységének felíveléséhez.

A Zakariás testvéreknek és Bodor Ferencnek a bányatelep szervezése, vezetése mellett jelentős szerepük volt a forradalom és szabadságharc székelyföldi eseményeiben is, különösen az ágyúcsőöntés nyersanyagának és műszaki kérdéseinek megoldásában. Zakariás Antal jelentős mennyiségű rezet ajánlott fel ágyúcső gyártására, Bodor Ferenc szerepe az öntési technológia kidolgozásában, a puskaporgyártás terén vált ismertté. A forradalom és szabadságharc éveiben a rézfeldolgozó üzem a kor műszaki színvonalát tükrözi, és a következő berendezés üzemelt: két kisolvasztó kemence, egy kohó két csigafúvóval⁷, amelyeket vízikerek hajtott. Az ércet 21 nyíllal zúzóműben aprították. Négy vízikerek hajtotta a hámosi részt, a két laposverőt és a két kalapácsot. A bánya és az ércfeldolgozó üzem 1825-től 1849 végéig volt a Zakariás testvérek tulajdonában, ekkor a kincstár visszaveszi a Zakariás testvérektől

a balánbányai ipartelepet, de hamarosan rájön, hogy ez nem volt ésszerű lépés. Ezért 1851 júniusában visszaadja az előbbi tulajdonosoknak a rézművet.

A forradalom és szabadságharc leverése után már nem tapasztalható felívelés a balánbányai rézműnél, ráadásul az osztrák tőke beavatkozása is hozzájárult ahhoz, hogy Zakariásék 1858-ban eladják a rézművet, sajnos éppen a konkurenciának. De nemcsak Balánbánya váltott gazdát ebben az időben. Ugyanaz az osztrák társaság megszerez több erdélyi bányát és kohóművet is.

1860 az új tulajdonosok ambiciózus fejlesztésének éve. Bővítik az olvasztókapacitást az ötödik kohó felépítésével. Ennek megfelelően a zúzóművet hengerzúzóval korszerűsítik, ennek termelékenysége fölülmúlja a zúzónyilas törő-porító termelékenységet. Ekkor a réztermelés 2861 mázsa. 1869-ben a vízikerekeket gőzgép beszerelésével helyettesítik. A termelt rézmennyiség 3171 mázsa. Mindezek ellenére 1869 után a termelés nem növekedett, mi több, az üzem csődbe is megy. Csak tizenegy év múlva, 1880 körül jelezhetünk újabb fellendülést, amikor ismét egyéni vállalkozók szerzik meg a bányát és a feldolgozóüzemet. 1876-ban a besszemerezést mint finomítási eljárást is bevezetik Balánbányán, a termelés azonban nem éri el a korábbi évek szintjét. 1895-ben a réztermelés szünetelt, a kényszerleállítás két évig tartott.

Az is érdekes, hogy míg a csiki és gyergyói vasbányák és más kitermelések bányáinak leltára a 17. század közepétől ismeretes, balánbányai leltár csak 1869. október 5-én készült. Ettől eltekintve a székelyföldi rézércbányászat, kohászat, még ha megszakításokkal is, Balánbányához kapcsolódik.

1868-ban Orbán Balázs, aki székelyföldi vándorlásai során Balánbányára is eljutott, észre-

vételeit a következőképpen tudatja olvasóival: „...im előttünk van már Balánbánya füstölgő kohóival, a vidéket visszhangoztató roppant zajával, ott vannak azok a barna olvaszdák óriási fúvóikkal, lassú méltósággal mozgó nagy kerekeikkel, roppant sziklatörő kalapácsaikkal, hol az ember a teremtés műfolyamát utánozza...” (Orbán Balázs I. 1868. 93.)

Harminc év elteltével 1898-ban megjelent kiadvány, amely az akkori Magyarország összes színes és nemesfémbányájának termelését bemutatja, Balánbányáról a következőket írja: „A balánbányai rézkohó az elmúlt évtől kezdődőleg fémkohászattal nem foglalkozott.” (Szathmáry Béla – Mály Sándor 1896. 126.) Ugyanitt található a balánbányai fémkohászat megszűnésének magyarázata is. „A rézkohósítás terén elért vívmányok ellenére mutatkozó visszaesés csakis annak következménye, hogy a réz árának hanyatlása miatt a rézbányaművek és ezzel kapcsolato-

san a rézkohók nagy része [...], Balánbánya stb.-üzemen kívül helyeztetek. Röviden, a réz túltermelés és az iparnak az olcsóbb vas felhasználása felé fordulása lett jó néhány réztermelő vállalat bezárásának fő oka.”

A bányatelepülés életútjának a többszöri leállás és újraindulás volt a meghatározó vonása. Az 1909-es év a nagy fejlesztések időszakaként szerepel, ami a francia érdekeltségű Erdélyi Bányászati Társaság fejlesztési stratégiájának eredménye. A Bányászati és Kohászati Lapok 1909. évi számában található közlemény a balánbányai rézérc feldolgozásának helyzetét mutatja be (Zsigmond Árpád. 1909. 500–504.). A szerző már a bekezdésben leszögezi, hogy „Magyarország réztermelése 40 év óta folyton hanyatlik”. 1866-ban az átlagtermelés 1911 tonna. Miután 1904-ben a bánya francia érdekelt-ségbe került, tulajdonosai az akkori európai színesfémbányászati és -kohászati techno-

5. kép. Balánbánya füstölgő rézkohóival, ahogy Orbán Balázs látta

lógijának színvonalára emelik a rézércfeldolgozást. Ugrásszerűen megnő a termelés. 1907-ben ismét tulajdonosváltás következik be, a bánya és a rézércfeldolgozó üzem a Magyar Rézművek Részvénytársaság tulajdonába megy át. Nem véletlenszerű fejlesztés történik, ugyanis ezekben az években geológiai kutatások 1-4 méter vastagságú telért mutattak ki, amely 10-25 méterenként ismétlődött. Az ércvonulat helyenként a 120 méter magasságot is elérte. Az említett tanulmány szerint a balánbányai rézércet három osztályba sorolták:

1. az I. osztályba az 5 százaléknál nagyobb réztartalmú ércek,
2. a II. osztályba az 1,5-5 százalékgig terjedő réztartalmú ércek,
3. a III. osztályba az 1,5 százaléknál alacsonyabb réztartalmú ércek tartoztak.

A továbbiakban a közlemény a feldolgozás technológiáját is ismerteti. Az alkalmazott rézkinyerési eljárás szerint az 5% rezet tartalmazó ércet aprítása után a rézolvasztóba irányítják. Ez a magasabb réztartalmú érc az összes feldolgozott anyag 30% körüli részét teszi ki. A II–III. osztályba tartozó rézércet mosása után nedves töményítésnek vetik alá. A fennmaradt mennyiség a hányóra kerül, bár ennek is van réztartalma, igaz, 1% alatt. Ezt cementálás útján hasznosítják, akárcsak a bányából kifolyó vizet, amelynek réztartalma jelentős. A bányavizet favályúkon át vezetik, amelyekbe vassíneket, rudakat helyeznek. A végbemenő elektrokémiai folyamat hatására a réz-szulfát-oldat, amelyet a bányavíz tartalmaz, leadja rézionjait az elektronegatívabb vasfelületre, a következő vegyi reakció szerint: $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$.

Az így keletkező 50-60% réztartalmú le rakódás lefejthető a vasfelületről, a keletkező réz mennyisége évente a több tíz tonnát is elérheti. Akkor, a 19. század végén, már

1. ábra. Porrá tört rézérc fajsúly szerinti szétválasztása szérrel.

sűrített levegővel működtetett fúrógépeket használtak a kitermelésben, megkönnyítve ezáltal a bányászok nehéz fizikai munkáját, a kézi fúrást. A kor bányagépesítésének alkalmazása meghozta látványos eredményét, a réztermelés 1908-ban már évi 3000 tonnára emelkedett. Említettük, hogy a II–III. osztályú rézérc további feldolgozás előtt az ércmosóba került. Balánbányán két kötőrt, négy aprítót, négy rázóasztalt használtak, amelyet válogatószalag, választódobok követtek. Az itt szétválasztott rézércnek a legkevesebb rezet tartalmazó része további őrlés céljából golyós malomba és osztályozó tölcserékebe került, majd a termelési kapacitásnak megfelelő felületnagyságú, 12 darabból álló szérre⁸ irányították. A szér fajsúly szerint osztályozza, vízáram segítségével, a porrá zúzott ércet. Az így nyert dúsított ércport oltott mésszel (20-30 százalékbán) keverik, majd tojásbriketté préselik. Az így nyert brikettek az olvasztókemencébe kerülnek, ahol a nagyobb koncentrációjú rézércel együtt olvadnak meg.

Ez volt nagyjából a 19. századi rézércfeldolgozás technológiája.

Theophilus Presbyter *A különféle művességekről* című könyvében a rézérc feldolgozá-

sát a következőképpen mutatja be: „...Ha rezet találnak, nagy fáradsággal, ásással vagy töréssel termelik ki. Zöld színű, nagyon kemény ásvány, természettől fogva ólommal van keverve. A nagy mennyiségben kiásott kőzetet máglyára teszik, és mész módjára égetik. Közben a színét nem veszti el, de a keménységét igen, és törékennyé válik. Utána apróra törve kemencébe rakják, és fújtatók segítségével, szénttűzőn éjjel-nappal fújtatják. Ezt gondosan és óvatosan kell csinálni. Előbb szenet kell a kemencébe rakni, majd az apróra tört követ ráönteni, majd újból szenet és újból követ kell rakni, amíg a kemence megtelik. Amikor a kő kezd elolvadni, az ólom bizonyos nyílásokon kifolyik, és bent csak a réz marad vissza. Miután ezt a műveletet hosszú ideig fújtatva elvégezték, hűtik és kiszedik, majd további ércet raknak be hasonló módon.” (Theophilus Presbyter 1986. 115–116.)

Olvasztókemencéjének leírása is olyan nyira pontos, hogy ma is elkészíthető, alkalmazható rézérc olvasztására: „Négy kő áll keresztbe kereszt alakban, egymástól egy lábnyi távolságra, részben a földbe ásva, egy láb magasságra azonban a földből egyformán kiállnak és a felületük teljesen sík. Ezekre a kövekre négy darab ujnyi vastagságú, négyszögletes vasat tesznek, amelyek olyan hosszúak, hogy az egyik kőtől a másikig érnek. Közéjük középre ugyanolyan méretű vasakat tesznek, egyenlő távolságban, mégpedig egymástól háromujnyira. Ezekre keresztirányban további – alakra és méretre az alsókhoz hasonló – vasakat helyeznek oly módon, hogy közöttük négyszögletes nyílások képződjenek. Amikor ezt így elrendezték, a vasakra alaposan átgyúrt és lótrágyával kevert agyagot raknak, háromujnyi vastagon, úgy, hogy az a vashoz és a kövekhez mindenütt jól tapadjon, és olyan alakú legyen, mintha a köveken egy kerek tűzhely állna. Ezután kerek fával a vasak közötti hézagokba nyílásokat csinálnak,

akkorákat, amekkorát lehet, és utána alaposan kiszáritják. Ezután a tűzhelytől felfele apró kövekből falat raknak és ugyanabból az agyagból egy köcsögszerű képződményt alakítanak ki, amely a közepétől kezdve szűkül, és magasabb, mint amilyen széles. Még négy vagy öt vaspánttal is körülveszik, kívül-belül ugyanazzal az agyaggal alaposan kikenik. Amikor befejezték, elottott szénnel kevert égő szenet tesznek bele, rövidesen az alsó nyílásokon beáramló levegőfújtatás nélkül lángra lobbantja, és a rárakott fémet azonnal megolvasztja.” (Theophilus Presbyter 1986. 116.) Az olvasztókemence sematikus elvi rajza a **2. ábrán** látható.

Tűzálló olvasztótégely készítésének leírása is szerepel a Schedulában, amellyel a rézérc olvasztásából nyert rezet többször is újra lehet olvasztani: „Végycserepeket olyan régi edényekből, amelyekben korábban vörös- vagy sárgarezet olvasztottak, és kövön törd ezeket apróra. Ezután végycserepeket, amiből a fazekakat készítenek, és aminek két válfaja van: egy fehér és egy szürke színű. Ezek közül a fehér az arany színezésére alkalmas, míg a másik a tégelyek készítésére. Amikor már egészen finomra megőrölted, keverd ezt a nyers földet meghatározott arányban a már kiégetett és megőrölt cseréphez, a következő módon. Végycserepeket és töltsd meg kétszer nyers, háromszor kiégetett agyaggal, hogy ily módon két rész nyers és három rész kiégetett agyag legyen. Az egészet rakd be együtt egy nagy edénybe és önts fel langyos vízzel, gyúrd át alaposan, kalapácsokkal és kézzel, amíg egészen sűrűn folyóvá válik. Ezután végycserepeket, olyan nagyot, amekkora edényt kívánsz csinálni, illetve a kemence méretének megfelelőt, és formázz rajta tégelyt, a megformázás után kend be száraz hamuval, és tedd kemencébe, amíg megszárad. Ilyen módon formázz annyi edényt, amennyit akarsz.

Amikor alaposan kiszáradtak, tégy hármat, négyet vagy ötöt a kemencébe, amennyi belefér, és rakd körül szénnel.” (Theophilus Presbyter. 1986. 116.)

Összehasonlítva a 19. században használt olvasztókemencét, amelyet Balánbányán is felszereltek, a Theophilus által bemutatott kemencével jól látható a közel másfél évezredes fejlődés, fejlesztés eredménye. Az évszázadok folyamán kialakult, rezet igénylő iparágak fejlettsége az olvasztókemencék komplexitásában, termelékenységében is érzékelhető. A rézércek feldolgozásában a

2. ábra. Rézolvastó kemence Theophilus Presbyter nyomán

19. század igazi ugrásszerű fejlődést jelentett. Balánbányán is üzembe helyeztek új Water Jacket-kemencét, amely vízköpenyes típusként vált ismertté. Termelékenységének köszönhetően a napi 75 tonna rézérc feldolgozásával fölülmúlta minden addig ismert rézércfeldolgozási technológia termelékenységét. Mindezt 13 tonna koks, 20 tonna salakképző mészkő és 6-7 tonna rézsalak hozzáadásával, amiből 3,5-4 tonna tiszta réz keletkezett. A kemence egyszerűsített rajza a **3. ábrán** látható, és a következő fő részekből állt:

1. feltöltőnyílás;
2. levegőbefújó csővezet;
3. égési gázokat kivezető nyílás;
4. olvadékkieresztő vagy csapolónyílás;
5. az olvasztótér vízköpenyes hűtése;
- A. olvasztókád;
- B. olvasztótégely (kreuzet);

A kemencében végbemenő pirotechnológiai folyamat hat szakaszra osztható, és ennek

3. ábra. Water Jacket vízköpenyes, rézércolvastó kemence

megfelelően öt funkcionális része van az olvasztókemencének. Az I., II., III. részben a redukációs folyamatok mennek végbe, a IV. rész az olvasztási zóna, az V. a túlhevített zóna és a VI. a szétválasztó zóna, ahol a kisebb fajsúlyú salak és a megolvadt, magasabb fajsúlyú fém szétválk.

