PÁZMÁNY PÉTER KATOLIKUS EGYETEM

BÖLCSÉSZET- ÉS TÁRSADALOMTUDOMÁNYI KAR

TÖRTÉNELEMTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

RÉGÉSZETI MŰHELY

TÓTH BOGLÁRKA

A 10. SZÁZADI KÁRPÁT-MEDENCEI KÉTÉLŰ EGYENES KARDPENGÉK KÉSZÍTÉSTECHNIKAI HÁTTERE (ARCHEOMETRIAI-ARCHEOMETALLURGIAI VIZSGÁLATOK)

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE: DR. ŐZE SÁNDOR DSC.

RÉGÉSZETI MŰHELY VEZETŐJE: PROF. DR. TAKÁCS MIKLÓS

TÉMAVEZETŐK: DR. LANGÓ PÉTER, DR. TÖRÖK BÉLA

BUDAPEST

2026

TARTALOMJEGYZÉK

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

1. BEVEZETÉS, TÉMAMEGJELÖLÉS ÉS A DISSZERTÁCIÓ CÉLJA 6
2. KUTATÁSTÖRTÉNET....10
2.1. *A kora középkori kétélű egyenes kardok régészetének nemzetközi háttere* 10
2.2. *A kora középkori kétélű egyenes kardok régészeti kutatása hazánkban* 23
2.3. *Archeometriai és archeometallurgiai kutatások a vizsgált fegyvertípus kapcsán – hazai és nemzetközi áttekintés* 33
3. A VAS MINT ALAPANYAG 46
4. TUDOMÁNYOK HATÁRÁN – A TÉMA INTERDISZCIPLINÁRIS MEGKÖZELÍTÉSE 60
5. TERMINOLÓGIA ÉS MÓDSZERTAN....71
5.1. A kard felépítése 71
5.2. A disszertációban használt alapvető fémtani fogalmak és összefüggések 73
5.3. Vizsgálati módszerek dilemmája: megőrzés vagy részletes betekintés? 77
5.4. Alkalmazott vizsgálati eszközök és módszerek....80
5.4.1. Optikai mikroszkóp (OM) 82
5.4.2. Pásztázó elektronmikroszkóp és az energiadiszperzív mikroszonda (SEM-EDS) 83
5.4.3. Vickers-mikrokeménységmérés 84
5.5. A mikroszkópos felvételek értelmezési módja és az eredmények értékelési módszertana....86
6. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK....90
6.1. A kardok előkerülésének körülményei és vizsgálati eredményei 91
6.1.1. Balsánál előkerült kard....91
6.1.2. Beszterec-Gyalaptanyai kard....92
6.1.3. Budapesti szórványlelet 93
6.1.4. Eger – ismeretlen lelőhelyű kard 94
6.1.5. Ismeretlen lelőhelyű kard....96
6.1.6. Himesháza/ismeretlen lelőhelyű kard 97
6.1.7. Szablyamarkolatú kard/ ismeretlen lelőhelyű kard 98
6.1.8. Kiskundorozsma - Vöröshomok-dűlő/ Szablyamarkolatú kard 99
6.1.9. Kunágota bizánci eredetű kard/ Boldog Antal földje 1. sír....101
6.1.10. Budapest -Mexikói úti kard....104
6.1.11. Nagykálló-Romvár közelében előkerült kard....105
6.1.12. Nyíregyháza-Felsőpázsitnál előkerült kard 106
6.1.13. Nyíregyháza-Polyákbokor, peres-dűlői kard....107
6.1.14. Sóstó (Vízművek) 1. sír-ban talált kard....108

6.1.15. Sóstó (Vízművek) 1971. évi szórványlelet 109
6.1.16. Székesfehérvár – Rádiótelep I. A sír kardja 110
6.1.17. Székesfehérvár – Rádiótelep II. (Bikasziget) 36. sír kardja 111
6.1.18. Újfehértó-Micskepusztánál előkerült kard 113
6.1.19. Veszprém – ismeretlen lelőhelyű kard 114
6.1.20. Vörs-Papkert B temetőjéből előkerült kard 115
7. A KARDPENGÉKBEN TALÁLT SALAKZÁRVÁNYOK VIZSGÁLATA 117
7.1. A salakzárványokról – definíció, kutatástörténet, módszertan 117
7.2. *A pengékben talált zárványok formája és elhelyezkedése* 121
7.3. A pengékben talált zárványok ásványi és kémiai összetétele 124
7.4. Összegzés 127
8. ELMÉLET ÉS GYAKORLAT – TÖMÖRÍTETT VASTUSKÓKON VÉGZETT KOVÁCSOLÁSI KÍSÉRLET A KÉTÉLŰ EGYENES KARDPENGÉK KÉSZÍTÉSÉNEK TÜKRÉBEN 129
8.1. A kísérlethez felhasznált alapanyag: a vasbuca 130
8.2. A próbakovácsolás 133
8.3. A próbatest archeometriai vizsgálata 135
8.4. Összehasonlítás és konklúzió 139
9. A KARDPENGÉK TANÚSÁGA – KÉSZÍTÉSTECHNIKA ÉS KLASSZIFIKÁCIÓ A VIZSGÁLT KARDANYAG ALAPJÁN 142
9.1. *Készítéstechnikai mintázatok – hajtogatás, kovácshegesztés, hőkezelés* 142
9.2. *A kardpengék készítéstechnikai klasszifikációja* 155
9.3. *A pengék szerkezeti felépítése* 162
10. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KONKLÚZIÓ 173
SUMMARY
IRODALOM
MELLÉKLETEK

NYILATKOZAT

Alulírott kijelentem, hogy a jelen értekezést önállóan készítettem, és annak elkészítése során a megjelölt forrásokon kívül más segédeszközt nem használtam. A dolgozatban szereplő minden, más szerzőtől származó gondolatot és adatot a tudományos hivatkozás szabályainak megfelelően tüntettem fel. Az értekezést saját szellemi alkotásomnak tekintem.

Budapest, 2026. 03. 04. Tóth Boglárka

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném kifejezni hálás köszönetemet mindazoknak, akik a disszertációm elkészítésében segítségemre voltak.

Elsőként témavezetőimnek, Dr. Langó Péternek és Dr. Török Bélának tartozom köszönettel szakmai iránymutatásukért, türelmükért és biztatásukért, amelyek nélkül a disszertáció nem jöhetett volna létre. Köszönöm a kutatás során kapott kritikai észrevételeiket és támogatásukat, amelyek nagyban hozzájárultak a dolgozat végső formájához.

Külön hálával tartozom a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának a kutatás során végzett vizsgálatokért, valamint az eredmények kiértékelésében és az adatok feldolgozásában nyújtott nélkülözhetetlen segítségükért. Külön köszönettel tartozom Kovács Árpádnak az elvégzett elektronmikroszkópos vizsgálatokért. A disszertáció védését már nem élhette meg; a dolgozat elkészítéséhez nyújtott segítsége pótolhatatlan.

Köszönettel tartozom továbbá Boda Sándornak és Márkus Zoltánnénak a minták előkészítésében végzett lelkiismeretes munkájukért.

Köszönet illeti mindazon múzeumi munkatársakat, akik a kardok vizsgálatát engedélyezték, és ezáltal lehetővé tették a kutatás elvégzését; külön köszönöm Tóth Zoltán Henriknek a kísérleti kovácsolásban nyújtott nélkülözhetetlen segítségét, valamint az ELTE Régészettudományi Intézet munkatársainak, akik a dédestapolcsányi vasleletek egyik darabját kísérleti kutatásom számára rendelkezésemre bocsátották.

Hálával tartozom kollégáimnak és közeli barátaimnak, különösen Adrinak, Krisztinek, Endrének és Gyulának, akik végig támogattak és bíztattak a kutatásom során.

Külön köszönet jár drága nagymamámnak, aki a kutatásom eredményét már nem láthatta, valamint édesanyámnak és nővéremnek a türelmet, a megértést, a szeretetet és a támogatást, amelyek nélkül nem juthattam volna el idáig.

1. Bevezetés, témamegjelölés és a disszertáció célja

A magyar honfoglalás kori leletanyag egyik legérdekesebb és az utóbbi időben legintenzívebben kutatott csoportját az úgynevezett 10. századi, nyugati típusú kétélű egyenes kardok alkotják. Ezek a fegyverek az európai kora középkor fegyverzetének kiemelkedő darabjai, amelyek nem csupán harci eszközként funkcionáltak, hanem jelentős szimbolikus értékkel is bírtak. Birtoklásuk és viselésük a társadalmi státusz, a hatalmi reprezentáció és a kulturális kapcsolatrendszer egyik legfontosabb kifejezőeszköze volt.