Az olvasztókemencében előállított réz tisztaságának javítására szolgált a következő kétlépcsős hőkezelés. Első lépésben a megolvadt rezet, amely bizonyos mennyiségű salakanyagokat is tartalmazott, Bessemerkonverterben tovább hevítették. A konverter belső fala salakképző anyaggal volt kibélelve, 30 cm vastagságban. A bélés anyaga kvarchomok és agyag keveréke. Ezt a konverter belső falára tapasztként felvitték, majd lassú melegítéssel, később hevítéssel kiszáritották, kerámia minőségre kiégették. Az így kiképzett Bessemer-körtében (így nevezték körte alakjára utalva) maximum 8-9 finomítási eljárást lehetett véghezvinni, ugyanis a konverter bélésének anyaga a magas hőmérséklet hatására vegyi reakcióba lépett a rézércből visszamaradt salakkal, kivonva azt a fémolvadékból. Minden egyes eljárás után a bélés vékonyodott, elhasználódott.

Ahhoz, hogy ez a finomítási eljárás végbe menjen, levegőt fújtattak át az olvadákon, nagy kapacitású légsűrítőt használva erre a célra. A többletlevegő oxigéntartalma megnövelte az olvadék hőmérsékletét, a salak kisebb fajsúlya következtében a túlhevített fémolvadék felszínére emelkedett. A konverter téglényének billentőszerkezete pedig lehetővé tette a salak többszöri leöntését, végül az olvadt fém rudakba öntését.

Balánbányán ebben az időben öt konverter volt használatban, amelyből négy előkészületben (szigetelésük újjátételét jelentette), egy pedig használatban volt. A konverterezés eredménye 99,4-99,7% tisztaságú réz, amit

további finomítás céljából egy újabb olvasztással, lángpest kemencében, 12-16 órás hevítéssel magas hőmérsékleten tartva már 99,97% tisztaságú rezet nyertek. A magas tisztasági fokú réz volt a balánbányai rézmű hírnevének megalapozója a felhasználói piacon. Nem hagyhatjuk ki a fejlődés-fejlesztés sorából a rézérc dúsításának új technológiáját, a nedves dúsítást. Ez helyettesítette a bemutatott középkori hosszas és költséges pörköléses dúsítást. Az új eljárás a kibányászott rézérc aprításával kezdődött, ahol a nagyobb réztartalmú ércdarabokat külön technológiával, a régi módszerrel dúsították. A rézérc aprítását Balánbányán két kötőrgép, négy aprító végezte, amelyekhez négy rázóasztalt csatlakoztattak. A rázóasztalról a nagyobb ércdarabokat a válogatószalagra, a kisebb darabokat a választódobokba irányították. A választódobok ismét szétválasztották az apró rézércet fajsúly szerint, ami lehetővé tette a kevés rezet tartalmazó érc további feldolgozását golyós malmokban. A golyós malmokban porrá őrölt érc szélékre került. Itt ismét egy újabb, fajsúly szerinti szétválasztás következett. A szérelésre szánt őrleményt vízzel összekeverték, így keletkezett a zagy, amit a szérelő ferde felületére irányítottak. A zagy folyásának sebességét a szérasztal dőlési szögének változtatásával szabályozták, mert ez meghatározta a zagy áramlási sebességét a szér felületén, a réz-részecskék különválását a meddő kőportól. A szérelést addig ismételték, amíg az őrlemény fajsúly szerint teljes mértékben szétvált, és már nem maradt rézpor a művelet után a szérasztalon. A művelet elég lassú és vízigényes. Minden szérhez egy kiszolgáló személyt alkalmaztak, aki a beáramló víz hozamát szabályozta, és a keletkezett rézport eltávolította a szérasztalról. A keletkezett rézport oltott mésszel keverve briketté

préselték, így került az olvasztókemencébe. A meddő iszapot vízsugárral a csatornába irányították.

A bemutatott eljárást a 20. század elején, 1908-ban még alkalmazták Balánbányán. Ez a kor leginkább használt technológiája volt az érckohászatnak. A kor bányászati csúcs-technológiáját alkalmazva az éves termelés 3000 tonna volt (Barabási László 1996. 68.).

Az 1890–91 közötti időszakban kísérleteket végeztek egy új rézércdúsító eljárás bevezetésével, ami a szegényebb réztartamú ércek feldolgozására irányult volna. Ennek lényege az őrlemény többszörös lúgzásában állt, de a kísérlet nem végződött a várt eredménnyel. Így a korábban alkalmazott eljárás továbbra is használatban maradt. (Weisz Tádé 1891. 149.).

Az első világháború küszöbén egy újabb csődhelyzet alakul, amit semmi sem bizonyít jobban, mint hogy az egykor 400 személynél is több alkalmazottból csupán három személy maradt a rézműnél, az őrségi feladatok ellátására. 1916-ban a császári és királyi katonai parancsnokság egyszerűen tulajdonába veszi a rézművet, egy év múlva pedig 1917-ben eladja a Budapesti Phönix Kénsav és Vegyi termék Gyár RT-nek. Ezáltal létrejött a balánbányai kénsavgyártás, amelynek nyersanyaga az addig felhasználatlan pirit (vas-szulfid) kéntartalma.

Az új tulajdonos ismét jelentős beruházásokkal kezdi működését. 677 kW generátorteljesítményre növeli a erőművet, a fogyasztás 465 kW. A nagy fejlesztések háttérében a hadiipar felvevőpiaca volt. Háborús évek jártak, a réznek hatalmas felhasználója volt a hadiipar.

A háború végével a réz piaci ára is csökkent, ami egy gazdasági válság előjeleként is értelmezhető volt. De nemcsak a réz piaci ára csökkent, a kitermelt rézérc fémtartalma

is alacsonyabb volt. Ezért a tulajdonosok a rézsalak újrafeldolgozásával kísérleteztek, az olcsóbb réz reményében.

Az 1929–33 közötti időszakot a nagy gazdasági világválságként jegyzi a történelemtudomány. A válság közvetlenül érinti a balánbányai rézművet, amely 1930. november 15-én ismét bezár. A feldolgozóüzem gépeit a cég leszerelte, és a Nagybánya körzetéhez tartozó vállalataihoz szállították. Ezzel végérvényesen megszűnt a rézkohászat Balánbányán.

A második világháború idején a kitermelt rézércet a további feldolgozás céljából más feldolgozóüzemekbe szállították. 1944. szeptember 8-án Balánbányán is átvonult a front, ennek következtében a kitermelést is megszüntették. A következő időszak Balánbányán 1948 után, az államosítást követően alakult ki, de rézkohászat többé nem létezett Balánbányán. A kitermelés újraindult, de ezt már a népi demokratikus, majd a szocialista tervgazdaság szabályai szerint fejlesztették, irányították

Vasércbányászat, vaskohászat

A vasat már i. e. 2000 évvel ismerték, igazi elterjedése azonban a kora középkorhoz kapcsolható. Az emberiség legtöbbet használt anyaga „*a földkéregben az oxigén, a szilícium és az alumínium után a leggyakoribb elem*” (Tichy Géza 2007. 315.). A népesség rohamos növekedése újabb, megművelhető és termő mezőgazdasági területek kialakítását tette szükségessé. A föld megművelését aligha lehetett volna fából készült szerszámokkal, eszközökkel hatékonyan végezni. A kezdetekkor ritkább fém, mint a bronz, de az igavonó állatok patkolása, az ekevas alkalmazása, vasból készült szerszámok készítése, majd az építészeti alkalmazások, nem is beszélve a fegyverkészítésről vasat igénylő

tevékenységek, amelyek meghatározták az új fém egyre szélesebb körű alkalmazását. „Számos nézőpontból a vas sokkal hasznosabb az embernek, mint az arany [...] Vas nélkül a nép nem védekezhethetne ellenségeitől, minden kézművesség a vasat használja” – szögezi le 1260-ban a híres ferences rendi angol tudós, Barthélemy (Jean Gimpel 1983. 37.).

Nyugat-Európa középkori vasiparát az angliai Sussexben, Svédországban, Spanyolországban találjuk, de számos régészeti lelet bizonyítja, hogy a vasgyártás a Kárpát-medencében sem volt ismeretlen. Somogyban, Magyarországon, régészeti ásatások 45 kemencét magában foglaló vasolvasztó műhelyegyüttest tártak fel, amelynek ipartörténeti értéke mellett korai művelődéstörténetünk megismerése szempontjából is nagy jelentősége van. Arra a kerámia fűvókatöredékre utalunk, amelyet itt találtak, és amelyen a 9–10. századi nyelvmemlékünk, a székely-magyar rovásírásos bevéset, a FÜNÁK szó betűi találhatóak, ami mai értelmezésben fűjtasak. Ezt az első magyarul írt műszaki szavunknak is tekinthetjük.

Erdélyben és Székelyföldön a vas elterjedését, a vasgyártás kezdeteinek nyomait a szkíták nyugatra tartó vándorlásával, foglalásával, az i. e. 1600–1550 körüli, majd Erdély meghódítása után az i. e. 700–400-ig terjedő időszakhoz lehet társítani. A folytatás már a keltáknak tulajdonítható, akik elől a szkíták visszavonulásra kényszerülnek (Roska Márton 1929. 302.).

Bár írott dokumentumok csupán a 17. századtól léteznek, az őskori és ókori vas-kőfejtés nyomai, de különösen a vasolvasztó kemencék maradványai, kemencetöredékek, salakmaradványok tanulmányozható tárgyi emlékei letűnt korok vasgyártásának. Csíkdánfalván, Csíkszentdomokoson, Bardócon, Madéfalván Csíkszentkirályon, Csíkszent-

simonban, Kirulyban, Székelyszáldoboson, Nagybaconban, Bibarcfalván és még jó néhány település körzetében kerültek elő a kezdetleges vasgyártás ilyen maradványai, eszköztöredékei. A kezdetekkor a felszínre került vasköveket gyűjtötték össze, és ha ez már nem volt eredményes, nyílt gödrökből termelték ki, majd ezután folyamodtak földalatti tárnák kialakításához.

A felhasznált vasércek, vaskövek többnyire oxid típusúak voltak. A magnetit, a hematit, limonit és sziderit a gyakrabban előforduló vasércek. Egyes régészek a kalkopiritet is a vasat tartalmazó és a kezdeti vasgyártásban feldolgozható ércek közé sorolják. A Hargita-hegység vulkanikus és posztvulkáni tevékenységének eredményeként a vastartal-mú kőzetek a hegyvonulat teljes hosszában megtalálhatók. A **3. táblázat** Székelyföld vasérceinek vegyi összetételét és néhány lelőhelyét tartalmazza. A vaskő vas-oxid tartalma mellett jó néhány más vegyületet is tartalmaz. Ezek főleg szilikátok, alumínátok stb., amelyektől a kohósítás folyamán meg kell szabadulni, ezek alkotják a kohósítás salakját. Az érc olvasztása a keletkező fém és salakanyagok részarányának függvényében változó mennyiségű hőenergiát igényelt. Az olvadáshoz szükséges hőenergiát faszénégetéséből nyerték. A székelyföldi vasgyártás szénigényes művelet volt. Ott, ahol huzamosabb ideig működtettek olvasztókemencéket, valóságos erdőirtás is folyt. Az őskori és ókori vasgyártás termékei erősebben korrodálódtak, mint az ásatag réz- és bronztárgyak, ezért jóval kisebb arányban gyarapítják a régészet által feltárt tárgyak sorát. Számos bronzlelet felületén vas-oxid-szennyezés észlelhető, ami vasból készült, de eltűnt tárgyakkal való érintkezésükre utal. A vas nedvességet és oxigént tartalmazó közegben erőteljesen, a teljes megsemmisülésig korrodálódik.

3. táblázat. Székelyföld néhány vasérclelőhelye az előforduló vasérc vegyelemzésével (Technika Történeti Konf. Szilágysomlyó 2014. június 27–28.)

Tartalom: Lelőhelyek	Limonit: Szentkereszt- bánya, Lővéte	Agyagvasérc (szferosziderit): Száldobos	Mangán- vasérc: Gyergyóholló	Kovasavas vörös vaskő: Vargyas, Füzes oldal	Kovasavas vörös vaskő: Alsórákos, Kárhágó
Vas-oxid	65,14%	48,02%	13,52%	12,52%	22,46%
Kovavas	17,82%	28,80%	56,86%	83,58%	50,08%
Réz-oxid	0,01%	–	–	–	–
Alumínium-oxid	2,53%	5,24%	–	nyom	11,88%
Mangán-oxid	2,43%	1,93%	21,05%	nyom	–
Kén	0,05%	–	0,04%	–	–
Kalcium-oxid	0,57%	1,56%	1,88%	nyom	2,91%
Magnézium-oxid	0,47%	0,59%	0,02%	nyom	2,12%
Foszforsav	0,17%	–	0,04%	–	–
Izzítási veszteség	12,54%	12,73%	1,40%	2,24%	10,26%

Az őskori és ókori vasgyártás helyszínéit salak, valamint olvasztókemence-romok együttese jelzi. A vasolvasztó kemence nem volt egy grandiózus építmény. A henger vagy csonka kúp alakú kemencét a helyszínen található kő és agyag felhasználásával építették, zömében a vastartalmú érc lelőhelyének szomszédságában. A kemence 30-40 cm belső átmérőjű 60-70 cm magas építmény volt, belső falát agyaggal simára tapasztották, majd lassú tűzzel kerámia minőségre kiégették. Zárt térben, léghuzat hiányában csupán lassú égés keletkezhet, aminek hőmérséklete nem éri el a vasérc összetevőinek olvadási hőmérsékletét. A természetes huzat növelése volt a kohósítási folyamat első, tudatos fejlesztése. Ez abból állt, hogy a kemence falának alsó szakaszán nyílásokat készítettek. A beáramló levegő és a kemence tetején kiáramló égési gázok hőmérséklet-különbségéből adódó nyomáskülönbség keletkezett. Minél nagyobb volt ez a különbség, annál nagyobb lett a kemencén átáramló levegő sebessége. Ennek következtében nagyobb mennyiségű

levegő, több oxigén áramlott át a kemence izzórakományán, növelve ennek hőmérsékletét. A rakomány faszenet, vaskövet tartalmazott, olyan elrendezésben, hogy legalul a szén, utána az aprított vaskő váltakozott vékony rétegekben.