A több évtizedes hazai és nemzetközi kutatások eredményeként mára meglehetősen részletes képet alkothatunk e fegyverek elterjedéséről, kronológiai helyzetéről, társadalmi jelentőségéről és szimbolikájáról. A magyar kutatásban elsősorban a tipológiai, kronológiai, de főként régészeti megközelítések domináltak[1], míg a nemzetközi szakirodalomban — különösen a skandináv, német és brit kutatásban — a fegyvertípus külső attribútumainak vizsgálata mellett, az írott forrásokból, valamint korabeli ábrázolásokból kiolvasható kontextusára helyeződött a hangsúly.[2] Ugyanakkor az utóbbi évtizedekben a kutatói figyelem mindinkább a kardok készítésének technológiai vonatkozásai felé fordult. Ez a tendencia nem meglepő, hiszen a kétélű egyenes kard a kovácsmesterség egyik legösszetettebb és legkifinomultabb termékének tekinthető. A technológiai elemzések révén nemcsak az egyes darabok előállításának módja, hanem a korszak kovácsműhelyeinek tudásszintje, technológiai kapcsolatrendszere és gazdasági-szociális háttere is jobban érthetővé válik. Emellett közvetlenül hozzájárul a kardok régészeti értelmezésének pontosításához, különös tekintettel a tipológiai besorolásra és az ahhoz kapcsolódó interpretációkra.

Nemzetközi szinten ezek a kutatások két fő irány mentén bontakoztak ki. Az egyik az adott fegyver társadalmi és katonai szerepének vizsgálatára koncentrál, míg a másik a kard fizikai jellegzetességeinek, készítéstechnikájának és anyagszerkezetének feltárására összpontosít. Az elmúlt évtizedekben a tudományos érdeklődés egyre inkább az utóbbi, természettudományos alapokon nyugvó kutatások felé tolódott el.[3]

A hazai, 10. századra keltezhető kétélű egyenes kardok vizsgálata új lendületet kapott egy 2020-ban elindított nagyszabású, interdiszciplináris projekt keretében. A program célja a Kárpát-medencéből előkerült kétélű egyenes kardok komplex feldolgozása volt, amely két fő pillérre

[1] BAKAY 1965; KOVÁCS 1994-1995.
[2] PETERSEN 1919; GEIBIG 1991; ANDROSCHUK 2014.
[3] BRUNNING 2019.

épült: egyrészt a fegyverek régészeti aspektusú, tárgytörténeti szempontú elemzésére, másrészt a természettudományos módszereket felhasználó archeometriai és archeometallurgiai kutatásokra. Bár a fegyvertípus a hazai régészek érdeklődésének középpontjában állt, a tárgycsoport interdiszciplináris vizsgálata mindmáig hiányosnak számított. Ennek pótlására jött létre az említett projekt, amelyben a Pázmány Péter Katolikus Egyetem régészei és doktoranduszai, valamint a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának munkatársai működtek együtt.[4]

A projekt két pillére közül jelen disszertáció a másodikhoz, vagyis az archeometriai-archeometallurgiai vizsgálatokhoz kapcsolódik. A kutatás középpontjában a 10. századi kétélű kardpengék anyagszerkezetének vizsgálata, a készítéstechnikai és -technológiai sajátosságok azonosítása, valamint bizonyos kovácsolási eljárások kísérleti úton történő rekonstrukciója került. A metallográfiai elemzések és a kísérleti kovácsolás módszereinek ötvözésével lehetőség nyílik a fegyvertípus készítési folyamatainak részletes feltárására, valamint arra, hogy a Kárpát-medencei leletek tágabb, európai kontextusban is értelmezhetővé váljanak.

A disszertáció célja egyrészt a vizsgált kardpengék készítési jellegzetességeinek részletes meghatározása, másrészt egy olyan készítéstechnikai tipológia megalkotása, amely alkalmas a fegyverek technológiai alapú összehasonlíthatóságának és értelmezésének elősegítésére. A kutatás központi kérdése az volt, hogy a megvizsgált darabok mennyiben mutatnak hasonlóságokat, illetve eltéréseket a kovácsolási technikák alkalmazásában, továbbá, hogy az archeometria és az archeometallurgia módszertana milyen mértékben teszi lehetővé egy átfogó, technológiai szemléletű kép megalkotását a 10–11. századi Kárpát-medencei kétélű kardokról. A vizsgálatok során ugyanakkor külön hangsúlyt kapott annak kérdése is, hogy a kinyert technológiai adatok alapján mennyiben lehetséges az egyes kardok készítési helyének – a Kárpát-medencén belüli vagy azon kívüli eredetének – megközelítő meghatározása. Ennek megfelelően a disszertáció nem csupán az egyes fegyverek leíró jellegű bemutatására törekszik, hanem arra is, hogy a technológiai jellemzők összevetésével hozzájáruljon a kora középkori fegyverkészítés regionális sajátosságainak és kapcsolatrendszerének jobb megértéséhez.

Fontos kiemelni, hogy jelen disszertáció alapkutatásnak tekintendő, hiszen korábban a vizsgált tárgytípushoz kapcsolódó hasonló jellegű, átfogó természettudományos vizsgálatsorozatra hazánkban kevés példa volt. A metallográfia alkalmazásával lehetőség nyílt a felhasznált nyersanyagok minőségének, a kovácsolási technikák és a hőkezelési eljárások

[4] TÓTH 2023, 3-10.

meghatározására, míg a kísérleti kovácsolás a laboratóriumi eredmények gyakorlati ellenőrzését és értelmezését teszi lehetővé. Ez az összevetés nemcsak a kardok gyártási folyamatainak rekonstrukcióját támogatja, hanem hozzájárul ahhoz is, hogy árnyaltabb kép alakuljon ki a korszak kovácsmestereinek technológiai tudásáról. Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a vizsgálatoknak vannak bizonyos korlátai: a metallográfiai elemzés roncsolással jár, ezért csak meghatározott számú és állapotú lelet bevonása volt lehetséges. A módszertani keret így egyszerre kínál új lehetőségeket és szab határokat a vizsgálatok számára. A kutatás interdiszciplinaritása és módszertani összetettsége révén a dolgozat új tudományos eredményeket nyújt, amelyek nemcsak a régészet, hanem a technikatörténet, a hadtörténet, valamint a történeti rekonstrukciók és hagyományőrzés területén is hasznosíthatók.

A dolgozat szerkezete a következőképpen épül fel: az első részben áttekintem a hazai és nemzetközi szakirodalmi előzményeket és a kutatás tudományos kontextusát. Ezt követően ismertetem az alkalmazott vizsgálati módszereket. A következő fejezetben kerül sor a konkrét leletek bemutatására és a metallográfiai eredmények ismertetésére, melyben kitérek a zárványvizsgálat fontosságára is, illetve bemutatom a kutatáshoz kapcsolódó rekonstrukciós kísérlet eredményeit is. Végül pedig bemutatom a kutatás során kialakított klasszifikációt, az eredmények európai kontextusát, míg a dolgozat zárófejezete a kutatás tanulságait és téziseit összegzi.

Jelen kutatás nem vállalkozott a fegyverek teljes körű régészeti elemzésére, kifejezetten a pengék vizsgálatára koncentrált. Az ellenzők („keresztvasak”) elemzésére csak abban az esetben került sor, amikor a leletek állapota és a vizsgálati lehetőségek ezt indokolták. A disszertáció nem tárgyalja a markolatszerelékek és a hozzájuk kapcsolódó díszítések részletes elemzését sem, mivel ezek feldolgozása külön kutatási feladatot igényelne.[5] A dolgozat célja tehát a pengék készítéstechnikai és anyagszerkezeti vizsgálata, amely a fegyvertípus technológiai hátterének megismeréséhez nyújt új szempontokat.

Jelen disszertáció nem kíván átfogó, minden részterületet felölelő monográfiaként szolgálni, hanem elsősorban a 10. századi kétélű egyenes kardpengék archeometriai és archeometallurgiai vizsgálatán keresztül járul hozzá a fegyvertípus készítéstechnikai hátterének feltárásához. A dolgozat célja egyrészt a korszak kovácstechnikai ismereteinek részletes bemutatása, másrészt annak bemutatása, hogy a különböző természettudományos és régészeti módszerek egymással

[5] E téma kapcsán Zágorhidi Czigány Bertalan doktori értekezése nyújt majd betekintést, aki a fentebb említett projekt keretében ezt a kérdést dolgozta fel.