A faszen égésének kettős hatása van a kemencében: egyrészt az égés hőhatása, másrészt az égéstermékek, a szén-dioxid és szén-monoxid keletkezése. Akármilyen tökéletes égést is elértek, szén-monoxid is keletkezett. A szén-monoxid redukciós hatására magas hőmérsékleten a vas-oxid oxigénjével szén-dioxidot alkot, a vegyi reakció végtermékei a szén-dioxid és a szivacsos vas. A legegyszerűbb redukciós folyamat a következő:

A folyamat ennél jóval bonyolultabb. A befűjt levegő az izzásban lévő szénnel, a teljes égés eredményeként, szén-dioxidot képez:

A keletkezett szén-dioxid mint a füstgázok összetevője a kemence felső nyílása felé ha-

ladva újabb izzó szénrétegen halad át, ahol a következő vegyi reakció megy végbe:

A keletkezett szén-monoxid redukálja a vas-oxidot:

A természetes huzatot tovább kellett növelni, mert a keletkezett hőmérséklet nem volt elegendő a vasérc megolvasztásához. Kémény kialakításával elérték azt, hogy a vasérc salakanyaga, amelynek olvadáspontja jóval alacsonyabb a vas olvadáspontjánál, megolvadt, és egy része kicsorgott, elvált az ércről. A vas, bár még így sem vált folyékonyvá, egy szivacsos állagú lepénnyé állt össze. Ezt a 10-15 kg körüli korongot vaslepénynek, bucavasnak, a kemencét bucakemencének nevezték. A kezdetleges, kémény nélküli őskemence hosszanti metszetét a **4. ábra** mutatja, a **5. ábra** pedig a fűjtatós kemencéjét.

Ezzel az eljárással csupán annyit értek el, hogy a vastól idegen anyagok egy része megolvadt, és kicsorgott a szivacsos bucából. Csak ezután kezdődött az emberi erőbedobás, a buca kiszabadítása. A kemencét szétszedték, majd a megszilárdult salakkal körülvett bucát kiszabadították a kemence

szorításából, és a vaslepénnyről kalapálással eltávolították a szilárd salakot. Ezután a bucát újból felizzították, és darabokra vágták. A bucadarabokat ismét izzították és kalapálták. A többtonnás kalapácsütés erőhatásának köszönhetően valósággal kikalapálták a szivacsos szerkezetből a maradék salakot, egyben zömítve is a vaslepényt. Hosszú évszázadokon át alkalmazták a bucaeljárást. Több mint 10-15 kg vasszükségletnél több kemencét is működtettek egy időben. Minden buca után a kemencét újból felépítették, ami meglehetősen időigényes munka volt. A kemencetípus nem csak Erdélyben volt használatban. Szkíták, kelták, a görög-római világban is ismerték és használták. Ezért nem egyértelmű, hogy az erdélyi vasgyártás őskori és ókori szakaszában használt bucakemencét honnan eredeztesse a régészet (Ferenczi István 1999. 122.).

Régészeti ásatások felszínre hoztak olyan olvasztókemence-maradványokat is, amelyeket természetes földlépcsőhöz építettek úgy, hogy a kemence mellvéd fala leszerelhető volt. A mellvéd fal tartalmazta a levegőző nyílásokat és a fűvócsövet, amit égetett agyagból készítettek. A mellvéd falat többször is felhasználták, természetesen az esetleges meghibásodások kijavítása után. A félko-

4. ábra. Kémény nélküli bucakemence

5. ábra. Fűjtatós kemence

rongos, fúvócsöves, égetett agyagból készült mellvédes kemence újításnak számított, egyes feltételezések szerint dák eredetűként is elképzelhető. Ez a kemencetípus csupán Székelyszáldobosról és Sepsibesenyőről ismeretes (Ferenczi István 1999. 122.).

A bucaeljárás tökéletesítését a mesterséges léghuzat, a fújtatás alkalmazása jelentette. Juh- vagy kecskebőrből készítették fújtatót, amit kézzel, emberi erővel működtettek. A kemence huzatkeltő nyílásához kerámiacsövet illesztettek, agyaggal rögzítették, majd ehhez csatlakoztatták a fújtatót. Olvasztókemence falmaradványai fújtatócsőmaradványokat is tartalmaznak, arra utalva, hogy mesterséges huzattal működő vasércolvastásról van szó. A megnövekedett huzat hatására nőtt az égést tápláló oxigén mennyisége, a szén égési hőmérséklete, a vasérc is hamarabb megolvadt, a salak is folyékonyabbá vált. A bucakemencék fala építőjük igyekezete ellenére nem volt egyenletes. De nem csak ezért omlottak össze használatuk beszüntetését követően. Az idő, a természeti környezet hatása és maga a fejlődés juttatta oda a bucakemencéket, hogy *„máig tudott esetben (egy)sem maradt épen”* (Ferenczi István 1999. 123.).

Vegyí, akár spektroszkópos elemzések hiányában nehéz megállapítani, hogy mikor kezdték alkalmazni az őskori vagy ókori vasgyártás kezdetleges technológiájában a salakképző anyagot, a mészkövet, aminek hatására a salakkiválasztás hatékonyabb lesz, mivel a salak folyékonyabbá válik. A salakképző anyag a székelyföldi vasérc környékében fellelhető, ennek ellenére a kezdetleges vaskohászat maradék nyersanyagai és salakmaradványai között csak nagyon ritkán van jelen a salakképző anyagként használt mészkő. A kemence rakományának minden harmadik rétege salakképző anyag kellett

hogy legyen.

A Hargita-hegység vulkanikus és poszt-vulkáni tevékenységének eredményeként gyakoriak a vaskőképződmények. A felszínre törő limonit vagy hematit jelzései lehetnek egykori vasgyártásnak, kemence és salaktöredékek létezésére is utalhatnak. Így kerültek elő Székelyföld településeinek közelében bucakemencék maradványai. Ezek: Barót, Bibarcfalva, Bözöd, Csíkdelne, Csíkkozmás, Csíkmadaras, Csíkszentkirály, Felsőcsernáton, Csíkszettamas, Magyarhermány, Székelyszáldobos, Torja, Székelypetőfalva, Csíkszentdomokos, Csíkcicsó, Csíkszentsimon, hogy csak azokat említsük, amelyek szakdolgozatokban is szerepelnek. Néhány kemence környezetében vasból készült tárgyak is előkerültek. Legkorábbi tárgyak, amelyeket az i. e. 12–11. századra datáltak, Felsőcsernátonból és Székelypetőfalváról származnak. A folytonosságra, a 12–13. század vasművességére utalnak azok a leletek, amelyeket Csíkcsatószeg, Csíkszentimre, Csíkszentkirály vagy Nagygálambfalva körzetében tártak fel (Ferenczi István 1999. 127–128.).

A következőkben csupán két helység feltárt kincseinek bemutatásával ecseteljük azt az örökséget, amelyet több ezer évvel előttünk élt népek hagytak az utókorra. Kincseknek nevezzük, amikről vitatkozni is lehet. Kincs alatt valami nagyon nagy értékű tárgy jelenik meg képzeletünkben. Meg is mosolyogjunk, ha egy salak és kemencemaradványt a kincsek kategóriájába sorolunk. De gondoljuk csak meg, mennyivel szegényebbek lennénk, ha nem tudnánk ezekről, és nem ismerhetnénk meg az itt élő, békésen alkotó őskori/ókori népek mindennapjaihoz tartozó fémművességet.

Felsőcsernáton Hegyes-tetőn, 1980-ban egy vízmosásban nyíllukas vasfejszét mossott ki a tavaszi hóolvadás, esőzés, jelezve, hogy a környéken feltárást érdemes végezni.

A feltárás meg is történt, aminek eredménye: kora vaskori település jellegzetes kerámiatöredékekkel, a vassfeldolgozásra utaló töredékes öntőkanál-, öntőminta- és vassalakmaradványokkal, és ami nagyon fontos, darab vas is gazdagította a leletegyüttest. Spirálkorongos bronzfibula, vaskés, szárnyas vasbalta különböző méretű (14-17 cm) vasrudak, öntőkanáltöredék, amit bronzöntésnél használhattak, a leletegyüttes, amelyben számos más tárgy vagy töredékük, lakóház alapja, tűzhelymaradványok mind azt igazolják, hogy „a feltárt település a kora vaskorba, a Hallstatt B-be sorolható” (Székely Zsolt 2007, 73-79.). A bronz lándzsahegy, a bronzfibulák jelenléte vastárgyak együttesében arra utal, hogy a két fém, a bronz meg a vas még hosszú évszázadokon át együtt volt használatban, és arra is, hogy már a késő bronzkorban vaseszközöket is tudtak készíteni.

Az ókori vasgyártásban felhasznált vaskövek gyakorta felhasznált típusai a Csíki-medencében az ásványvízforrások környezetében, mocsaras rétek és árterületek viszonylag könnyen kitermelhető, felszíni vas-oxid lerakódásaiként keletkeztek, nyersanyagbázisát képezve az új fém előállításának, a vasnak. A könnyen kitermelhető vasérc lehetővé tette a vasgyártást a medence lakóinak, a dákoknak, gótoknak vagy más népvándorlás kori népeknek, akik ezen a területen évszázadokon át éltek, és akik már idetelepülésük előtt is ismerték a vasat, vagy egymás hagyatékát tovább vitték. Nyersanyagbázisként szolgáltak az új fém technológiájának meghonosodásához a felszíni vasérc (limonit, hematit). Kitermelésük és felhasználásuk jelei a Csíki-medence majd minden zugában fellelhetőek. Salaktömbök, a kor vasgyártására jellemző, vas-oxidot redukáló kemencék romjai, maradványok, vasérc és salakképző anyagok maradványai mind arról tanúskodnak, hogy

a szóban forgó terület évszázadokon át a vasgyártás központjainak adott otthont. Azt sem kell elhallgatnunk, hogy mindezek ellenére a Csíki-medence nem sorolható a Kárpát-medence legfejlettebb, legnagyobb vasgyártó vidékeihez, bár nem kétséges, a vasgyártást szakosodott-kötelezett népességréteg művelte itt is (Botár István 2015. 3; Botár István 2001. 165–172.), és főleg helyi igények kielégítésére irányult.

Csíkmindszent határában, Csíksomlyón, Csíkszereda Mikó-varának környezetében nagy kiterjedésű, feltárára váró területen kerültek elő vasgyártásra utaló töredékek. Csíkszentkirály határában egy vasolvasztó töredékeit hozták napvilágra, ami arra utal, hogy itt rendszeresen folytattak vasércolvasztást (6. és 7. kép).

A csíktapolcai Vasfűvő-domb Csíkszeredától 5 km-re kaszálós-szántós területből emelkedik ki, és amint neve is elárulja, egykor itt vasérckitermelés, vasgyártás folyhatott. Erre utalnak a domb különböző részein máig behatárolható érckitermelés gödrei. A domb geizírmaradványnak tekinthető, ugyanis az itt gyakori meleg ásványvizű minigejzírek, langyos borvízforrások lefolyó vizéből a limonit kiválik (Vörösváry Béla 2009. 125.). A Vasfűvő-domb limonitjának aránylag gazdag vastartalma van, bizonyos helyeken eléri a 40-41%-ot. A limonitréteg vastagsága is változó, a legvastagabb lerakódás a 2,5-3 m is eléri. A domb és környéke régészeti szempontból nincs feltárva, csupán a vastag kohósalakréteg árulkodik egykori vasolvasztásról.

A késő vaskor végén (i. e. 500–12) az ós-kori és ókori vasgyártás ugrásszerű fejlődésen megy át, amihez a kor legfejlettebb fémműveseinek, a szkítáknak, a keltáknak és a dákoknak volt jelentős hozzájárulásuk. E három nép öröksége tovább élt, mi több, tovább is fejlődött a rómaiak közel két év-

6. kép. Bucakemence salakgödre a csíksomlyói feltárásból (2019)

7. kép. A bucakemencetöredék levegőbefűjésának nyílása

8. kép. Légi felvétel a felszíni bányászat nyomairól Csikkarcfalva határában

százados dáciai tartózkodása idején. Ekkor Európa legjelentősebb, vasércben gazdag területei római kézben voltak (Gabler Dénes 2009. 43–53.). A rómaiak a vasat széles körben használták. A legnagyobb vasfelhasználó a hadsereg volt, ugyanis: „Egy római legionárius felszereléséhez mintegy 7 kg vasra volt szükség. Ha arra gondolunk, hogy a császárkorban a 30 légió 180 ezer katonájának, ezenkívül a segédcsapatoknak és a flottában szolgálatot teljesítő személyeknek mennyi támadó és védő fegyverre volt szüksége, mennyit használtak fel a hajítógépek, ostromtornyok, hadihajók alkatelmeihez, akkor több ezer tonnára becsülhetjük csupán a hadsereg vas iránti igényét.” (Gabler Dénes 2009. 4353.)

A római kor bányászattal és kohászattal kapcsolatos emlékei főleg a határvédelmi vonal, a limes mentén kerültek elő a Székelyföldön. A határvédelmet biztosító katonai táborok, castrumok vonala követi a Keleti-Kárpátok vonulatát, ahol a vasérc bányászatának és kohósításának reális lehetőségét azonosíthatják.

A védelmi vonal mentén, a katonai táborok és castrumok környezetében végzett régészeti ásatások a római kor vasművességének számos tárgyi bizonyítékát, a civil lakosság használati tárgyait, szerszámaikat, eszközeit tárták fel. A római kor vasgyártásának jelentős központjai Vajdahunyad környékére tehető, ahol hatalmas vasérclelőhelyek voltak, pl. Gyaláron vagy Alsótelek határában. Az itt előkerült olvasztókemencék kivitelezése, bár azok elvileg megegyeznek a székelyföldi kemencék működési elvével, jelentős fejlődést mutat, és több évszázadon át, a római kort is túlélve, használatban voltak. A 6. ábrán egy természetes huzatú bucakemencének hosszanti metszete és alaprajza látható. A kemence, ha a 9. században működött (Kerpely Antal 1896, 210.), feltételezhetően a római korban is használatos volt.

6. ábra. Természetes huzatú bucakemencének hosszanti metszete és alaprajza

A kemencét sziklába vájt hátsó falával, terméskőből épített melső falával, ferde kéményével, 1600 mm magasságával, rakodógaratjának lezárhatóságával, a rakodást elősegítő hídlásával, a későbbi korok (18–19. század) olvasztókemencéinek előfutáraként értékelhetjük. A fenti kemencében egy bucavasat is találtak, ami a kemence feladása után keletkezésének helyén, a kemence aljában maradt. Ebből is következtethető, hogy a római korban sem tudták a vasat folyékony állapotba hozni. „A fűtatók alkalmazása ellenére sem tudták elérni az 1535 °C hőmérsékletet, amelyre a vas teljes kiolvasztásához lett volna szükség. (Általában csak 1300 °C-ig tudták fokozni.) Ezért pl. a nyugat-boszniai bányák mintegy 2 millió tonna salakja még 48% vasat tartalmaz, amit a rómaiak nem tudtak kiolvasztani.” (Gabler Dénes 2009. 45.)

A római kor vasércbányái mind felszíni, mind földalatti tárnák lehettek. A hosszú, folyószerű, tárnákat faoszlopokkal aládúcolták, így próbálták megelőzni a beomlásokat. A következő történelmi korok bányaművelése ráépült a római bányákra, folytatva azokat az adott kor műszaki fejlettségének megfelelően. De a gyakori beomlások és természeti folyamatok környezetváltoztató hatásának

eredményeként csak ritkán kerülnek elő eredeti állapotukban római kori vájatok. A Székelyföldön egyáltalán nem. Kútszerű akna típusú érckitermelést mutat be a **9. kép**, ami egy ókori fogadalmi tábla illusztrációja.

A bucavasat izzított állapotban feldarabolták, a darabokat tovább kovácsolták. A kovácsolás az olvasztásnál is régebbi művelet, a kezdetekkor, amikor még ismeretlen volt a meleg megmunkálás, hidegen kovácsolva alakították ékszerekké, szerszámokká, fegyverekké a természetes aranyat és a rezet. A római kor kovácsoltvas tárgyi emlékei aránylag gyakoriak a castrumok környezetében. Példaként említjük a Székelyudvarhely központjában, építkezési munkálatokhoz kapcsolódó ásatásokkor előkerült római kovácsműhely termékeit szerszám- és eszközkészletét (Radu Zăgreanu – Zsolt Nyárádi 2011. 262–265.). Ezeket láthatjuk **7. ábrán**. A székelyudvarhelyi leletegyüttes vaseszközeihez hasonló kovácstermékeket tártak fel a védelmi vonalhoz tartozó másik székelyföldi castrum környezetében, Mikháza mellett, Markodon.

A római hódítással nem vált rómaivá az egész Kárpát-medence lakossága, de együtt azok a népek, amelyek a Birodalom alatt éltek, megteremtették a nagyipari szintű bányászati és kohászati termelést (László Gyula 1974. 127.). „A római közigazgatásnak a katonai alakulatoknak, sőt a népesség döntő többségének a római Dacia tartományból való kivonulása után, a tervinegek (vizigótok), gepidák, avarok, onogur bolgárok, szlávok kisebb-nagyobb közösségekben való betelepítése után szinte minden tekintetben gyökeresen megváltozott a helyzet. E több évszázadra rugó időszakban a római korban megszokott termelési tevékenység és kereskedelem tetemesen megcsappant, eljelentéktelenedett, lelassult.” (Ferenczi István 1999. 124.)

9. kép. Akna típusú érckitermelés egy ókori fogadalmi tábla illusztrációján

Mi történt a kivonulás után azon a területen, amit ma Székelyföldként jegyzünk? Megkezdődött a népvándorlás kora és időszámításunk kora is. De ez már nem technikatörténeti kategória, ugyanis az első ezredfordulóig a fémművesség műszaki szempontból a római kor hagyományait, örökségét vitte tovább. Annyit azonban meg kell említenünk, hogy: „A népvándorláskor történeti előzményeként [...] a meglehetősen jelentős dák jelenlét, majd a várakat uraló dák vezetőréteg jelenlétének a római Dacia provincia szomszédban zajló kialakulása vetett véget.” (Botár István 2015. 2.) A 3. században a gótok jelentős mennyiségű, vasgyártásra utaló salakot, olvasztókemence-maradványokat hagytak kivonulásuk után, a limonitban gazdag területek szomszédságában. Az ezt követő korban a vasművesség méreteinek jelentős csökkenése következett. Ezt bizonyítják a régészeti ásatások.

A lovak patkolása a 9. századtól kezdődően lendületet adott a vasgyártásnak Európa-szerte.

A vasgyártás további fejlődését az egyre nagyobb mennyiségben igényelt fém tette szükségsszerűvé. A harcászatban már amúgy

7. ábra. Római kovácsműhely termékei Székelyudvarhely központi részén történt régészeti ásatásból

is jelentős a vasból készült támadó és védekező katonai felszerelés, amihez a mezőgazdasági eszközök, szerszámok vasazása is csatlakozott egyre növekvő igényekkel.

A vasgyártás kezdetétől a középkor utolsó évszázadaig a kis térfogatú, kis termelékenységű bucaeljárásos kemencék voltak használatban. A természetes léghezattal vagy izomerővel működtetett fűtatókkal nem lehetett elérni a vasérc folyási hőmérsékletét a kemencében. Az évszázadokon át használt bucaeljárást a 14. század elején vízi kerékkel hajtott, megnövekedett teljesítményű fűtatók váltották fel, forradalmasítva ezáltal az európai vasgyártást.

Az elérhető magasabb hőmérséklet következtében a vasérc és természetesen a vas is folyékony halmazállapotúvá vált, de nem csak ennyi. A magas hőmérsékleten a füst-

gázokban található szén-monoxid széntartalmából és az izzószénből nagy százalékban oldódik a szén a vas kristályszerkezetében. A kohósítás eredményeként 2,06–6,67% szén tartalom esetén öntöttvas keletkezett, amelynek olvadáspontja jóval alacsonyabb a vas olvadáspontjánál, és amely jóval folyékonyabb. Az öntöttvas jelentette az igazi műszaki forradalmat a vasgyártásban.

Mint előbb említettük, az első ezredforduló környékén már számos mesterségnek műszaki leírása van. Így például a már említett Theophilus Presbyter bencés szerzetes kézíratos műve, a *Schedula Diversarum Artium*. A könyv ugyan nem tartalmaz a vasgyártással kapcsolatos leírást, de a szeggyártás és huzalkészítést mint a kovácsmesterséghez tartozó műveletet ma is alkalmazható módon ismerteti.

10. kép. Részlet egy 1677-ből származó leltárból

A 16. század közepén egy időben két műszaki könyv lát nyomdafestéket a bányászat és kohászat témakörében. A *De re metallica*, Georgius Agricola műve latinul és a *De la pirotehnia*, Vannocio Biringucio munkája olasz nyelven. A két mű korszakalkotó, és több nyelvre is lefordították. Mindkettő világos képet nyújt koruk bányászati és kohászati technikájáról. Ezek birtokában fejlődött a következő századokban különösen a kohászat technológiája, a bányászat gépesítése.

A 16–17. században az Erdélyi Fejedelemség vasszükségletének kielégítésére három vasgyártó központot működtetett. Vajdahunyadon és környékén, Torockón és Csíkmadarason fejedelmi vashámorok termeltek, feldolgozva a környékén található vasércet. Az erdélyi vasipar kibontakozásának minden feltétele adva volt. Közel voltak a vasérclelőhelyek, a salakképző mészkö, a fa tölgy-szén alapanyagát adó nagy kiterjedésű erdők, a vízenergia hasznosításának lehetősége, és munkaerőben sem volt hiány. Nem elhanyagolható tényező az sem, hogy a középkori vasgyárakat megelőző évszázadokban bucaeljárásos vasgyártás is létezett.

A fejedelemség korában létező vastermelésről korabeli források is tanúskodnak, ugyanis Csíkmadaras már jövedelmező vasipari központként szerepelt fejedelmi dokumentumokban. Az sem elhanyagolható, hogy a madarasi hámornál Csíkszék tíz településének lakói dolgoztak, mentesülve mindenemű adóterhek alól. A vasgyártás jelentőségét az is alátámasztja, hogy az itt dolgozó csíki, gyergyói és kászeni személyek kiemelkedő munkájuk elismeréséül a lófőiséget is megkapták Báthori Zsigmond fejedelemtől. Gyakorlatilag az egész felcsíki medence vasérclelőhelyeiből származó vasérc ide, a madarasi vashámorba került további feldolgozásra.

A vasgyár és a hámor jövedelmező tevé-

kenysége volt a kincstárnak, értéke is jelentős volt. Ennek tulajdonítható, hogy a fejedelmi kancellária néha zálogba is adta a hámort nehéz gazdasági helyzetének feljavítása végett. A csíkmadarasi hámor a mindenkori erdélyi fejedelmi udvar fontos jövedelemforrása volt, tulajdonát képezte még akkor is, ha rövidebb-hosszabb időre bérbe adta.

A 17. század első felében, 1610-ben Báthori Gábor fejedelem a vasérclelőhelyek egy részét, köztük a csíkszentdomokosit is Bethlen Gábornak, akkor Csíkszék főkapitányának adományozza, aki utóbb, fejedelemé választása után több intézkedést is hozott az erdélyi vasgyártás fellendítése érdekében (Pataki József 1971. 10.).

Ahányszor fejedelmváltás volt Erdélyben, annyszor cserélt gazdát a csíkmadarasi vashámor, de többször is megtörtént, hogy fejedelmi rendeletre a csíki főkapitány fennhatósága alá került. Például Barcsai Ákos fejedelem a csíki főkapitány-nak, Petki Istvánnak adományozta, Apafi Mihály fejedelem 1000 tallérért zálogba adta a vashámor fele részét Daczó Jánosnak, aki szintén Csíkszék főkapitánya volt abban az időben (1668). Apafi Mihály alatt a fejedelemasszony vezette a hámorral kapcsolatos gazdasági nyilvántartásokat.

II. Apafi Mihály apja halála után örökölte a hámor fölötti jogot, sajnos csak rövid ideig, ami a hámor életében rossz irányú fordulatot hozott. 1695-ben Lipót osztrák császár Bécsbe rendelte az ifjú fejedelmet, II. Apafi Mihályt és nejét, Bethlen Katát, akik nem térhettek vissza Erdélybe. Ezután megkezdődött a csíkmadarasi vashámor hanyatlása, egy 1703-ból származó leltári összeírás is például a hámor siralmas állapotát tükrözi. Rohamosan veszíti értékét, 40 forintért adták bérbe akkor, amikor egy ökör ára 10-14 forint volt.

A hámor lassú haldoklása egy 1722-ben keltezett bérbeadási szerződésből is kiviláglik, amelyben már nem esik szó a vasgyártásról, csak a területek, valamint a még működő fűrészmalom és a szénarétek jelentenek értéket.

A vashámor anyagmaradványainak elemzése

Többszöri terepbejárás eredményeként különféle anyagmaradványok kerültek elő: salakmaradvány, nyersvasmaradvány és acélmaradvány.

Ezekből az anyagdarabokból vizsgálati mintákat vágunk ki, amelyeket Thermo Niton XL3T típusú röntgenfluoreszcencia spektrométerrel (XRF), SPECTROTEST TXC25 típusú optikai emissziós spektrométerrel és Zeiss EVO10 pásztázó elektronmikroszkóp energiadiszipatív spektrométerével (EDS) vegyelemezünk. A felkutatott anyagminták felületét, illetve metallográfiai csiszolatokon a belső szerkezetét iqualitrol iMet-Y400 és Olympus PMG-3 típusú fémmikroszkóppal, továbbá sztereomikroszkóppal és pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltunk.

A 4. táblázat az XRF-es vegyelemzés eredményeit tartalmazza.

A táblázat három adatsorát elemezve a következőket állapíthatjuk meg:

- 1. Az anyagmaradványok vastartalma 38,3–74% közé esik. Ebben csak az a rendhagyó a mai vaskohászati maradványok összetételi eredményeivel összevetve, hogy a salakmaradvány vastartalma 38,3%, ami a gyenge kinyerés következménye. A salakban jelentős mennyiségű, értékes elemek, pl. Zn, Ni, Sb található, ezek kinyerése a hámor működése alatt felhalmozódott salakhegyből időszerű feladattá válhat.
- 2. A nyersvasmaradvány-mintadarab természetesen már vasban dúsabb: vastartalma 62,1%-ot tesz ki. Megjegyezzük, hogy a felmért 5,8% Si-tartalom is jellemző az öntvényekre. A Cr- és Sb-tartalom nem túl nagy, de éppenséggel lehet a csíkmadarasi vasércnek sajátossága. A metallográfiai vizsgálatra előkészített, csak polírozott, tehát nem maratott nyersvasmaradvány-mintában jól látható a grafit rozettás eloszlása.
- 3. Az acélmaradvány mintadarab XRF-es elemzésében megjelenik a réz (290 ppm), ugyanakkor csökken a nikkellé részaránya (38 ppm). A cink, alumínium, ón jelenléte komplex ércre utal, ugyan-

4. táblázat. Az XRF-es elemzés eredményei (%)

Salakmaradvány						
Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	As	Sb
38,3	3,2	0,0712	0,0345	0,0092	0,0061	0,0077
Nyersvasmaradvány						
Fe	Mn	Cr	SiO ₂	P	S	Sb
62,1	0,75	0,0498	5,8	0,76	0,11	0,0109
Acélmaradvány						
Fe	Cu	Ni	Zn	Mo	Al	Sn
74	0,0290	0,0038	0,0100	0,0020	0,0100	0,0100

akkor kuriózum, hogy a vas olvadási hőmérsékletén megmaradtak ezek az elemek. Az itt előállított acél foszfor- és kéntartalma az XRF-es vizsgálat szerint csekély (a spektrométer nem mutatta ki ezen elemeket), de a metallográfiai vizsgálat és a csiszolatok különböző pontjaiban végzett EDS-analízis világosan mutatja, hogy az összetétel az acélmin-ta csiszolatának különböző pontjaiban változó volt. A szennyezők mennyisége jelentős, és az anyagra a durva salakosság jellemző, ami természetes velejárója a korabeli gyártási technológiának.

A korabeli vasművességre jellemző, többszöri felmelegítés és kovácsolás hatására a kezdetben nagyon inhomogén vasanyag homogenizálódhatott, kiegészült a grafit, és kikovácsolták belőle a salakot; így vált igazi, használható acéltermékké. Ha nagyobb mennyiségben kerülne elő nyersvas és acéltermék, amit elemezni lehetne, az eredmények is nagyobb pontosságúak lennének. Talán egy átfogó ásatás hozhatna felszínre újabb vashulladékokat, bár a valószínűsége kicsi, tudva azt, hogy a leltárok pl. a bejárat kapu elemeinek rögzítésénél használt vaszegeket darabonként tartalmazzák.

Az anyagmaradványok mikroszerkezetének vizsgálata

A salakmaradvány vizsgálata

A helyszíni gyűjtés során talált anyagmaradványok közül a salakmaradvány kémiai összetételét EDS-analízissel is meghatároztuk, a **11.a képen** látható felületet vizsgálva, amely a salakdarabnak a belső töretfelülete. Az EDS-analízis intenzitásdiagramja és az abból meghatározott összetétel a **11.b képen** látható. Az EDS-elemzést több területen is megismételve azt kaptuk, hogy tömegrészarányban a Fe-tartalom rendre 42-44%, a Si-tartalom kb. 7%, a Mn-tartalom 2-3%, és 1%-nál több alumínium is jelen van a salakban. Az XRF-es elemzéssel összevetve feltűnő, hogy az EDS-elemzés jóval nagyobb mennyiséget mér a foszforra (5-6%); ez az eltérés rávilágít az XRF-es elemzés korláta-ira (Borkhodoev 2016; Kadachi-Al-Eshaikh 2012; Liss-Levy 2016; Rousseau 2001).

A nyersvasmaradvány vizsgálata

A leletből kivett anyagvizsgálati mintából metallográfiai csiszolatot készítettünk, amelyet polírozott állapotban és 4%-os Nital marószerszerrel marva is vizsgáltunk, fémmikroszkóppal és pásztázó elektronmikroszkóppal

11. kép. A salakmaradék töretfelületének egy részlete (a), továbbá a rajta bejelölt területről felvett EDS-elemzés intenzitásdiagramja a kémiai összetétellel (b)

egyaránt. A **12. kép**en az ISO 945-1:2019 szabvány szerint azonosítható a lemezes szerkezetű grafit alakja, eloszlása és mérete. A grafit alakja az I. és a II. osztály határára esik, eloszlását tekintve a B osztályba (rozettás grafit), mérete alapján pedig a 3. és a 4. fokozat határára sorolható a nyolcfokozatú skálán. A fellelt minta felülete közelében a ferrit és a grafit fázishatára mentén széles sávban korrodálódott az anyag, ez látható a **12.c-d képen**.