összekapcsolva és kölcsönösen megerősítve alkalmazhatók. A vizsgálat a fegyvertípus kutatásának azon aspektusához kapcsolódik, amely leginkább a tudományok határán helyezkedik el: a régészeti kontextus és a természettudományos elemzések integrációjához. Ennek megfelelően a disszertáció célja nem kizárólag új adatok közlése, hanem egy olyan módszertani keret bemutatása is, amely elősegíti a különböző tudományágak közötti együttműködést, és hozzájárul ahhoz, hogy a vizsgált kardok értelmezése árnyaltabb és egyben több tudományág számára egységesen felhasználható legyen.

2. Kutatástörténet

2.1. A kora középkori kétélű egyenes kardok régészetének nemzetközi háttere

A 9–11. századi kétélű egyenes kardok kutatása szorosan kapcsolódik az európai régészet nemzetközi tudományos diskurzusához. Ennek alapvető oka, hogy e fegyvertípus a kora középkor folyamán Európa jelentős részén elterjedt, így a különböző régiókban feltárt leletek értelmezése már a korai kutatások során is szükségszerűen túlmutatott az egyes országok vagy régészeti hagyományok keretein. A kardok tipológiai rendszerezése, kronológiai értelmezése és technológiai vizsgálata ezért kezdettől fogva nemzetközi kutatási környezetben formálódott, amelyben a különböző régiók leletanyagán alapuló eredmények folyamatos kölcsönhatásban álltak egymással.

A fegyvertípus jelentősége ugyanakkor nem csupán hadtörténeti vagy technológiai szempontból meghatározó. A kétélű egyenes kardok megjelenése és használata szorosan összefügg azokkal a kulturális, társadalmi és politikai folyamatokkal is, amelyek a 9–11. századi Európa – és ezen belül a Kárpát-medence – átalakulását kísérték. E körülmények következtében a kardok régészeti vizsgálata nemcsak a fegyverzet fejlődésének rekonstrukciójához járul hozzá, hanem tágabb történeti összefüggések értelmezéséhez is.

A kutatás történetében a 19. század végétől a 20. század első feléig a leletközlések, a formai összehasonlítások és a tipológiai rendszerezések játszották a főszerepet; ezek teremtették meg a kardok kronológiai és földrajzi értelmezésének alapjait, valamint azt a terminológiai keretet, amely mindmáig meghatározó. A 20. század második felétől mindemellett egyre hangsúlyosabbá vált a fegyverek társadalmi és reprezentációs szerepének vizsgálata, illetve a hadszervezet és fegyverhasználat történeti értelmezése. Az elmúlt évtizedekben a természettudományos módszerek – különösen az archeometriai és archeometallurgiai vizsgálatok – bevonása új dimenziót nyitott: a kardok immár nemcsak tipológiai és funkcionális, hanem készítéstechnikai és anyagszerkezeti szempontból is értelmezhetők.

A jelen fejezet célja, hogy a kétélű egyenes kardok nemzetközi és hazai kutatásának főbb állomásait áttekintse, és kijelölje azt a módszertani-értelmezési keretet, amelybe a disszertáció további, elsősorban készítéstechnikai fókuszú elemzései illeszkednek. Az áttekintés a klasszikus tipológiai rendszerek kialakulásától és továbbélésétől kiindulva bemutatja a regionális adaptációkat és az értelmezési viták főbb irányait, majd rámutat arra, miként egészítette ki a régészeti megközelítést a természettudományos vizsgálatok szempontrendszere.

Ezzel a kutatástörténet nem pusztán historiográfiai összefoglalásként, hanem a dolgozat következő fejezeteit megalapozó előfeltevésrendszerként értelmezhető.

Az első olyan átfogó és módszertanilag megalapozott összefoglalás, amely a kétélű egyenes kardok kutatásában mindmáig meghatározó jelentőséggel bír, Jan Petersen nevéhez köthető. Az 1919-ben megjelent *De Norske Vikingesverd: En typologisk-kronologisk studie over vikingtidens våben* című munkája a viking kori fegyverzet tipológiai és kronológiai feldolgozásának alapvető mérföldkövét jelenti.[6]

Petersen kardokra vonatkozó tipológiájának alkalmazhatóságát és máig tartó érvényességét jól mutatja, hogy rendszere a 8–11. századi európai kétélű egyenes kardok azonosításában és értelmezésében mind a mai napig használatban van.[7] Munkája nem csupán önálló referenciaként szolgál, hanem számos későbbi kardtipológia kiindulópontját is képezi; ennek következtében a témával foglalkozó régészeti szakirodalom jelentős része – közvetlenül vagy közvetve – Petersen tipológiai rendszerére támaszkodik.

Petersen tipológiai felosztása a kétélű egyenes kardok esetében elsősorban a markolatszerelék formai jegyeire épült, míg a pengék vizsgálatát másodlagos szempontként kezelte. A kardmarkolatokat három fő elem – az alsó ellenző, a felső keresztvas és a markolatgomb – alkotja, amelyek elemzése során Petersen különös hangsúlyt fektetett ezek arányaira, formai kialakítására és díszítési megoldásaira.[8]

A markolatszerelékek formai és díszítési jellemzői alapján Petersen betűjelekkel (A–Æ, illetve később kiegészített csoportokkal) különítette el az egyes típusokat.[9] A kutatók úgy vélekednek a rendszeréről, hogy Petersen viszonylag egyszerű, jól alkalmazható kategóriákat hozott létre, amelyek lehetővé tették a nagyszámú, eltérő lelőkörnyezetből származó kardlelet összehasonlítható feldolgozását. Ennek köszönhetően a tipológia nemcsak a skandináv anyag rendszerezésében bizonyult hatékonynak, hanem más európai régiók kutatásában is gyorsan elterjedt, és hosszú időre meghatározta a kétélű egyenes kardok tipológiai értelmezésének alapkereteit.[10] A rendszer alkalmazhatósága különösen abban mutatkozott meg, hogy olyan országokban is használható volt, ahol hasonló kardok kerültek elő, ezáltal összehasonlító vizsgálatok elvégzésére adott lehetőséget. Ugyanakkor – mint minden tipológia esetében –

[6] PETERSEN 1919.
[7] Akár a magyar, akár a nemzetközi szakirodalmat vesszük figyelembe, az összes kapcsolódó műben alapvetően Petersen tipológiáját használják.
[8] PETERSEN 1919, 54.
[9] PETERSEN 1919, 54-175.
[10] MARTENS-ASTRUP 2021, 39.

problémák is jelentkeztek. A múzeumi katalógusokban és publikációkban a típusmeghatározások gyakran eltéréseket mutatnak, és félreértelmezések is előfordulnak, részben amiatt, hogy a kutatók eltérő módon alkalmazták a tipológiai kategóriákat, illetve az egyes típusokon belüli változatok időnként elfedték a típus alapvető sajátosságait. A leírások sok esetben kizárólag az oldalnézetet közlik, míg a hosszmetszet és a keresztmetszet ábrázolása hiányzik, noha a formai részletek pontos értelmezéséhez mindhárom dimenzió figyelembevétele szükséges lenne.[11]

Petersen tipológiája a rendelkezésére álló, kivételesen nagyszámú norvégiai leletanyagra épült, amely több száz kard vizsgálatát tette lehetővé.[12] Munkája során egyaránt figyelembe vette a helyben előállított és az importált darabokat. Tipológiai rendszerének széles körű elfogadottságát és hatását az is jelzi, hogy alapvető elemei – az altípusok és a kombinációs típusok – későbbi tipológiákban is tovább élnek. Ugyanakkor már a korai karoling típusok esetében is megmutatkoztak a rendszer határai, mivel ezek gyakran egyedi példányok, változatos formai és díszítési megoldásokkal.[13]

A kontinens különböző régióiból származó kardleletek tipológiai értelmezésére a 20. század első felében több kutató is kísérletet tett, jellemzően a Petersen-féle rendszer kiindulópontként való alkalmazásával. Az elsők között Holger Arbman használta következetesen e besorolási elveket, amikor 1937-ben a frank–viking kapcsolatrendszer fegyveres emlékeit elemezte.[14] Hasonló módon Herbert Jankuhn is Petersen tipológiájára támaszkodott, ugyanakkor munkájában egy új markolatforma, az úgynevezett Mannheim-típus bevezetésével bővítette a rendszert.[15]