A polírozott állapotban végzett vizsgálat csak a grafit szerkezetének meghatározását teszi lehetővé, a mátrix azonosításához a maratás elengedhetetlen (Renkó–Kemény–Nyirő–Kovács 2019). A maratás azonban roncsolhatja a felületközeli rétegben a grafit-

lemezek határfelülete mentén korrodálódott részeket, ezért a maratás előtt végeztük el a pásztázó elektronmikroszkóp EDS-elemzőjével az anyag egyes, jellegzetes pontjai kémiai összetételének meghatározását. A **13. kép** mutatja a polírozott állapotú minta szekunderelektron-képét. A **13.b képen** látható felület egészét vizsgálva a fő összetevők mennyisége a vas és a szén nélkül: Si = 0,77%, Mn = 1,17%, P = 1,72%.

A felületközeli rész szövatképét mutatja a **14. kép**. A grafitlemezek fázishatárán korróziótermék képződött, amelyben az EDS-elemzés atomrészhányadban 43% vasat és 56% oxigént mutatott ki, amely arány közel áll a magnetit Fe/O arányához. A **14.b kép** egy részletét kinagyítva mutatja a **15. kép**,

12. kép. A nyersvasmaradék mikroszerkezete polírozott állapotban, a minta belső részén (a–b), valamint a korrodálódott felület közelében (c–d)

13. kép. A nyersvasmaradék szövetszerkezete polírozott állapotban, szekunderelektron-képen

14. kép. A nyersvasmaradék felületközeli részének szövetszerkezete polírozott állapotban, szekunderelektron-képen

amelyen jól látható egy foszfideutektikumot tartalmazó rész. Az eutektikumban a foszfor atomi részaránya 17%, a foszfidlemezben pedig 25%.

A Nitallal végzett maratás kitűnően előhívta a szövetszerkezet vasdús szövetelemeinek morfológiai jellemzőit. A **16. kép** szövetképeiből kitűnik, hogy a megszilárdulás során a rozettás grafit kiválása után az eutektikus hőmérsékletre hűlő olvadék mintegy háromnegyede ausztenit alakult. Az olvadék maradékából lédeburit alakult ki. A lehűlés

eléggy gyors volt, amit az jelez, hogy mind a lédeburit, mind pedig az ausztenitből keletkezett perlit szerkezete rendkívül finom.

Az acélmaradvány vizsgálata

Ebből az anyagvizsgálati mintából is metallográfiai csiszolatot készítettünk, majd polírozott állapotban és Nital marószerezrel végzett maratás után is vizsgáltuk. A **17. kép** szövetképei arról tanúskodnak, hogy a lelet anyaga jelentős átalakításokon esett át a nyersvassá alakítást követően. Az így kiala-

15. kép. A szövetszerkezet foszfideutektikumot tartalmazó részlete szekunderelektron-képen

16. kép. A nyersvasmaradék mikroszerkezete polírozott állapotban, a minta belső részén (a–b), valamint a korrodálódott felület közelében (c–d)

kult szövetszerkezet fő jellemzői az alábbiak:

- a) Az anyag a vastagság mentén nagyon erősen eltérő széntartalmú zónákra tagolódik. A kis C-tartalmú részekben a csak a ferritszemcsék szemcsehatárai maródtak meg, míg a sötétre maródott zónákban nagy a C-tartalom, mivel itt csaknem teljesen eutektoidos az anyag összetétele.

A **17.e képen** pl. a perlites tartományok alkotják a szövetnek kb. a 95%-át, a pro-eutektoidos ferrit csak kb. 5%-ot tesz ki.

- b) Az anyag nagyon jelentős mértékben salakos, a salakzárványok főleg a felülethez közeli sávokban dúsulnak. Itt, a felületközeli zónában viszont a C-tartalom 0,037%-ra csökkent a SPECTROTEST-es

17. kép. Az acélmaradék minta mikroszerkezete a vastagság mentén kialakult egyes sávokban (marószer: Nital-4)

18 kép. a) Az acélmaradék minta mikroszerkezete a nagy C-tartalmú rétegben (marószér: Nital-4).
b) A salakzárvány mikroszerkezete polírozott állapotban

mérés szerint. A szén mellett a Si, a Mn és a kén szinte teljesen kiégett, és a P-tartalom is csak 0,079%. Az összetevők kiégyése és a jelentős mértékű salakosság arra utal, hogy a kovácsolást egészen nagy hőmérsékleten és hosszan tartó izzítással végezték, a felületet pedig nem tudták rendesen megvédeni a revésedéstől.

- c) A kovácsolás okozta képlékeny alakváltozás mértéke jelentős volt.
- d) A végső hőkezeltségi állapot a dekarbonizálódott részekben a teljes lágyításnak felel meg (**17.c kép**), a kb. 12 mm vastag minta nagy C-tartalmú rétegeiben (**18.a kép**) pedig a nem túl erélyes hűtés hatására kialakuló, tűs ferrites és finomlemezes perlites szerkezetnek. A **18.b képen** egy vastag salakréteg belső szerkezete látható, a minta polírozott (maratlan) állapotában.

A vashámor folyamatos tevékenysége másfél évszázadon át, pontosabban 1567 és 1725 között nyomon követhető. Megszűnését a vasérc hiányának tulajdonították, de ez csak egyike azoknak a mondva csinált okoknak, amelyek első helyen a hámor gazdáinak téves szemléletét tükrözik.

Lövétei vasgyártás

A lövétei Szentkeresztbánya bányatelepe Bodvajtól 25 km-re, északnyugatra fekszik a Hargitától déli irányba lefutó Kis-Homoród patak völgyében, 720 m tengerszint feletti magasságban. A jellegzetes andezittuskók alatt, amelyek altalaját jellemzik, kavicsos szerkezetben szivacsos vas- és mangánérc található. Barnavaskő, vörösvaskő, opálvaszkő, gypvaskő, agyagvaskő, pátvaskő képezi a 2-6 m vastagságú tömzsöket.

Lövéte és Szentkeresztbánya kivétel a nagyszámú székelyföldi vasgyáralapítási kísérletek között, hiszen alapításától, a 19. század első felétől a 20. század végéig fennmaradtak, és eredményesen működtek. Vasgyártási kísérleteket, próbálkozásokat Homoródszentpálon, Kirulyban, Homoródmáson, Madéfalván, Csíktaplocán, Csíkszeredában (a Vasfúvó-dombon), Csíkszentkirályon, Gyergyóbélborban (a Kelemen-havasok lábánál) is jegyezték. Közös jellemzőjük a jelentéktelen eredmény volt. Jelentőségük csak ipartörténeti vonatkozású, hiszen a költséges, kis hatásfokú előállítási folyamat, a vasban szegény kőzetek csupán tiszavirág-életet nyújthattak ezeknek a kezdeményezéseknek.

A Kis-Homoród völgyében létrejött vasgyártásnak a csíkmadarasi hámoréval hasonló története van. A kezdet itt is a 16. századhoz, az 1591 előtti időszakhoz kapcsolható, ugyanis ekkor adományozta Báthori Zsigmond erdélyi fejedelem a lövétei hámort főhadnagyának, Székely Mózesnek, a későbbi fejedelemnek szolgálatai jutalmául (Vajda Lajos 1983. 17.). Felszereltsége, műszaki színvonala is hasonló lehetett a csíkmadarasi hámoréval. Az egykori fejedelmi vashámor telephelyét ma is Hámorkertnek nevezik.

A szentkeresztbányai vasgyár, amelynek alapítása a 19. század harmincas éveire tehető, a fiatal kohó, és bányamérnök Gyertyánffi Jónás kezdeményezéseként indult egy olvasztókencével és egy vízzel hajtott kalapáccsal. Már a kezdetekor Gyertyánffi Jónás apjával, Gyertyánffi Dáviddal és Jónás testvérével Mártonnal megalakították a Lövétei Bányatársulatot, amelynek vezetését Gyer-

tyánffi Dávidra bízta. Az új szervezési forma új lehetőségeket is jelentett, különösen szervezési, adminisztrációs vonatkozásban.

A vízenergia hasznosításának lehetőségeit kiaknázva a fűjtatót és a kalapáccsot az állandó hozamú, bő vizű egyesített Kis-Homoród, Vargyas pataka és Halaság vize működtette (19. kép).

A szentkeresztbányai hámor működéséhez a vízcsatorna és a vízikerekek szolgálták az energiát. Mint a legtöbb újonnan alapított vasgyár esetében, Gyertyánffiék kezdeményezése is súlyos anyagi helyzetbe került, perek sorozata nehezítette a vállalat működését. E nehézségek elhárításáért a család Demeter Miklós brassói pénzbevaltóhoz folyamodott hitelért, aminek végeredménye az lett, hogy 1847-től a pénzember lett a bányavállalat igazgatója. Gyertyánffi Jónás kilépett a vállalkozásból, de részvényeit továbbra is megtartotta.

19. kép. Szentkeresztbányai hámor madártávlatból

Beköszöntött az 1848-as esztendő, és a szabadságharc szele a kohó- és bányavállalatot is megérintette. Bár ágyút nem gyártottak, de a golyóöntés elindult. A Székelyudvarhelyi Haáz Rezső Múzeum féltve őrzi azokat az öntőmodelleket, amelyekkel a szabadságharc részére az ágyúgolyókat öntötték. A **20. kép** ezeket a modelleket mutatja.

Az ágyúgolyóöntést a forradalmat leverő orosz és osztrák csapatok a gyár szétdúlásával torolták meg. A helyreállítás költségeit Demeter Miklós fedezte, aminek eredménye az lett, hogy a Gyertyánffi család részvényei mind a Demeter Miklós tulajdonába mentek át.

Demeter Miklós nagy lendülettel fejlesztésekbe kezdett, 1853-ban már 40 000 bécsi mázsa vasércet dolgoztak fel, amelynek vas-tartalma 16-26% között változott. Új kohó építését is elkezdték, amely már a befejezés előtt nagy lelkesedést váltott ki, ám akkor Demeter Miklós hirtelen elhunyt. A folytatást egy gondnokság vette át, a gyár vezetését Rákovitz Albertre bízta.

1856-ban az öntöttvastermelés csupán 63,2%-a volt a beindulási év eredményének. Bár jövedelmező termeléssel dolgozott a vasgyár, 1857-ben a gazdasági válság következtében nehéz anyagi helyzetbe került, amelyből a Brassói Bánya és Kohómű Rt. hozta egyensúlyba azzal, hogy 54 000 forintért megvásárolta a szentkeresztbányai vasgyárat.

Ezután kezdődött az igazi korszerűsítés. Kúpolókemencét állítottak üzembe 1869-ben, a vízen energiával működtetett kalapácsokat gőzkalapácsokkal cserélték fel, elindították a vasfinomítási technológiához vezető eljárást, új hengerművet állítottak üzembe, modellszatos műhely segítette az öntődét könnyű és tartós modellek készítésével. Mindezek eredménye az lett, hogy 1858-ban rekordtermelést ért el a lövétei bánya, 30 000 köbméter kitermelt vasércet dolgozott fel a vasgyár.

Az olvasztás energiahordozóját, a faszenet a homoródalmási erdőkben égették. 1863 az

20. kép. Ágyúgolyó öntőmodellek öntőmodellek Szentkeresztbányán, 1848-49 ben

átlagnál jóval aszályosabb év volt, ami érzékenyen érintette a vasgyártásban alkalmazott vízikerek folyamatos működtetését. Ez a vízhiány 1866-ban kezdett helyreállni, ennek folyományaként természetesen a vasgyártás is újabb lendületet vett.

Nem sokáig tartott a kecsegtető állapot a szentkeresztbányai bánya és vasgyár történetében. 1867-ben megbukott a brassói vezetés irányítása, aminek az lett a hatása, hogy 1871-ben ismét vezetőcsere történt. Hrobonyi Adolf lett a nagy reményű vezető, akinek négy éven át sikerült egyensúlyban tartania a vasgyártást, míg végül 1875-ben a termelést beszüntetni kényszerült.

1878 után csökkentették a gőzgépek szerepét, és takarékosági megfontolásból viszátérték a vízenergiára. A **21. kép** a vízenergiával működő hámorbelsőt mutatja be.

Ekkor 12 vízikerekkel működtették a vasgyártás technológiájának különböző fázisait, de a három beszerelt gőzgépből két gőzgépet is üzemben tartottak.

1885-ben Hrobonyi Adolf meghalt, igazgatói tisztségét Lántzky Sándor vette át, aki fiát, Lántzky Józsefet, a selmecbányai akadémia frissen végzett mérnökét nevezte ki a vállalat műszaki vezetőjévé. Sajnos az általános gazdasági helyzet, különösen a romániai üzlet hanyatlása kritikus helyzetbe hozta a vállalatot. Ekkor a termékskála mezőgazdasági gépekből, vaskályhákból, bográcsokból és egyéb hámortermékekből, lapátokból, ásókból stb. tevődött össze (**22., 23. és 24. kép**). A széles választékú termékskála sem hozott jelentős változást, ami a gazdasági mutatókat illeti. A tragédiák sora a Lántzky Sándor 1905-ben bekövetkezett halálával

21. kép. A hámorbelső egykori látványa

folytatódott. Helyét a vállalat vezetésében fia, Lántzky József bánya- és kohómérnök vette át, de a család nem akarta folytatni a vállalat működtetését, ezért úgy határoztak, hogy bérbe adják. A jelentkező, aki folytatni kívánta a gyár működtetését, a brassói Kamner és Jekelius vaskereskedő cég két tulajdonosa volt. Ekkor már a 20. század első évtizedében járunk. Ekkor a Szentkeresztbányai Vasöntöde és Szerhámorárugyár névvel indult újra a vasgyár, amelyben Lántzky József mérnök is szerepet kapott.

Az első korszerűsítési intézkedések között a kohó gőzerőre való átállítása szerepelt, ami meg is mutatta hatékonyságát. 1909-ben már 11 823 mázsa vastermelést eredménye-

zett, ami nagyon szép teljesítmény volt az előző évekhez viszonyítva. Sajnos a balsors egyre gyakrabban mutatkozott a vasgyár történetében. 1916-ban Lántzky József mérnök is meghalt, de ezzel nem zárult le a katasztrófák sora. Leégett a kohó töltőhídja, ami teljesen és évekre leállította, működésképtelenné tette a gyárat. Az első világháború befejeztével a bérlő Kamner és Jekelius cég mindent elkövetett az üzem helyreállításáért, de már a megváltozott politikai körülmények között.

1924-ben véget ért a Lántzky család fél évszázados szerepe, a vasgyár részvénytársaság szervezési formában vívta harcát a nagy gazdasági válság éveiben.

22. kép. Öntöttvas csigalépcső

23. kép. Vasöntvény kályhák, Kamner és Jekelius tulajdonosok korából

24. kép. Kamner és Jekelius vasöntödésének termékei

Erdővidék vasgyártása

A székelyföldi vasgyártás a Hargita-hegység vonulatának dél-délnyugati részére, Erdővidéknek nevezett területére is kiterjedt. Előző, a vasgyártás őskorát bemutató fejezetben, Székelyszáldobost is említettük, ahol a bucatechnológia maradványait tárták fel régészeti kutatások. A Székelyszáldobos szomszédságában található két település, Erdőfüle és Magyarhermány határához tartozó Bodvaj, ahol a 19. század elején a kor színvonalán működött vasgyártás és másodlagos megmunkálás. E két vasgyár és a lövétei, a hozzájuk tartozó magasolvasztókkal, hámorokkal a székelyföldi kohók néven váltak ismertté, és kielégítették vasból készült tárgyakkal, félkész termékekkel a régió ez irányú szükségletét.

A hámor Magyarhermány határában található, a Bodvaj-havas közelében, a Fenyőspatak völgyében. 1831-ben kezdte működését, bár Benkő József (1999. 83.) a vashámorát, ennek működését a század elejére teszi. A

„század eleje”, amelyre az előbbi szöveg hivatkozik, a 18. századot jelenti, pontosabban 1768-ra tehető. Orbán Balázs is megemlíti a vasgyárat, amit személyesen is meglátogatott, és ekképpen értékeli a látottakat: *„mert vasa főként öntvényekben, jobb a fülei vasnál, s amellet a dústartalmú vaskő, vízerő a tűzanyag mind közel és kifogástalan mennyiségben jön elő itt; hozzá még jó közlekedő útja is van Nagy Baczon felől”* (Orbán Balázs I. 1863. 213.).

Mátyé János a Háromszék napilapban megjelent írásában (2006. október 31.) szintén Benkő Józsefre hivatkozva úgy véli, hogy a *„szászhermányi vasmű 1720-ig működött, akkor felhagytak vele, majd 1768-ban kezdték újra a termelést”*. Nem lehet tudni, mikor és miért hagytak fel a bányászással az 1768-i újrakezdés után. Egyértelmű, hogy a kitermelt ércet fel is kellett dolgozni, amiről csupán a feltételezések szintjén lehet gondolkodni.

A balánbányai rézmű tulajdonosa, Zakariás Antal 1831-ben kezdett tevékenykedni a vasmű elindításán, miután Balánbányáról átvit-

25. kép. A bodvaji vashámor, ahogy Orbán balázs látta

26. kép. *A felújított olvasztókemence*

te Bodvajra a bányászatban és vaskohászatban is jártas főmérnökét, Bodor Ferencet és jó néhány bányász és kohász szakemberét. Bodor Ferencet ezután is gyakran foglalkoztatta Bodvajon, a vasműnél. Bodor Ferenc jól ismerte korának bányász-kohász technológiáját, ő ugyanis az Európa-szerte híres Selmezbányai Akadémián szerzett mérnöki oklevelet.

A vasgyár műszaki színvonala megegyezett a kor Kárpát-medencei vasgyárainak műszaki színvonalával. A bástya alakú, kőből épített, magas olvasztókemence belsejét hőálló burkolattal, agyag és homok keverékével kitapasztották, majd kerámia minőségre kiégették. A lövéteihez hasonlóan terhelték, rétegesen faszénnel, vasércel és salakképző anyaggal. Faszén égetésével, ennek izzásával érték el az érc olvadási hőfokát, miközben többletlevegő befújásával növelték az olvasztási hőfokot.

A levegőtöbbletet szekrényes fűjtató alkalmazásával nyerték. A fűjtatót meghajtó vízikereket a folyóvíz hozamához, áramlási sebességéhez méretezték. Az olvasztókemence vagy huta falának alsó felén kerámia fűvócsövön át vezették be a levegőt a szén égési terébe.

A kemence mellső falán volt egy másik nyílás, amely a megolvadt salak és folyékony vas csapolását, kieresztését tette lehetővé. Olvasztás alatt ezt a nyílást agyagdugóval elzárták.

A vasérclelőhely a vasüzem szomszédságában volt, így a kitermelt ércet csillékkal, közvetlenül a feldolgozás színhelyére, az olvasztókemencéhez szállították.

A faszén a környező bükkerdők fájából égették. Bár jó fűtőértékű a bükkfaszén, 1000 kg nyersvas előállításához 200 köbláb⁹ szénre volt szükség. Ez óriási mennyiségű bükkfa szénre égetését jelentette. Ezért a környező erdők egyre fogytak, ugyanakkor a vasüzem fenntarthatósága a széntől függött.

Egyre távolabbi erdőket kellett kitermelni, szénné égetni. A szén szállítási költségeinek növekedése a vas árában is tükröződött. Csúpán a felidézés kedvéért említjük, hogy a bodvaji vasérc, a hematit 32-35% vastartalmú.

A kohóból közvetlenül szekrényes formákba vagy gödrökben kialakított formákba öntöttek. A nyersöntvény egy részét további felhasználásra, például kovácsvas gyártására tartalékolták. A megszilárdult, primer öntvényt újra megolvasztották a frisstűzben, másik olvasztókemencében. Ennek hőmérséklete magasabb lévén, mint az első, olvasztásnál, a nyersvas széntartalmának bizonyos százaléka kiégett. A második olvasztásnak éppen az volt a várható hatása, hogy a széntartalom, ami eredetileg 2-7% volt, 0,5% alá kerüljön. Így a törékeny, kovácsolásra alkalmatlan nyersvas szívós, kovácsolható acéllá alakult.

Ezt követte a feldolgozás következő fázisa, a kovácsolás, ami többszöri újramelegítéssel történt. Az első kovácsolás alatt, amit a nagyverőn végeztek, a szabálytalan tömbvasat rúdvassá alakították. Az izzítást és kovácsolást frissítésnek hívták. Egy második szakaszban, amelyet egy újabb izzítás előzött meg a kovácsvasat késztermékké, mezőgazdasági eszközökké, szerszámokká kovácsolták. A késztermékhámor termelését növelte a közben üzembe helyezett nagybaconi szerhámor, amelyet szintén a bodvaji hámor láttott el nyersanyaggal.

A bodvaji hámornak jelentős szerepe volt az 1848–1849-es forradalom és szabadságharc erdélyi eseményeiben, ugyanis itt, Bodvajon öntötték az első három ágyút, vasból, de az ágyúgolyók öntésében mindvégig kivette részét a vasgyár és személyzete. A vasüzemet 1848 decemberében a császári csapatok feldúlták, de az akkor már a közel száz személyt foglalkoztató vasgyárat rövid

időn belül ismét üzemképes állapotba visz-szaállították dogozói. A vasüzem körül kialakult kis lakótelepre a tulajdonos Zakariás Antal 1852-ben kápolnát is építtetett. Egy évtized folyamán, szomorú, de egy temető is kialakult. Mára a gondozatlan kápolna eltűnt, a temetőt belepte az erdő, de a fák között a sírkeresztek őrzik, hírmondókként, a múlt emlékét.

1874-ben Zakariás Antal eladta a vasüzemet testvérének, Zakariás Andrásnak, aki nagy reményekkel és lendülettel fogott munkához, az üzem teljesítményének növelését célzó intézkedéseivel. A termelékenységet az olvasztási hőfok növelésével, a gyártási idő csökkentésével próbálta növelni. Az épületeket is mind rendbe tette. A kialakult kis bányász-kohász telepen 1875-ben már 21 lakóház állt. Ez volt a bodvaji bánya és vasgyár történetének fénykora. Ennek ellenére az új tulajdonos nem volt szerencsés, mint Antal testvére. Hatalmas adóságba keveredett, nem tudta bevezetni azt az irányvonalat, ami kora vasgyártóiparában már észlelhető volt. Ekkor már megjelenik a kúpoló kemen-ce, a vasfinomítás új eszköze, amit Zakariás Andrásnak nem sikerült bevezetnie.

A román vámháborúként ismert, 1884-ben tapasztalható megszorítások következtében beszűkült a vasáru piaca. Megszűnt a Havasalföldre irányuló kereskedelem, ami fő felvevőpiaca volt a székely hámorok termékeinek. A dolgozók jelentős része 1886-ban átköltözött Szentkeresztbányára. 1894-ben már csak 15 személy dolgozott a vasgyártásban. A 19. század végén, 1884-ben a vasgyárat Lántzky Sándor, Szentkeresztbánya tulajdonosa megvásárolta, de ez sem állíthatta meg azt a folyamatot, ami a lassú sorvadáshoz vezetett, olyannyira, hogy 1897 őszén a bányászt beszüntették. Az addig kibányászott vasércet 1905-ig feldolgozták, ezt köve-

tően az alkalmazottak szétszóródtak. Lántzki halála után, 1914-ben az örökösök eladták Bodvajt és a többi Lántzky-érdekeltséget a Magyar Kincstárnak.

Az első világháború alatt a gyár működése szünetelt, csak 1945-ben került ismét a figyelem központjába, amikor megkezdtek a bánya és a kohó helyreállítását (Máthé János 2006). A vasgyárat 1950-ben államosították.

Bár a vasgyártás újból elindult, korszerű berendezésekkel kiegészítették a gyár felszerelését, a vízenergiát gőzkazánnal helyettesítették, villanyáram-fejlesztőket szereltek fel, a közel fél évszázados szünetelést nem tudták áthidalni. 1951-ben a bányászást leállították. A vasgyár olvasztókemencéjének tüze 1954 tavaszán örökre kialudt.

Bodvaj ma ipartörténeti műemlék. Az újjáépített huta azokra az évtizedekre emlékeztet, amelyekben a Székelyföld vasgyarai,

Szetkeresztbánya, Bodvaj és Erdőfüle a békés idők termékeit, ásót, kapát, kaszát, számos szerszámféleséget előállítva a térség fejlődését képviselték, és amikor kellett, a forradalom és szabadságharc égisze alatt fegyvergyárrá átalakulva reménységgé nőtték ki magukat az egész magyar nemzet számára.

Vasgyártás a Kormos völgyében, Erdőfülén

„A falutól 10 percnyire van a Kormos völgyében regényesen fekvő fülei vashámor rendszeresen épült bányatelepével. Ott vannak azon roppant hámorok, öntödék, zúzdák, amelyek rémes zajjal töltik el a vidéket, s melyek évenként 20.000 mázsa nyers vasat, 7000 tonna öntvényt állítanak elő.” (Orbán Balázs I. 1863. 224.) Így jellemezte Orbán Balázs a 19. század hatvanas éveiben az akkori Erdély egyik jelentős vasgyárát, a székelyföldi Erdőfülét.

27. kép. Erdőfüle, a Székelyföld jelentős vashámora, ahogy Orbán Balázs látta

A Hargitáról észak–dél irányú völgyben jelentős mennyiségű üledékes, vaskőmálladék található, 30-33% vastartalommal. Gyepvasérctelepek is előfordulnak, amelyeknek vastartalma a 33-43%-ot is eléri. Helyenként a gypes mészkő képződmények gyengítik ezt a koncentrációt. Ezen a vidéken, vagyis Erdőfüle környékén, a 19. században budapesti és berlini vállalkozók kutatói száznál is több kutatási ponton találtak kitermelhető vasércet. Az Erdővidéki Bányaegylet kutatásai is hasonló eredményre vezettek. Amint megállapítják: *„Különösen a száldobosi vasérctelep értékes, amely két méter vastagságban, köpenyszerűen borítja a hegyet, az itt talált gyepvasérc fémtartalma az elemzések szerint az 50%-ot is eléri.”* (Pap Károly 1914. 376.)

28. kép. Máiig megmaradt épületrészlet az egykori hámborból.

A hámor fénykorát az 1848–49. évi forradalom és szabadságharc erdélyi hadszínterein idején élte, amikor a szabadságharcban részt vevő Gábor Áron szervezésének köszönhetően megszületett a háromszéki ágyúöntés és puskaporgyártás. Erdőfülén öntötték az ágyúgolyók tetemes részét. A győztes osztrák és orosz csapatok lerombolták ugyan a vasgyárat, de 1856-ban újra működött a felújított hámor. Működése kisebb-nagyobb megszakításokkal a 20. század közepéig tartott. Ekkorra olyannyira elavultta és gazdaságtalanná vált működése, hogy végleg leállították. Mára a hámor épületegyütteséből csupán egy lakóépületnek átalakított toronyszerű épület (**28. kép**) meg az idő múlását tükröző hámosi temető néhány elhagyatott sírhantjával, dűledező síremlékével (**29. kép**) utal az egykori virágzó

29. kép. Elhagyott temető a hámos egykori dolgozóinak sírhelyeivel

székelyföldi vasgyártás színhelyére. Az erdőfülei vashámornál is, akárcsak a kor más vasgyáraiban, a gyártás folyamata a kibányászott vagy patakok medréből összegyűjtött vaskő szárításával, aprításával és pörkölésével kezdődött, ami tulajdonképpen szárítását és az elgázosítható anyagoktól való megtisztítását jelentette. Ezt követte az olvasztás művelete, amely a kőből rakott és agyaggal kitapasztott, 8-10 méter magas, csonka kúp belsejű kemencékben ment végbe. Az 1500 °C fölötti olvadáspontot faszén égetésével, többletlevéggő befűjásával érték el. A többletlevéggő vízkerekkel működtetett bőrfűjtatók adták. A vasérc megolvadt állapotában szétvált folyékony vasra és salakra. Az így nyert nagy széntartalmú vasat közvetlenül formákba öntötték. Ezt többszöri hevítéssel és kovácsolással rúdvasakká alakították, melyeknek széntartalma a hevítések következtében egyre alacsonyabb lett, kovácsolható, képlékeny vassá alakult. Ezeket a rúdvasakat forgalmazták a vasgyárak, s belőlük a mindennapi élethez szükséges eszközök készültek.

Az erdőfülei vasgyártás egy öntvénydarabjának korszerű laboratóriumi eszközök, a FUNDARI MASTER PRO spektrométer használatával készült vegyi összetételének elemzését mutatja be első ízben korszerű laboratóriumi eszközöket használva az **5. táblázat**.

5. táblázat. A vizsgált minta anyagösszetétele

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
91,2	3-4*	0,566	0,889	0,798	0,111	0,0117	0,0015	0,02	0,001
Co	Cu	Mg	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	B
0,0015	0,046	0,0005	0,0022	0,0074	0,0613	0,0118	<0,0025	0,0052	0,0022
Ce	Zr	Zn	Bi	As	Se	Te	Sb	La	
<0,004	0,0073	0,0002	<0,005	0,0303	<0,0035	<0,002	<0,003	0,0023	

*A nagy széntartalom meghatározása bizonytalan.