Elis Behmer *Das zweischneidige Schwert der germanischen Völkerwanderungszeit* (1939) című munkájában a germán népvándorlás kori kétélű kardok rendkívüli formai változatosságára hívja fel a figyelmet, amely más korszakokkal összevetve is kiemelkedőnek tekinthető.[16] A leletanyagot három fő csoportba (A–C) sorolja, és ezeken belül összesen kilenc kardtípust különít el. Az A csoportba (I–IV. típus) a legkorábbi kardformák tartoznak, amelyek részben északi, részben szárazföldi elterjedésűek, és többségük a népvándorlás korának korai

[11] U.O.
[12] PETERSEN 1919, 54-175.
[13] MARTENS 2006A, 221-228.
[14] ARBMAN 1937.
[15] A Mannheim-típusú kard a korai viking korba, nagyjából a 8–9. századra keltezhető, és jellegzetesen háromkaréjos markolatgombbal, valamint korai Ulfberht-pengékkel való gyakori kapcsolatával tűnik ki. JANKUHN 1939, 155.
[16] BEHMER 1939, 7-10.

szakaszában eltűnik. A B csoport (V–VII. típus) a kardok fejlődésének legjelentősebb időszakát foglalja magában; ezen belül a VI. típus a legszélesebb körben elterjedt és leghosszabb ideig használt forma, míg a VII. típus a népvándorlás korának középső szakaszára jellemző. A C csoportba (VIII–IX. típus) sorolt kardok a késői időszakhoz kapcsolódnak, és átmenetet képeznek a népvándorlás kori változatos kardanyag és a viking kor egységesebb típusai között. Behmer hangsúlyozza, hogy a típusok élettartama és elterjedése jelentősen eltérhet, ezért a merev kronológiai határok alkalmazása nem indokolt.[17]

A brit anyag vizsgálata során Sir Robert Eric Mortimer Wheeler a viking kori londoni és angliai kardleleteket dolgozta fel, amelyek esetében egy leegyszerűsített, hét alapformát elkülönítő osztályozási rendszert alkalmazott.[18] A skandináv térség egészére kiterjedő tipológiai áttekintést Carl Axel Nordman készítette el, aki Petersen rendszerét regionális szinten is érvényesíthető keretként.

A norvég kutató által kidolgozott metodikát Ada Bruhn Hoffmeyer továbbfejlesztette: vizsgálataiban nagyobb hangsúlyt kapott a markolatvégek részletes formai elemzése, valamint az európai kardok hosszabb távú fejlődéstörténeti összefüggéseinek bemutatása. Munkái jelentős mértékben hozzájárultak ahhoz, hogy a tipológiai megközelítés ne csupán leíró, hanem történeti értelmezési keretként is működjön.[19]

Míg Petersen tipológiája elsősorban a markolatszerelékek formai jegyeire épült, a 20. század közepétől egyre nagyobb igény mutatkozott a kardok egészének – különösen a pengék – komplexebb vizsgálatára. Ennek a szemléletváltásnak egyik legmeghatározóbb alakja Ewart Oakeshott volt.

Oakeshott munkásságának meghatározó eredménye a középkori és kora reneszánsz kardok tipológiai feldolgozására kidolgozott, átfogó és máig széles körben alkalmazott rendszer.[20] Tipológiája tudatosan kapcsolódik a viking kori kardok kutatásában kialakított osztályozásokhoz, ugyanakkor azok módszertani kereteit tovább is fejleszti.

Oakeshott rendszerében a markolatszerelék formai jegyeinek elemzése mellett a pengék alakja, arányai és keresztmetszeti jellemzői is meghatározó szerepet kaptak. Tipológiája a középkori

[17] BEHMER 1939, 26.
[18] WHEELER 1927.
[19] HOFFMEYER 1963, 5-68.
[20] OAKESHOTT 1960.

kardokat a X–XXII típusokba sorolja, római számokkal jelölve az egyes főcsoportokat, míg az altípusokat betűjelekkel különíti el. [21]

Az általa meghatározott tizenhárom fő típust és azok altípusait Oakeshott két nagyobb funkcionális csoportba rendezte. Az I. csoportba (X–XIV típusok) azok a kardok tartoznak, amelyeket elsősorban láncinggel védett ellenféllel szembeni alkalmazásra terveztek; ezekre a széles, lapos pengék és a lencse alakú keresztmetszet jellemző, amelyek a hatékony vágást szolgálták. A II. csoportba (XV–XXII típusok) a lemezes páncélzat elleni harc követelményeihez igazodó fegyverek kerültek, amelyeknél a hegyesebb pengecsúcs és a megerősített, rombusz vagy hatszög keresztmetszetű kialakítás a döfőfunkciót erősítette, miközben a vágóképesség több esetben továbbra is megmaradt.[22]

Oakeshott maga is hangsúlyozta, hogy tipológiai rendszere nem tekinthető lezártnak: a középkori kardanyag jelentős változatossága miatt nem minden darab illeszthető be egyértelműen valamely típusba. Ennek megfelelően a tipológiát elsősorban kiindulópontként és összehasonlítási keretként értelmezte, nem pedig kizáró jellegű, merev besorolási rendszerként. Módszerében az régészeti megfigyelések mellett történeti forrásokat, ikonográfiai ábrázolásokat és írott emlékeket is felhasznált, a kardot pedig olyan összetett történeti tárgyként kezelte, amelynek értelmezése csak tágabb társadalmi és kulturális kontextusban lehet teljes.[23]

Külön érdemes még szólni Wilfred Menghin munkájáról, akinek 1983-ban írt monográfiája a kora középkori kardkutatás egyik alapműve, amely a Kr. u. 5–7. századi, germán temetkezésekből származó hosszú kardok kronológiai és tipológiai feldolgozását adja. A munka központi eleme a markolat- és formai jegyek alapján felállított fejlődési rendszer, amelyet következetesen temetkezési kontextusba ágyazva értelmez, és amely hosszú időre meghatározta a korai középkori kardok kutatásának kronológiai kereteit. Menghin elemzése egyértelműen rámutat a hosszú kardok elit jellegére és társadalmi szerepére, ugyanakkor a készítéstechnológia és az alapanyag kérdését még elsősorban formai és kontextuális megfigyelésekből vezeti le.[24]

A 20. század végén Alfred Geibig publikálta korszakalkotó monográfiáját (*Beiträge zur morphologischen Entwicklung des Schwertes im Mittelalter. Eine Analyse des Fundmaterials vom ausgehenden 8. bis zum 12. Jahrhundert aus Sammlungen der Bundesrepublik*

[21] OAKESHOTT 1960.
[22] OAKESHOTT 1964.
[23] OAKESHOTT 1991.
[24] MENGHIN 1983.

Deutschland), amely a középkori kardkutatás egyik legösszetettebb és legnagyobb hatású tipológiai feldolgozásának tekinthető.[25] Geibig munkája a 8–12. század közötti időszak kardanyagát vizsgálta, elsősorban a Németország területéről származó leletekre támaszkodva, ugyanakkor módszertani megközelítése messze túlmutatott egy regionális feldolgozáson. A szerző olyan rendszerező elveket fogalmazott meg, amelyek más európai térségek fegyveranyagának elemzésére is alkalmasak.[26]

Geibig tipológiai rendszere több ponton is kapcsolódik a korábbi klasszikus modellekhez.[27] A pengetípusok meghatározásánál figyelembe vette E. Oakeshott csoportosítását, ugyanakkor azt továbbfejlesztve összesen tizennégy pengetípust különített el a vizsgált időszak kardjainál.[28] A markolatszerelékek elemzését kombinációs típusokban végezte el: a markolatvégeket (illetve markolatgombokat) és az ellenzőket háromdimenziós megközelítésben vizsgálta, elülső nézet, oldalsó nézet és felülnézet alapján (*Seitenansicht, Schmalseitenansicht, Aufsicht*). Ez a módszer jelentős előrelépést jelentett a korábbi, elsősorban oldalnézetre épülő tipológiai gyakorlatokhoz képest.[29]

Geibig egyik legnagyobb erőssége abban rejlik, hogy saját rendszerét következetesen összevetette a korábbi tipológiákkal, így különösen a Petersen-féle markolattipológia és az Oakeshott-féle pengecsoportosítás kategóriáival. Ennek eredményeként nem elszigetelt osztályozást hozott létre, hanem olyan referenciakeretet, amely lehetővé teszi az egyes tipológiai rendszerek közötti átjárást és összehasonlíthatóságot.[30]

Munkásságához köthetően vált általános gyakorlattá a pengék technológiai tulajdonságainak és díszítőmotívumainak bevonása a tipológiai elemzésbe. Geibig a pengeformák vizsgálata mellett hangsúlyt fektetett az anyaghasználatra, a szerkezeti megoldásokra és a felületi díszítések elemzésére is.[31]

Munkája lehetővé tette a kardok fejlődéstörténetének finomabb kronológiai értelmezését, és hozzájárult ahhoz, hogy a tipológiai besorolás ne kizárólag formai hasonlóságokon, hanem mérhető és technológiailag is értelmezhető jellemzőkön alapuljon.