Az összetételből látható, hogy a darab nagyobb szilícium- és foszfortartalommal rendelkezik, amely ötvözők elősegítik a grafit képződését, grafitosító hatásúak. A foszfor ilyen mennyiségben kedvezően hat az öntöttvas hígfolyságára, javítva a formaköltő képességét. A nagyobb foszfortartalmú öntöttvasat főleg vékony falú, bonyolultabb öntvények esetén használják. A további elem század, illetve ezred mennyiségben található. Minimális mennyiségben van az összetételben réz, ami arra utal, hogy valószínűleg nem használtak fel ócskavasat, hulladéköntvényeket a gyártáshoz. Elsődlegesen ércekből előállított öntöttvasról lehetett szó.

A szövetszerkezeti vizsgálatokon (**30. kép**) jól felismerhető a szürke töretű öntöttvas grafitja, amely részben rozettás elhelyezkedésű.

A mintát 1,5%-os Nital oldattal gyengén maratva a mikroszkópi felvételeken láthatóvá vált a ledeburitos szövetszerkezet (**31. kép**).

Az erősebben maratott mintán a grafit mellett felismerhetők a további szövetelemek is. A **32. képen** látható mintán a grafit mellett a ledeburit-, a perlit-, illetve a nagyobb foszfortartalom miatt a szteadit (foszfideutektikum) is megjelent.

Ma is használatos, hiteles erdőfülei termék, öntöttvas üst látható a **33. képen**.

30. kép. A vizsgált minta szövetszerkezete (szürketőretű öntöttvas grafitja)

31. kép. A vizsgált minta szövetszerkezete maratás után (ledeburitos szövetszerkezet)

32. kép. A vizsgált minta szövetszerkezete erősebb maratás után (grafit, ledeburit, perlit, szteadit)

33. kép. Ma is használatos, Erdőfűlén készült öntöttvas üst. A Székelyudvarhelyi Haáz Rezső Múzeum tulajdona

Vasgyártási kísérletek

Kovászna

A 19. század ipari forradalma, a vasúthálózat kiszélesedése a vas felhasználásának addig nem tapasztalt lehetőségeiben is nyilvánul. A bucaeljárás régészeti maradványai jelzői lettek egyrészt a vasgyártás múltjának, másrészt a lehetséges vasérctelepeknek.

A Székelyföld területén, a helyi adottságok figyelembevételével kezdeményezések sora született vasérclelőhelyek feltárására, vasgyártás indítására, amelyek ipartörténeti szempontból tanulmányozva megfelelő he-

lyet kapnak a térség fejlesztésének történetében. Ide tartozik Kovászna vasgyártásának története is.

Kovászna vasérctelepe viszonylag nagy területen, Zágonig nyúlik, ahol egyenlőtlen minőségű vasércrétegek bukkannak elő. Ezeket Bernhard von Cotta osztrák geológus négy minőségi osztályba sorolta a következő sorrendben:

1. tökéletes tiszta szferosziderit-rétegek,
2. kevésbé tiszta szferosziderit-rétegek, agyag tartalmúak, ezért agyagvaskövek,
3. igen csillámdús és agyagtartalmú vasérc,
4. agyagvaskő palák.

Ezek alapján megállapította, hogy „ezen a helyen huzamos ideig tartó magas kemencei üzemre könnyen lehet bőséges ércet nyerni” Megállapítását 1861. szeptember 10-én írásban is közölte. 1861-ben a *Zeitschrift für Berg und Huttenwesen* című folyóirat IX. évfolyamában részletes leírását adja a kovásznai vasérctelepnek. Ezt a leírást fordította magyar nyelvre Roediger Lajos¹⁰, melynek alapján fény derült a kovásznai vasgyártás lehetőségére.

Kovácsnát említve ma már aligha gondolunk másra, mint a város és környékének gyógyhatású klímájára, gyógykezelésre szakosodott intézményeire. Véletlenül sem jut eszünkbe a 19. századi település, az akkori Kovászna, ahol a század hatvanas éveiben nagy reményű tervek születtek a helyi vasérc, a szferosziderit kitermelésére, feldolgozására, vasgyár létesítésére.

Az érdeklődés és a konkrét kutatás a vasérclelőhelyek tekintetében a 19. század közepén, pontosabban 1853-ban kezdődött, és Nagy Ezékiel nevéhez fűződik. 1860-ban már bányászatban jártas munkásokat is alkalmaztak. A helyszíni felméréseket, terepszemlélt Herbricht F. térképe alapján kezdték, aki *A Székelyföld földtani és őslénytani leírása* című műve 183–186. oldalán a kovásznai szferosziderit típusú vasérc előfordulását mutatja be.

Nem hagyhatjuk ki Orbán Balásnak a kovásznai vasércről tett említését, amely szerint: „...az egész helység sphaerosiderit és agyag vaskő-rétegekből áll, mely feldolgoztatva 50-70 százalék vasat ad, oly finom minőségűt, mely a legfinomabb angol vassal is kiállja a versenyt” (Orbán Balázs I. 1863. 153–154.).

A hámor 1861-ben még dolgozott, a második negyedévben 2006 bécsi mázsa ércet termeltek ki. Ugyanazon év október 11-én már siralmas képet mutat a hámor, bár három hónappal korábban még 596 bécsi mázsa ércet

fel is dolgoztak.

Bernhard von Cotta mint szemtanú ekképpen emlékezik az olvasztásra és a megmunkáló üzemre: „Vízérő által hajtott négy óriási kovácsfűjtató szolgáltatta az olvasztáshoz a légáramot.” A termékskála háztartási cikkek-ből, üstökből, sőtörő mozsarakból, kisebb kovácsoltvas eszközökből tevődött össze.

Közben másoknak is megtetszett a kovásznai vasgyártás gondolata, mert még működött Nagy Ezékiel vashámora, amikor megalkult a Transsilvania Bányatársulat, amely magasolvasztót épített, és ugyanazokat a termékeket gyártotta, mint Nagy Ezékiel vashámora. Méreteiből következően különleges terméknek számított az öntöttvasból készült hamuzsírőző üst (33. kép).

1865 körül a Transsilvania Társulat vasgyára is megbukott, dolgozói felgyűjtották a telepet, és szétszéledtek, elvándoroltak Kovásznáról.

1881-ben a korabeli krónikás Kovásznán járt és ekként mutatja be a vasgyár állapotát: „...még állott az olvasztó alapja és szanaszét heverték a nagy hamuzsír főző üstök” (Roediger Lajos).

A vasgyár újraindítását célzó próbálkozást is feljegyeztek (1907-ben, 1908-ban). 1914 például újabb terepszemlékkel, ércmintadarakok gyűjtésével, az újrainduláshoz szükséges tőke előteremtésével telt el. Közben kirobbant az első világháború, aminek következtében évekre leállt a vállalkozói kedv, de a lehetőség is szertefoszlott.

1919-ben román állami adminisztráció alá került Székelyföld, és csak a hivatalos szervekhez közel álló személyek próbálkozhattak újabb felmérésekkel az újraindítás reményében. „Ez idő után is jönnek, mennek a bányász és geológus urak, de nem tudunk öntésben gyönyörködni” – írja Roediger Lajos 1928. október 16-án.

Kovászna az évtizedek folyamán más irányú fejlődést tűzött ki célul magának. A vasérckitermelés és -feldolgozás még a gondolat szintjén is megszűnt, de pótolja, talán még sok évszázadon át, az a természeti adottság, ami több ezer ember egészségét szolgálja.

Papolc

A vasércbányászat és kohászat nem csupán Kovásznához köthető. 1860 októberében Papolc Községi Gyűlése bizottságot alakít azzal a céllal, hogy tárgyalásokat folytasson Nagy Ezékiel kovásznai vállalkozóval, aki vasércbányát szándékszik nyitni a Papolc községhez tartozó Borostyán patakán, egy akkor már vízen energiával működő vízi fűrészszoomszédságában. Nagy Ezékielnek ebben az időben már működött a tulajdonát képező, kovásznai vasgyára. Valószínű, hogy a Papolc környéki dús vasércet szándékozott kiter-

melni és kovásznai vasgyarában feldolgozni. A Községi Bizottság a jelen lévő Bányász Commissarius jelenlétében tárgyalta Nagy Ezékiellel, és tizenkét pontban rögzítették a terület bérbe adásának feltételeit.¹²

Az előbbiekből ismeretes, hogy a kovásznai vasgyár 1861 októberében beszüntette tevékenységét, így a Papolc határában található vasérc kitermelése örökre elmaradt, bár a kitermeléssel kapcsolatos megállapodás három évre szólt.

Bereck

Mint láttuk, a korabeli Háromszéken már 1845-től követhetők a vasgyártás elindítására irányuló törekvések. Bereck város ügyintézési iratai között található az a két brassói kereskedő, Nika György és testvére kérelmével kapcsolatos határozat, amely szerint a kérelmezők a Bereck határában található Luptyán patakon vashámort szándékoznak létrehozni, és ezért bér fizetésére kötelezik magukat. A kérést huzavona nélkül, már a beadvány napjától egy hétre a város 1845. augusztus 1-jén megtartott közgyűlése elé terjesztették, s a határozatba a következőket foglalták: „*Tanátsunk Esküdt s Városi Közönsége ezen üdvös intézkedéseket a Nika Testvéreknek méltányolván – a kért helyet megadni határozta s a szerződés elvi megállítására a teljes Városi Közönség megbízta – úgy annak megkészítésére Tanátsos Trefás Josef, Bara János, s Jegyző Finta György akfia az esküdt részéről pd. Orator Hankó András – esküdt reszerolpd. Orator Hanko András – Esküdt Foris Josef és Farkas Antal. Evenkent 130 pengő Taxa fizetés rendeltetett.*” (Arhivele Naționale, Serviciul Covasna (Román Nemzeti Levéltár Kovászna megyei kirendeltsége) Fond 357. 481., 483.).

Még egy nagyreményű próbálkozás, amely zsákutcába torkollott. Okai a tőke és a meg-

34. kép. Hamuzsírőfőző vasöntvény üst. A komandói falumúzeum tulajdona

felelő szakértelem hiánya, ami nélkül elképzelhetetlen egy vasgyár felépítése s a háttér vasércbánya hatékony működtetése.

Vasgyártási kísérletek a Gyergyói-medencében

Gyergyócsomafalva

Természeti adottságainak köszönhetően a hegyekkel körülhatárolt Gyergyói-medence déli-délnyugati részén a Görgényi-havasok vulkanikus eredetű vonulatának vastartal-mú ércei készíthettek vállalkozó szellemű személyeket, hogy vasbányászattal, vaskohászattal foglalkozzanak ezen a vidéken.

Gyergyócsomafalván a Sólyom patak, amely a Délhegy lábánál bővizű patakká duzzad, adhatta a 18. század vasgyártásának egyik feltételét, a vízenergiát, ami az olvasztókemence fűtatójának működtetésénél volt nélkülözhetetlen. Együtt volt az érc, a vízenergia, a hatalmas erdőségek és 2-3 órányi járásra a salakképző anyag, a mészkö.

Egy 1741-ből származó dokumentum szerint „*quondam Lázár István uram idejében vasat fúvattanak*”¹¹ (Tarisznyás Márton 1982. 150.). Ha ez valóban így volt, oka lehetett, hogy megszakították a vasgyártást, mert 1750-ben a csomafalvi lakosok újra megtalálták a régi bánya maradványait, és 1764-ben elkezdődtek a tárgyalások a helyi lakosság és a hatalom képviselői között a bánya és a vasolvasztó újraindításának engedélyezése céljából.

A Magyar Országos Levéltár Erdélyi Fiscalis levéltárában található latin nyelvű beszámoló, amelynek eredetijét fakszimilében közöljük (F234, fasc. 356, V. szekrény), betekintést enged a kor iparosítási törekvéseibe a székelyföldi vasgyártási próbálkozások egyik színhelyén, Gyergyócsomafalván. Az említett okirat nem tartalmazza a tárgyalások ered-

ményét, a döntéseket. Újrakezdték-e, vagy sem, miért szűnt meg a gyergyócsomafalvi vasgyártás, ha egyáltalán létezett, az idő homályába vész.

Az 1820-ban keltezett parasztvallomások Gyergyóra vonatkozó kötete (Csík-, Gyergyó-, Háromszék és Aranyosszék parasztvallomásai 1820-ból) Gyergyócsomafalvára vonatkozó forrásanyaga említést sem tesz az egykori vasércbányászatról, vasgyártásról.

A 20. század hetvenes éveiben a Gyergyó-szentmiklósi Múzeum feltárási munkálatokat végzett a feltételezett vashámor egykori helyszínén, ahol vasérc olvasztásából származó salakot is találtak. Ennek szakszerű elemzése nem történt meg. Szintén a hetvenes-es-nyolcvanas években szakosodott geológiai feltárásvállalat végzett fúrásokat az említett területen, de kitermelésre érdemes vasércet nem találtak. Alighanem az alacsony vaskoncentráció lehetett az egykori vasgyártás megszűnésének oka Gyergyócsomafalván.

Gyergyóditró

A 19. század első felében, 1847-ben Fülöp Ferenc (Fülök András) vállalkozó szellemű székely gazda vasgyártási kísérleteit jegyzik. Csupán mint rövid életű próbálkozás maradt meg feljegyzésekben, a félbemaradás okát a pénzhiányban és a szakmai tudás alacsony színvonalában kell keresnünk (Tarisznyás Márton 1982. 150; Vitos Mózes 2002. 259; Józsa Sándor 2004. 28.).

Hasonló, rövid életű vasgyártási kísérletekről szájhagyományok Gyergyótólgyes, Gyergyóbélbor környékére visznek. Itt sem alakult ki ipari méretű vasgyártás, feltehetőleg ugyanazon okok miatt.

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

*Promissum est in litteris
venerabilibus*

Copia

Pro Memoria.

In sede feudali Gregorius Militari datus Bagus Lubo,
Ejus dicta promissa pro se et
heredibus suis unicam familiam
nobiliem Ballii sui fidei Libertini
Militia Ordinis Ego fuis, et Ceteris
asumpti

Tantum territorium hujusmodi postulat ut
hic Auctoritas deinde eadem prestat
Militia limitari et Nobiles Domus
Doloriana, per se Montem, Gylt
rorum, agrorum, et omnium rerum quod
dem obsequiois Persone, et aliorum
rum a proprietate subiecta non
debent propriis tunc.

Palus in finibus hujusmodi Persone a Me
andiam elevatus Montem Vichy de
cens noster realiter Montem Montem
eius in aprie fontis xivale tunc
nem sumunt, et ubi in adestat ex
deus ductum agerunt, quod si per
novitatis Persone Minima erant adue
antiam M. P. In in Persone
huiusmodi in finibus, quo dem esse
dicitur. Quod in Montem finis officiali
a Salsing probam mihic, et in Cy
na, familia Ballii Nobili, et ipsum in
venendi Regnum, et suum Boggy
zibus, et Sociis promittende.

A hoc tempore psumit Incola spes am ven
lexim impendunt aptitudinem Almam
ad Aprium Montem, tale gendem cum
profectus.