[25] GEIBIG 1991.
[26] GEIBIG 1991.
[27] PETERSEN 1919; OAKESHOTT 1960.
[28] GEIBIG 1991, 84.
[29] GEIBIG 1991, 24-77.
[30] MARTENS-ASTRUP 2021, 43-45.
[31] GEIBIG 1991, 112-132.

Geibig monográfiája mindezek alapján nem csupán egy újabb tipológiai rendszerként értékelhető, hanem olyan módszertani fordulópontként, amely a formai, metrikus és technológiai szempontok integrálásával hosszú távon is meghatározta a középkori kardkutatás irányait.

A nemzetközi kardkutatás áttekintése alapján megállapítható, hogy a 8–12. századi kétélű egyenes kardok értelmezését mindmáig néhány, egymásra épülő, klasszikus tipológiai rendszer határozza meg. A Petersen-féle markolattipológia, az Oakeshott által kidolgozott pengealapú osztályozás, valamint Geibig morfológiai és metrikus elemzéseken nyugvó rendszere együtt olyan módszertani keretet alkot, amely máig a fegyvertörténeti kutatások alapját képezi. E rendszerek későbbi kiegészítései és regionális adaptációi nem új tipológiák létrehozását célozták, hanem a meglévő kategóriák finomítását, illetve azok technológiai és funkcionális értelmezésének elmélyítését. Mindez egyúttal arra is rámutat, hogy a tipológiai besorolás önmagában nem elegendő a kardok eredetének és használatának teljes körű megértéséhez, hanem szükségessé teszi a készítéstechnikai sajátosságok, az anyaghasználat és a gyártási eljárások vizsgálatát is, amelyek a további elemzések számára nélkülözhetetlen értelmezési keretet biztosítanak.

A kétélű egyenes kardok régészeti feldolgozásában külön figyelmet érdemelnek a pengéjükön feliratot hordozó darabok, amelyek a kutatás során következetesen elkülönítve kerültek tárgyalásra. A leghíresebb felirattal ellátott kardcsoport az ULFBERHT-kardok, melyekkel a kutatók már a 19. század közepétől foglalkoztak.[32] A 20. század második felében megjelent nagy tipológiák is foglalkoztak a feliratos kardokkal, Oakeshott és Geibig is kitér rájuk, amelyeket nem önálló típusként, hanem a tipológiai csoportokon belül megjelenő, technológiai szempontból kiemelt jelenségként értelmeznek.[33]

Fontos kiemelni Hilda Ellis Davidson *The Sword in Anglo-Saxon England* című, 1962-ben megjelent munkáját, amely bár nem katalógusjellegű feldolgozás, mégis alapvető referenciának tekinthető a kétélű kardok értelmezése szempontjából. Davidson elemzései a régészeti leletek, a lelőkörnyezet és az írott források együttes vizsgálatára épülnek, és rávilágítanak a kard társadalmi, rituális és szimbolikus szerepére az angolszász és viking kori környezetben. E megközelítés fontos értelmezési keretet biztosít azokhoz a későbbi katalógusjellegű

[32] HEWIT 1860, 32-40; WEGELI 1904, 11-14; PETERSEN 1919, 141.
[33] OAKESHOTT 1964, 29.; GEIBIG 1991, 116-123.

munkákhoz, amelyek már elsősorban a tárgyak részletes leírására és tipológiai besorolására koncentrálnak.[34]

A fegyverek elterjedését és eredetét kelet-európai összefüggésben Anatolij N. Kirpičnikov vizsgálta, aki a 9–10. századi Skandinávia és Rusz kapcsolatainak régészeti nyomait elsősorban a fegyverleletek alapján elemezte. A különböző fegyvertípusok elterjedését és a skandináv, illetve kelet-európai leletanyag közötti kapcsolatokat vizsgálva a két térség szoros összeköttetését hangsúlyozta. Munkája a fegyverleleteket így nem csupán tipológiai szempontból, hanem földrajzi elterjedésük és a Skandinávia, valamint Rusz közötti kapcsolatok szempontjából is értelmezte.[35]

Alexander Ruttkay 1975–1976-ban két átfogó tanulmányban foglalkozott a középkori fegyverzettel és lovasfelszereléssel a mai Szlovákia területéről, amelyekben a kardleletek is kiemelt szerepet kaptak. Munkájában részletes katalógust közölt, amely tartalmazza a lelőhelyeket, a feltárási körülményeket, a keltezést, valamint a kardok leírását és a vonatkozó szakirodalmi hivatkozásokat. Az elemző részben a hetvennégy kard tipológiai besorolását Jan Petersen és Ewart Oakeshott rendszereire támaszkodva végezte el, a dokumentációt fotók, rajzok, valamint esetenként röntgenfelvételek egészítik ki, amelyek a markolatszerkezet vizsgálatát is lehetővé teszik.[36]

A katalógusjellegű feldolgozások közül külön figyelmet érdemel Ian Peirce *Swords of the Viking Age* című munkája, amely a viking kori kardok részletes leírását és illusztrált bemutatását a klasszikus tipológiai rendszerek alkalmazásával végzi el. A kötet a 8–11. század közötti időszakból származó kétélű kardok reprezentatív példányait mutatja be részletes leírásokkal és gazdag illusztrációs anyaggal, általános áttekintést is nyújtva a fegyvertípus fejlődéséről.[37]

Ewart Oakeshott a kötet bevezető részében a kardok jelentőségét és formai sokféleségét ismerteti[38], míg a könyv szerzője, Ian Peirce, hatvan, a korszakra jellemző, kiemelkedő példányt választott ki részletes bemutatásra. A leírásokat teljes hosszúságú fényképek egészítik ki, ahol ez lehetséges, valamint részletábrák a pengék és a markolatszerelékek jellegzetességeiről.[39]

[34] DAVIDSON 1962.
[35] KIRPIČNIKOV 1970, 50–76
[36] RUTTKAY 1976, 249.
[37] PIERCE 2002.
[38] PIERCE 2002, 1-15.
[39] PIERCE 2002, 24-145.

A katalóguson kívüli fejezetek áttekintést nyújtanak a pengeformákról és a készítéstechnológiáról, a damaszkolt (*pattern-welded*) pengékről, a feliratokról, valamint a markolatok formáiról és azok tipológiai besorolásáról.[40] A kötet súlypontját az illusztrált katalógus alkotja, amely a kiválasztott fegyvereket egységes szempontrendszer szerint mutatja be.

Lech Marek 2005-ben megjelent munkája a kora középkori kardok kutatásának egyik jelentős összefoglalása, amely a részletes kutatástörténeti áttekintés mellett a fegyvertípus formai, technológiai és szimbolikus értelmezésére is nagy hangsúlyt fektet. A szerző a kétélű egyenes kardot nem pusztán harci eszközként kezeli, hanem olyan komplex tárgyként, amely az európai kultúrkörben kiemelkedő társadalmi és ideológiai jelentőséggel bírt. A kard, mint státuszszimbólum, valamint mint magas szintű kézműves tudás eredménye, központi szerepet kap a vizsgálatban.[41]

A munka rámutat arra, hogy a kora középkori kardok formai kialakítása és díszítése önmagában is fontos régészeti forrásértékkel rendelkezik, sok esetben akkor is, ha a pontos lelőkörnyezet nem ismert. Marek hangsúlyozza, hogy a modern analitikai módszerek – különösen az anyagvizsgálatok és technológiai elemzések – új lehetőségeket nyitottak meg a kardok készítési módjának, valamint funkcionális és kulturális hátterének megértésében. E megközelítés egyértelműen túlmutat a hagyományos tipológiai kereteken, és a fegyvereket tágabb történeti és társadalmi összefüggésrendszerben értelmezi.[42]

A skandináv kardleletanyag feldolgozásában kiemelkedő jelentőségű Fedir Androshchuk 2014-ben megjelent monográfiája, amely a viking kori svéd és norvég kardok átfogó katalógusát közli.[43] A munka összesen mintegy 766 svéd kardot és kardtöredék vizsgálatából áll, valamint kiegészítésként 66 norvégiai példányt is tartalmaz. A leletek földrajzi rendben, tartományok szerint kerülnek bemutatásra, egységes szerkezetű katalóguscikkek formájában.[44]

A szerző törekedett arra, hogy a leírások tömörek legyenek, ugyanakkor tartalmazzák azokat a metrikus adatokat és formai részleteket, amelyek a pusztán képi dokumentáció alapján nem, vagy csak nehezen érzékelhetők. Androshchuk módszertani szempontból is hangsúlyozza, hogy

[40] JONES 2002, 145.
[41] MAREK 2005, 39-45; 58.
[42] MAREK 2005, 63-65.
[43] ANDROSHCHUK 2014
[44] ANDROSHCHUK 2014, 29-96.

a szöveges leírások és a vizuális ábrázolások együttesen alkotják a régészeti forrásanyagot, eltérő, de egymást kiegészítő információtartalommal.[45]

Artūrs Tomson 2018-ban megjelent monográfiája (*Zobeni Latvijas teritorijā no 7. līdz 16. gadsimtam*) a mai Lettország területéről ismert kardleletek átfogó feldolgozását nyújtja a 7. századtól a 16. századig terjedő időszakra vonatkozóan.[46] A munka több száz kardot és kardhoz kapcsolódó töredéket vesz számba, és a fegyvereket elsődlegesen régészeti forrásként értelmezi, amelyek kronológiai, társadalomtörténeti és fegyvertörténeti kérdések vizsgálatára egyaránt alkalmasak. A kora középkori fejezetekben külön hangsúlyt kapnak a viking kori és azt követő kétélű egyenes kardok, amelyek tipológiai és kronológiai besorolása a nyugat- és észak-európai párhuzamokkal összhangban történik. A szerző a leleteloszlás és a kontextusok elemzése révén rámutat arra, hogy a kardok elsősorban elit temetkezésekhez és központi településekhez köthetők, ami a fegyver státuszszimbólum jellegét hangsúlyozza, miközben a későbbi századokban funkciójuk fokozatos átalakulása is jól nyomon követhető.[47]

A kutatástörténet újabb szakaszát jelzik azok a munkák, amelyek a kardokat nem kizárólag tipológiai vagy technológiai szempontból vizsgálják, hanem szélesebb kulturális és társadalmi összefüggésekbe ágyazva értelmezik.[48] Remek példa erre Sue Brunning *The Sword in Early Medieval Northern Europe* című, 2019-ben megjelent monográfiája, amely a kora középkori észak-európai kardokat régészeti leletanyag, temetkezési kontextusok, ikonográfia és írott források együttes elemzésével tárgyalja.[49] A mű nem katalógus jellegű, és nem új tipológiai rendszert állít fel, hanem azt vizsgálja, miként működött a kard, mint társadalmi jelentéssel bíró tárgy, identitásképző elem és szimbolikus eszköz a kora középkori közösségekben.[50] Brunning munkája jól példázza azt a szemléletváltást, amelyben a fegyverkutatás interdiszciplináris irányba mozdul el, és a tárgyakat nem önmagukban, hanem kulturális és társadalmi összefüggésrendszerükben értelmezi.

Jiří Košta, Jiří Hošek és Petr Žákovský munkásságának 2019-ben megjelent első kötete a mai Csehország területéről előkerült kétélű egyenes kardok és kardtöredékek egyik legátfogóbb feldolgozását adja. A kötet alapvetően katalógusjellegű, amely a 9. századtól a 16. század közepéig terjedő időszak leletanyagát rendszerezetten, egységes szempontrendszer szerint

[45] ANDROSHCHUK 2014, 13-29.
[46] TOMSONS 2018, 274-283.
[47] TOMSONS 2018, 273.
[48] Lásd Anne Pedersen munkáját, amely Dead Warriors in Living Memory. A Study of Weapon ans Equesterian Burials in Viking Age Denmark, AD 800-1000 címmel jelent meg 2014-ben.
[49] BRUNNING 2019, 1-18.
[50] BRUNNING 2019, 59-139.

mutatja be. A nagyszámú tárgyat felölelő adatbázis jól áttekinthető struktúrában közli a kardok régészeti kontextusát, tipológiai besorolását és keltezését, miközben következetesen alkalmazza és összehangolja a korai és késő középkori kardkutatás eltérő módszertani hagyományait.[51]

A kötet külön értéke, hogy a katalógus összeállítása nem pusztán leíró jellegű: a szerzők a tárgyalt kardokat európai összefüggésrendszerben értelmezik, és a tipológiai besorolások során tudatosan építenek a Petersen- és Geibig-féle rendszerekre, illetve azok tovább gondolására. A munka emellett hangsúlyt fektet a készítéstechnológiai adatokra is, ami a katalógust nemcsak adattárként, hanem módszertani referenciaként is jól használhatóvá teszi. Ennek köszönhetően a kötet a közép-európai kardkutatás egyik alapművévé vált, amely a későbbi tipológiai és archeometallurgiai vizsgálatok számára is stabil kiindulópontot biztosít.[52]

Külön figyelmet érdemel Valerij Yotov[53], Taxiarchis Kolias és Christoph Eger[54] szerkesztésében megjelent tanulmánykötet, amely a Bizánci Birodalom területéről, valamint annak közvetlen környezetéből származó, 6–11. századra keltezhető kardleletekkel foglalkozik. A tanulmányok a bizánci kardok kutatástörténetét, az írott források értelmezését, valamint több, újonnan azonosított kardtípus bemutatását és tipológiai értelmezését foglalják magukban, a birodalom területéről és annak szomszédságából származó leletek alapján.[55]

A legfrissebb nemzetközi szakirodalom körében folytatva az áttekintést, kiemelendő Szergej Kainov és Szergej Novikov 2024-ben megjelent kötete, amely a gnyezdovói régészeti komplexum területéről előkerült kardleletek egy újabb csoportját közli, elsősorban a 2017–2020 között végzett régészeti feltárások eredményeire támaszkodva. A szerzők több teljes kardot és kardtöredékeket (markolatgombokat, keresztvasakat, pengetöredékeket) mutatnak be, amelyek tipológiai besorolását Jan Petersen rendszerére alapozzák. A vizsgált darabok döntően a 9. század végére – 10. század elejére keltezhetők, és a kelet-európai viking kori kardanyagba illeszkednek.[56]

---

[51] KOŠTA ET AL. 2019.
[52] KOŠTA ET AL. 2019, 52-55. A kötetről írt recenzió: TÓTH 2024. 310.
[53] A magyarországi, bizánci eredetűnek tartott kardok közül a jelen kutatásba a kunágotai példány került bevonásra. A lelet értelmezéséhez fontos támpontot nyújt Valerij Yotov bolgár kutató megállapítása, aki a Bizánci Birodalom és annak szomszédságából származó anyag vizsgálata során több olyan kardot azonosított, amelyek morfológiai jegyeik alapján szoros párhuzamot mutatnak a kunágotai karddal. Kutatásai alapján Valerij Yotov az említett, a kunágotai karddal szoros morfológiai párhuzamot mutató fegyvereket „Kunágota-típusúként" határozta meg. YOTOV 2011; 2012; 2014.
[54] A témáról bővebben: KOLIAS 1988; EGER 2014.
[55] YOTOV ET AL. 2021.
[56] KAINOV 2024.

A munka jelentősége abban áll, hogy a Gnyezdovóban ismert kardanyag mennyiségét és tipológiai változatosságát érdemben bővíti, továbbá megerősíti a lelőhely kiemelt szerepét a kelet-európai fegyverforgalom és fegyverhasználat kutatásában. A részletes leírások és tipológiai meghatározások révén a kötet fontos referencia a 9–10. századi kelet-európai kétélű kardok kronológiai és regionális értelmezéséhez.[57]

A kétélű egyenes kardok kutatástörténetének áttekintése egyértelműen rámutat arra, hogy e fegyvertípus értelmezése mindenkor szorosan összefonódott a régészeti módszertan alakulásával és az adott korszakok kutatási kérdésfeltevéseivel. A 20. század elejétől kialakított tipológiai rendszerek elsősorban a formai jegyek rendszerezésére és a kronológiai keretek meghatározására törekedtek, és ezzel olyan alapvető értelmezési keretet hoztak létre, amely a későbbi kutatások számára is meghatározó maradt. E klasszikus tipológiák nemcsak a skandináv és nyugat-európai leletanyag feldolgozását határozták meg, hanem közvetett módon a Kárpát-medencei kétélű kardok értelmezésére is jelentős hatást gyakoroltak.