(12)

[illegible]

Jegyzetek

1. Ha elfogadjuk, hogy székelyeket a 12–13. században telepítették be a mai Székelyföldre, azt is tudnunk kell, hogy a régészeti ásatások ezen a területen a betelepítés előtti időkből számos nép és népcsoport egykori jelenlétét igazolják. A római közigazgatás megszűnése után vizigótok, gepidák, avarok, onogur-bolgárok, szlávok váltották egymást, vagy olvadtak eggyé az idő nagy olvasztótégelyében.
2. A tellúr kémiai elem. Az elemek periodikus rendszerében (Mengyelejev-táblázat) az 52. rendszámnál *Te* vegyjellel szerepel. Ezüstös színű félfém, csak kismértékben vezeti az elektromos áramot, félvezető. Komplex színesfémekben fordul elő. Ipari felhasználása festékanyagok előállításában az üveg és kerámia színezékeként vagy félvezető elektromos áramköri elemek gyártásában is használatos. Erdélyben 1782-ben a zalatnai aranyércekben fedezték fel. Felfedezője Franz-Joseph Müller von Reichenstein. Erdélyen kívül az Amerikai Egyesült Államokban, Ausztráliában, Kanadában található. Tiszta tellúr ritkán fordul elő. Arannyal, ezüsttel vagy mindkettővel együtt alkot vegyi kombinációt.
3. A termésréz rézércekben (kuprit, malachit, kalkopirit stb.) előforduló tiszta vörösréz fém, ami hidrotermás folyamat vagy másodlagos cementezés eredményeként keletkezett. Könnyen megmunkálható kalapálással, jól vezeti a hőt és az elektromos áramot. Kémiai elem, rendszáma 29, vegyjele Cu. Az egyik leghasználatosabb fém, amit tisztán vagy ötvözőelemként alkalmaznak. Az elektrotechnikai iparban nélkülözhetetlen.
4. A rézércek redukciója az a magas hőmérsékleten végbemenő folyamat, amelynek során faszén égetésével 700 °C körül az érc oxigénje vegyi reakcióba lép az izzó szénnel, a rézérc ezáltal redukálódik. Az eredmény szén-dioxid gáz és tiszta réz.
5. Az ötvözés két vagy több, különböző olvadáspontú fém vagy nem fém olvadékának összekeverése. Például a réz és ón, a réz és ólom, a réz és cink megszilárdult keveréke. Ezek bronz néven ismert ötvözetek.
6. A csíkszentkirályi ezüstkincs 1953-ban a Csikzsögöd–Csíkszentkirály határában levő szoros andezitbányájában, kitermelés közepette került elő. Összsúlya 3650 gr, 15 kupát, egy fibulát, 2 pénzérmét tartalmaz. Dák vagy szkíta eredete nem egyértelműen tisztázott. A kincs egy a dák korra jellemző kerámiaedényben vészelte át az évszázadokat. Jelenleg a bukaresti Nemzeti Történelmi Múzeumban őrzik.
7. A csigafűvót ércék megolvasztásánál használták, az olvadási hőmérsékletet több-kevesebbet befűtésével lehetett vele elérni. Ezt korábban vízikerekkel hajtott bőrfűvők alkalmazásával oldották meg. Ezeket helyettesíti a csigafűvő. A csigafűvő a 19. század végéig használatos volt. Debreczeni Márton bánya- és kohómérnök, Magyargyerőmonostor szülöttének találmánya, olyan levegőbefűvő szerkezet amit deszkából ácsoltak, zárt kamrákból és változó keresztmetszetű levegőcsatornákból tevődött össze. A zárt kamrát, amely levegőt tartalmazott, vízzel töltötték fel, ami kiszorította a levegőt a kamrából. A kiáramló levegő az összeszűkülő csatornában egyre növekvő sebességgel és nyomással hatolt be a kemence olvadási terébe, növelve a faszén égési hőmérsékletét. A víz-levegő kamrák felváltva működtek, ami a folyamatos levegőnyomást és hozamot biztosította.
8. Szérelés az a technológia, amelynek segítségével a zúzott ércliszt fémzúzalékát a meddő iszaptól elválasztják. Az elválasztást kivitelező eszköz, a szér egy ferdén elhelyezett deszkalap, amelynek dőlési szöge változtatható a szérelőre vezetett

- ércőrlemény fémszemcsetartalma függvényében. Lassú vízáram hordja be a ferde deszkasíkra az érclisztet, amit a zagyosztó a deszkalap teljes szélességében szétterít. A vizes érczúalék sebességét a ferde síkon úgy szabályozzák, hogy a különböző fajsúlyú zagyösszetevők szétváljanak a ferde deszkalapon való áthaladásuk során. A könnyebb fajsúlyú meddő gyorsabban, a fémszemcsék lassabban haladnak, miközben a ferde lapra rakodva összegyűlnek. A meddőt a kifolyócsatornán a folyóba vezették. A fémszemcséket vízszugárral ismételt, többször is a ferde deszkalapra vezették, és az eljárást addig ismételték, amíg a kifolyó víz teljesen tiszta maradt. Ez azt jelentette, hogy a lerakódott fémszemcsék nem tartalmaztak meddő iszapot.
9. Egy köbláb 0,0283 köbméterrel egyenlő.
 10. Roediger Lajos (1854-1941) torjai szüle. ésű muzeológus. A 20. század elején bekapcsolódott a Székely Nemzeti Múzeum tudományos munkásságába. Néprajzi és művészettörténeti írásai az egykori Háromszék kultúrtörténetébe engednek betekintést. Cotta tanulmányáról készített magyar fordítása kéziratban maradt fenn.
 11. A gyergyószárhegyi Lázár István gróf 1642-ben meghalt.

Felhasznált irodalom

Ágyúcsőéspuskapor. Bodor Ferenc, a csíki 48-as ágyúöntő és löpörgyártó. Sajtó alá rendezte Pál–Antal Sándor. Mentor Könyvek Kiadó, Marosvásárhely, 2017.

Barabási László: *Balánbánya története*. Csík-szereda 1996. 36, 40, 70.

Benkő Elek: *A középkori Székelyföld*. Budapest 2012. 12.

Benkő Elek: *Bronz és történelem*. In: *Emlékkönyv Kiss András születésének nyolcvanadik évfordulójára*. Kolozsvár, 2003. 46–58.

Benkő Elek – Oborni Teréz. (szerk.): *Székelyföld története*. I. 150. Szerk. MTA, BTK–

EME–HRM, Székelyudvarhely, 2016.

Benkő József: *Transsilvania specialis. Erdély földje és népe*. Fordította, bevezető tanulmánnyal és jegyzetekkel közzéteszi Szabó György. Első kötet, Kriterion Könyvkiadó, Bukarest–Kolozsvár, 1999.

Bitay Enikő: *Műszakitudomány-művelés Erdélyben*. In: Csibi Vencel-József (szerk.): *XXV. Nemzetközi Gépészeti Találkozó OGÉT 2017.*, Kolozsvár, 18–21.

Bitay Enikő – Márton László – Végvári Ferenc: *A székelyföldi vasgyártás történetéből. Lövéte múlt és jelen*. In: Kása Zoltán – Wanek Ferenc (szerk.): *VIII. Tudomány- és Technikatörténeti Konferencia, Belényes, Románia, 2015. június 18–21.*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 2015. 9–14.

Bitay Enikő – Márton László – Végvári Ferenc: *A székelyföldi vasgyártás történetéből. Erdőfüle*. In: Kása Zoltán – Wanek Ferenc (szerk.): *VII. Tudomány- és Technikatörténeti Konferencia, Szilágysomlyó, Románia, 2014. június 26–29.*, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 47–53.

Bitay Enikő – Márton László – Talpas János: *A Csíkmadarasi vasgyártásból visszamaradt veletek anyagszerkezeti vizsgálata*. *Acta Materialia Transylvanica*, 2/1. (2019) 79–86.

Borkhodoev, V. Y.: *Estimation of limits of detection and determination in X-ray fluorescence analysis by the dependence of the relative standard deviation on analyte concentration*. *Journal of Analytical Chemistry*, 71/9. (2016) 872–877.

Botár István: *Germánok Csíkban*. Magyar Régészet Online Magazin, 2015. 1–4.

Botár István: *Népvándorláskori vaskohászat nyomai Csík-szentsimonban I*. *Acta Siculica*, 2001. A Sepsiszentgyörgyi Székely Nemzeti Múzeum kiadványa, 2001. 165–162.

Darvas Lóránt: *Raport de cercetare arheologică preventivă Șumuleu, strada Szék nr. 155.*

- Csiki Székely Múzeum, Csíkszereda, 2018.
- Dumitrescu, Ioan – Pastiu, Ioan: *Metalurgia metalelor neferoase*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1969. 117–118.
- Erdélyi Magyar Szótörténeti Tár. II. Anyagát gyűjtötte Szabó T. Attila. Szerkesztette Vámszer Márta. Kriterion Könyvkiadó, Bukarest – Akadémiai Kiadó, Budapest – Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár. 2004. 441.
- Ferenczi István: *Az ős- és ókori vasművességről Erdélyben*. In: *Hagyományok és újítások a korai középkori vaskohászatban*. Szerk. Gömöri János. Kiadja: A Dunafer–Somogyország Archeometallurgiai Alapítvány és MTA VEAB Régészeti és Aechiometriai Munkabízottság. Sopron–Somogyfajsz, 1999. 105–128.
- Gabler Dénes: *Ferrariae et ars ferraria. A vaskitermelése és feldolgozása a római korban*. In: *A vasművesség évezredei a Kárpát-medencében*. Szerk. Nagy Zoltán – Sulovszki János, Szombathely, 2009. 45–53.
- Gimpel, Jean: *Revoluția industrială în Evul Mediu*. Editura Meridiane, București, 1983. 37.
- Glodariu, Ioan – Zrinyi, Andrei – Gyulai, Paul: *Le dépôt d'outils romains de Marculeni. Dacia*. Revue d'archéologie et d'histoire ancienne. Nouvelle Serie XIV. Editions de l'Academie de la Republique Socialiste Roumanie, 1970. 207–231.
- Józsa Sándor: *Emlékeim Ditró székely község életéből*. Mark Hause Kiadó, Gyergyószentmiklós, 2004.
- Kadachi, A. N. – Al-Eshaikh, M. A.: *Limits of detection in XRF spectroscopy*. X-ray Spectrometry, 41/5 (2012) 350–354.
- Kerpely Antal: *Vasbányászat és vaskohászat*. In: *Magyarország az ezredik évben*. VII. Budapest, 1896. 210.
- László Gyula: *Vértesszőlőstől Pusztaszerig. Élet a Kárpát-medencében a magyar államalapításig*. Gondolat Könyvkiadó Budapest, 1974. 127.
- Lestyán Ferenc: *Megszentelt kövek*. Glória Kiadó, Kolozsvár, 1996. 215.
- Liss, B. – Levy, T. E.: *Using X-Ray Fluorescence to Examine Ancient Extractive Metallurgy Practices: A Case Study from Iron Age Khirbat-al-Jariya*. Jordan. Journal of Powder Metallurgy & Mining, 5/1. (2016) 1–5.
- Magyar Országos Levéltár, Erdélyi országos kormányhatósági levéltárak, Erdélyi kincstári levéltár, Erdélyi fiscalis levéltár, F 234, fasc. 356, V. szekrény – Csomafalvi vashámor.
- Magyar Országos Levéltár, Erdélyi országos kormányhatósági levéltárak, Erdélyi kincstári levéltár, Erdélyi fiscalis levéltár, F 234, fasc. 376, V. szekrény – Csíkmadarasi vashámor.
- Magyar Országos Levéltár, Erdélyi országos kormányhatósági levéltárak, Erdélyi kincstári levéltár, Erdélyi fiscalis levéltár, F 234, fasc. 4, VI. A. szekrény – Csíkmadarasi vashámor.
- Márton László – Talpas János – Bitay Enikő: *A balánbányai rézérc (kalkopirit) felhasználhatóságának kérdései a bronzkori eszközök előállításánál*. Műszaki Tudományos Közlemények 8. (2018) 57–64.
- Orbán Balázs: *A Székelyföld leírása*. I. Pest 1868. 93.
- Pap Gábor: *Kitaibel Pálnak az erdélyi terméseteluron végzett vizsgálatai*. Múzeumi füzetek, Új sorozat, EME Kiadása, Kolozsvár, 2001/10. 56–59.
- Rakoczi Sámuel: *A bányászat múltja*. Pallas Részvénytársaság nyomdája, Budapest, 1910. 18.
- Renkó József Bálint – Kemény Dávid Miklós – Nyíró József – Kovács Dorina: *Comparison of cooling simulations of injection moulding tools created with cutting machining and additive manufacturing*. Materials Today: Proceedings, 12. (2019) 462–469.
- Renfrew, Collin: *A civilizáció előtt. A radio-karbon-forradalom és Európa őstörténete*. Osiris Kiadó, Budapest, 1993. 177.

- Roska Márton: *A Székelyföld őskora*. In: *Emlékkönyv a Székely Nemzeti Múzeum 50 éves jubileumára*. Az SzNM Kiadása, Sepsiszentgyörgy, 1929. 216–326.
- Rousseau, R. M.: *Detection limit and estimate of uncertainty of analytical XRF results*. The Rigaku Journal, 18/2. (2001) 33–47.
- Szathmári Béla – Moly Sándor: *Fémbányászat és kohászat*. Pesti Könyvnyomda Részvény-Társaság. Budapest, 1898. 126.
- Székely oklevéltár*. Új sorozat. Közzéteszi Demény Lajos és Pataki József. Kriterion Könyvkiadó, Bukarest, 1983. 40.
- Székely Zsolt: *Csernáton község régészeti monográfiája*. Státus Kiadó, Csíkszereda, 2007. 70–79.
- Székely Zsolt: *Háromszék őskora, ókora és kora középkora. Régészeti át- és kitekintő*. In: *Háromszékiek Háromszékről*. Status Kiadó, Sepsiszentgyörgy–Csíkszereda, 2007. 24, 70–86.
- Tarisznyás Márton: *Gyergyó történeti néprajza*. Kriterion Könyvkiadó, Bukarest 1982. 150.
- Theophilus Presbyter: *A különféle művességekről*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986. 115–116.
- Tichi Géza: *Fizika a vasgyártásban*. Természet világa, 2007/7. 315.
- Vitos Mózes: *Csíkmegyei füzetek I–II. Adatok Csíkmegye leírásához és történetéhez*. Hargita Kiadóhivatal, Csíkszereda, 2002. 244, 300.
- Vörösvári Béla: *A csíktaplocai Vasfúvó-domb*. Acta Siculica 2009. 123–126.
- Weisz Tádé: *Az erdélyi bányászat rövid története*. Oravicza, 1891. 148–149.
- Zagreanu, Radu – Nyárádi Zsolt: *New date about the Roman Settlement from Odorheiu Secuiesc. Marisia*. Studii și materiale, XXXI arheologie. Tg. Mureș, 2011. 264–266.
- Zsigmond Árpád: *A balánbányai és zámi rézbánya és az ottani rézolvastók*. Bányászati és kohászati lapok, 1909. 42. II. kötet, 500–504.