A kutatás későbbi szakaszaiban azonban egyre világosabban kirajzolódott, hogy a formai és tipológiai megközelítés önmagában nem elegendő a kardok eredetének, funkciójának és használati környezetének teljes körű megértéséhez. A fegyvertípushoz kapcsolódó alapfogalmak – így az eredet, a használat módja vagy a társadalmi szerep – csak a korábbi értelmezések és viták ismeretében, valamint azok kritikai újraértékelésével közelíthetők meg megfelelő árnyaltsággal. A kutatástörténet ebben az értelemben nem lezárt fejezetet jelent, hanem olyan referenciakeretet, amelyhez az újabb vizsgálatok szükségszerűen viszonyulnak.

Az elmúlt évtizedekben mindezzel párhuzamosan egy új módszertani irány is fokozatosan megerősödött: a fegyvertörténeti kutatásban egyre nagyobb szerepet kaptak a természettudományos vizsgálatok. A metallográfiai elemzések, anyagvizsgálatok és egyéb archeometriai módszerek lehetővé tették, hogy a kardok ne csupán formai és tipológiai szempontból, hanem készítéstechnikai és anyagszerkezeti oldalról is vizsgálhatók legyenek. E szemléletváltás nem a hagyományos régészeti megközelítések alternatívájaként jelent meg, hanem azok kiegészítéseként, új értelmezési szinteket nyitva meg a fegyverek vizsgálatában.

A jelen fejezetben áttekintett kutatástörténeti irányok így nem önmagukban értelmezendők, hanem előkészítik azt a módszertani fordulatot, amely a kétélű egyenes kardok kutatásában az

[57] KAINOV 2024, 258. A gnezdovói kardanyagról egy 2012-ben megjelent cikk is beszámol, amelyben a szerző legalább 27 ép kard és számos töredék tipológiai besorolását adják meg, valamint rámutat a kelet-európai területek korai kardtípusainak eltérő kronológiájára az európai párhuzamokhoz képest. KAINOV 2012.

archeometriai vizsgálatok megjelenésével következett be. A következő fejezet ennek megfelelően az archeometriai kutatások történetét tekinti át, bemutatva azokat a módszereket, kérdésfeltevéseket és eredményeket, amelyek a kardok anyagának és készítéstechnikájának vizsgálatát új alapokra helyezték.

2.2. A kora középkori kétélű egyenes kardok régészeti kutatása hazánkban

A 10. századi Magyar Fejedelemség, illetve az abból a 11. század folyamán, az Árpádok uralma alatt kibontakozó keresztény Magyar Királyság területén szép számban előkerültek a téma alapját szolgáló kétélű egyenes kardok.[58] A kétélű kardok a 9–10. századi Kárpát-medencében olyan fegyverkategóriát képviseltek, amely a térségben nem helyi eredetű fegyvertípusként jelent meg. Első felbukkanásuk a 9. századhoz köthető, amikor a Karoling expanzió nyomán a Dunántúlon létrejött a Karoling Oriens tartomány, és Priwina, majd Kocel vezetésével Mosaburg egy nyugatias, alapvetően Karoling értékrendet tükröző központtá fejlődött.[59] Ebben a regionális centrumként működő környezetben jelentek meg ismét a nyugati típusú kétélű kardok. A magyarok honfoglalást követően azonban a Dunántúl a Magyar Fejedelemség része lett, így ez a fegyvertípus a 10. század elején eltűnt. A fegyvertípus következő, a Kárpát-medencében kimutatható megjelenése nagyjából fél évszázaddal későbbre tehető.[60] A kétélű kardok feltűnése előtt a Kárpát-medencét elfoglaló magyarság jellegzetes fegyvere a szablya volt, melyek a 10. század végére eltűnnek a sírokból. [61]

A kétélű kardnak vélt legkorábbi ismert hazai példánya a Ladánybene határában előkerült fegyverlelet. A fegyvert három pásztor találta meg 1934-ben. A megtalálók összegyűjtötték az előkerült tárgyakat, majd átadták Szentkirályi Móricznak, Pest megye alispánjának, aki értesítette Jankovich Miklóst, a műgyűjtő főnemest. Jankovich az előkerült leletről be is számolt a Magyar Tudós Társaság évkönyvében, köztük a halott mellé elhelyezett szálfegyverről is, amelyet hibásan határozott meg. Úgy vélte, hogy a megtalált szálfegyver kard volt, és nem szablya, mert a szablya – véleménye szerint – csak a törökök elleni harcok során terjedt el hazánkban.[62] Azt sem szabad azonban elfelejteni, hogy Jankovich nem láthatta a fegyvert, mert a pásztorok azt megtartották, és csiholót készítettek belőle, így ő csak az alispán beszámolója alapján írhatta le véleményét a sírról. Megállapítása, miszerint a sírban előkerült szálfegyver egy kétélű egyenes kard volt, sokáig fennmaradt a kutatói tézisek között, és sok esetben kételkedés nélkül átvették ezt a meghatározást. Kardként nevezi meg a fegyvert később Pulszky és Hampel is.[63]

[58] KRISTÓ 1986. 235.
[59] SZŐKE 2021
[60] KOVÁCS 1990, 41.
[61] KOVÁCS 1990, 41-42.
[62] JANKOVICH 1835; LANGÓ 2007, 64.
[63] LANGÓ 2007, 64; PULSZKY 1891, 5; HAMPEL 1900, 547.

A kardok eredetével kapcsolatos kutatás már a 20. század elejétől foglalkozott a fegyvertípus nyugati származásának lehetőségével. A magyarországi kétélű kardok nyugati eredetére már Nagy Géza is felhívta a figyelmet egyik tanulmányában[64], Hampel József ehhez hasonlóan *„német kardokként"* hivatkozott a darabokra.[65]

Fettich Nándor 1937-es nagyszabású munkájában pont a benepusztai lelet meghatározó szerepet játszott abban a felvetésben, hogy a klasszikus honfoglaló leletanyag a 9. századra keltezhető és amelyre jelentős hatást gyakorolt az északi viking anyagi kultúra.[66] Fettich Nándor a magyarok levediai szállásterületét a Donyec–Don-vidékre helyezte, és úgy vélte, hogy ezen a területen természetes módon jöhettek létre szoros érintkezési pontok a magyarság és a normann—kijevi rusz közösségek között.[67] Értelmezésében e kapcsolatok legmarkánsabb tárgyi emlékei a normann kardok, amelyek egy része feltételezése szerint a honfoglaló csoportokkal együtt juthatott el Levediából, majd Etelköz érintésével a Kárpát-medencébe.[68]

A téma későbbi vizsgálatában fontos mérföldkövet jelentett László Gyula 1939-es véleménye, amelyben a kétélű, egyenes kardok eredetére irányította a figyelmet. Megfogalmazása szerint: „*A magyarországi és dalmáciai egyszerűbb kardokat a magam részéről nem normann forrásból származtatom, hanem úgy gondolom, hogy a nyugati mintára átszervezett hadsereg számára a szomszédos Karoling birodalom fegyverkovácsaitól vásárolták ezeket. A Dunán szállították hozzánk áruikat, s így ugyanonnan származnak ezek a kardok, ahonnan a hadsereg átszervezői is jöttek*."[69]

A kétélű egyenes kardok vonatkozásában az első összefoglaló és elemző jellegű munka az 1960-as évek elején készült el Bakay Kornél által. Bakay összesen 76 kardlelet leírását közölte munkájában, amelyek közül 69 lelőhelyhez köthető, míg 7 darabot ismeretlen lelőhelyűként írt

[64] Nagy Géza 1906-ban megjelent cikkében a Vác határánál található csörögi szőlőkben előkerült kardot mutatta be. A kardot karoling kori kardnak nevezi, párhuzamként tárgyalja a prágai Szent István kardot, a blatniczai kardot, a Budapesten az Erzsébet-híd építésénél talált kardot és a székesfehérvár-demkóhegyi kardot. A váci kardról így ír: *„Magyarország területén a váczi az ötödik Karoling- vagy franknormann-kard, melyről tudomásunk van, melyekhez még egy keresztvas járul."* NAGY 1906, 132

[65] „*A német kardot honfoglalóink valószínleg már a vezérek korában méltányolták, még inkább terjedett használata a királyság korában, mikor számos német vitéz telepedett meg az országban*." HAMPEL 1907. 22.

[66] Kiemelendő, hogy néhány évvel korábban, pontosan 1933-ban megjelent Paulsen Péter tanulmánya, amely a magyarországi viking leleteket tárgyalja észak- és nyugat-európai kultúrtörténeti kontextusban.

[67] Itt ki kell emelni Kovács László tanulmányát a Székesfehérvár–Rádiótelep A. sírjában talált kardról, mely szerint a sírban nem egy Levédiából áttelepült honfoglaló harcos volt, hanem sokkal inkább egy olyan előkelő rusz származású vitéz, aki a 10. század második felében érkezhetett a Magyar Fejedelemség területére, és akinek temetési szertartása már a helyi, magyar rítus jegyeit viseli. KOVÁCS 1995, 304.

[68] FETTICH 1937, 52.

[69] LÁSZLÓ 1937, 232.

le.[70] A leleteket következetesen kardként határozza meg, köztük a benepusztai fegyvert is.[71] Munkájában összehasonlította a szablya és a kard fizikai tulajdonságait, elvégezte a két fegyver használati modellezését, valamint publikálta a hazai kardanyag csoportosítását, amelyet elsőként Petersen tipológiája alapján alakított ki. [72] Tanulmányában a következő típusokat különítette el: H, S, T, E, X és Y típus. Munkájában a csoportokat külön tárgyalja, és eredményeit összeveti az Európa-szerte előkerült kardok jellegzetességeivel. [73]

Bakay Kornél kutatási eredményeinek értékelése szerint a magyarság még Levediában ismerkedhetett meg a kétélű nehéz karddal, feltehetően keleti és északi hatásra, amit néhány korai lelet is alátámaszt. [74] Megállapítása szerint a normannokkal való kapcsolat később sem szakadt meg, hiszen a 10. század végén több, északi díszítésű kard és egyéb fegyver került Magyarországra kereskedelmi és diplomáciai csatornákon keresztül. Ugyanakkor hangsúlyozza, hogy a magyarországi kétélű kardok döntő többsége a 10. század utolsó harmadában és a 11. század elején importált nyugati eredetű fegyver volt. [75]

Bakay Kornél szerint a zsákmányként behozott kardokat nem vették át automatikusan a magyar harcosok. A kétélű kardok nagyobb arányú behozatala a 10. század utolsó harmadára tehető. Értelmezése szerint ennek hátterében Géza fejedelem, majd I. István egyeduralmi politikája áll, akik hatalmuk megszilárdítását a nyugati mintára felfegyverzett haderőre alapozva valósították meg. Ez a katonai kíséret, különösen annak közrendű tagjai, a *milesek (milites)* azok a társadalmi csoportok, akikhez a kétélű kardokkal eltemetett férfiak köthetők. [76]

A 20. század közepén a benepusztai sírleletről Dienes István már óvatosabban fogalmaz, a benepusztai fegyver típusát illetőleg már kétségei voltak. 1968-ban megjelent munkájában a következőképpen fogalmaz róla: *„A benepusztai sír elveszett kardját Jankovics ugyancsak kétélű egyenes kardnak véli, noha összetört darabjait ő maga nem látta. […] … a kutatók általában elképzelhetőnek tartják, hogy a benepusztai vitéznek Etelközből magával hozott, egyenes, normann jellegű kardja volt, bár ez csak kiváltképpen fordulhatott elő.”*[77]

A benepusztai fegyvert sokáig kétélű egyenes kardként határozták meg, a korszak kutatói sokáig el is fogadták a megállapítást és további elméletek bizonyítására használták fel, míg

[70] BAKAY 1965, 16 – 17.
[71] BAKAY 1965, 6.
[72] BAKAY 1965, 6 – 17.
[73] BAKAY 1965, 31.
[74] BAKAY 1965, 35.
[75] BAKAY 1965, 35.
[76] BAKAY 1965, 21– 30.
[77] DIENES 1968, 140.

végül 1980-ban Kovács László igazolta azt, hogy a benepusztai sírban talált fegyver nem kétélű egyenes kard volt, hanem szablya.[78]

A hazai honfoglalás kori kardkutatás következő mérföldkövét több szempontból is Kovács László munkássága jelentette. A Kárpát-medencei kétélű egyenes kardok összegzését ugyan hazánkban korábban Bakay Kornél kezdte meg, ezt a munkát azonban Kovács László jelentősen kibővítette, továbbfejlesztette, illetve, sok helyen korrigálta azt. Ennek egyik példája a Székesfehérvár–Rádiótelep I/A sírjából előkerült kard esete, amelyet Bakay E típusúnak határozott meg, míg Kovács a leletet a T–1 típusba sorolta. Kovács nemcsak összegyűjtötte, hanem térképen is ábrázolta a hazai kétélű egyenes kardleleteket. Adattárában összesen 91 kard szerepel; ezek leírása és adatai mellett feltüntette a fegyverek lelőhelyeit, őrzési helyeit és a tárgyhoz szervesen kapcsolódó szakirodalmat is. Az adattár további 14 ismeretlen lelőhelyű kardot is tartalmaz. Munkája során a kardokat szintén Petersen tipológiája alapján csoportosította, azonban az ő rendszerébe már a T–1 és az U típus is bekerült, valamint Geibig máig korszerű tipológiája is megjelenik az adattárában.

Kovács László véleménye szerint a Kárpát-medencei temetkezésekben előkerült kardok egyes darabjainak markolatszereléke skandináviai díszítést követ, ami utalhat a szerelék készítésének helyére.[79] A pengékről ugyanakkor úgy véli – ideértve az egyszerű kivitelű, tömeggyártott és díszítetlen példányokat is –, hogy azok a Rajna-vidéki fémműves központokból, illetve akár helyi előállításból is származhattak. [80]

Az elmúlt évtizedek vizsgálatai azonban egyértelműsítették, hogy a kétélű kardok csak a 10. század második felében jelentek meg ismét a térségben.[81] Ezzel összhangban a kétélű kardok felbukkanása fontos kronológiai támpontot kínál a régészeti értékelés számára, hiszen a *terminus post quem* megalapítását segítő sírba helyezett éremleletek, valamint az északi eredetű trapéz alakú vállaskengyelek 940-es évektől kimutatható divatja mellett ez a fegyvertípus különösen megbízható kapaszkodót adhat egyes sírlelet vagy temetőrész datálásához.[82]

A korszak Közép-Európa történetében rendkívül összetett időszaknak tekinthető. A magyar fejedelmek a 11. századra rendezték kapcsolataikat az Ottó-dinasztiával, amit dinasztikus házasságkötéssel is megerősítettek. [83] Ezzel egy időben egyes kutatók feltételezik, hogy a

[78] KOVÁCS 1980, 315.
[79] KOVÁCS 1975, 521.
[80] KOVÁCS 1985, 249.
[81] KOVÁCS 1990, 41.
[82] KOVÁCS 1986.
[83] GYÖRFFY 1988, 82–91.

magyar uralkodó – a lengyel és cseh fejedelemhez, illetve a bizánci császárhoz hasonlóan – skandináv vagy rusz[84] eredetű elit testőrséget tartott. [85]

A hazai kardkutatás sokáig az ún. szablya–kard fegyverváltás kérdéskörére koncentrált. A kutatás a szablyát tartja a korai magyarság elsődleges szúró- és vágófegyverének. Általánosan elterjedt nézet volt, hogy a kétélű egyenes kardok átvétele a Kárpát-medencében való letelepedéshez, illetve a kalandozó hadjáratokhoz köthető, ugyanis a harcok következtében nagy számú kétélű kard zsákmányként került a magyar harcosok birtokába.

A fegyverváltás sajátos lelettípusának tekintették az úgynevezett szablyamarkolatú kardokat, amelyek magukban hordozzák mind a kétélű egyenes kard, mind a magyarok elsődleges fegyverének tekintett szablya jellegzetességeit.[86] A magyar szablyamarkolatú kardok olyan kétélű fegyverek, amelyek markolatvasa szablyához hasonló módon, ívelten görbül, keresztvasuk pedig gömbös végű és lefelé hajló kialakítású, hazánkban eddig összesen 12 példánya ismert. [87] A fegyver alacsony száma felveti azt a megközelítést, hogy ez a megoldás haditechnikai zsákutcát jelenthet, ugyanakkor arra is utalhat, hogy a kétélű kardok elterjedésének folyamata nem tette szükségessé a fegyverek ilyen jellegű átalakítását. [88]

Kovács László úgy véli, hogy a 10. század második felében meginduló fegyverváltás hátterében a magyar és a nyugati hadszervezeti modellek kölcsönhatása állhatott. Értelmezése szerint ekkor terjedhettek el a kétélű egyenes kardok, és nem zárható ki azok párhuzamos használata az ívelt szablyával sem. [89] Ezt a lehetőséget B. Szabó János is nyitva hagyja: a későbbi századok magyar könnyűlovasságára utalva rámutat, hogy egy új fegyvertípus elterjedése önmagában nem teszi szükségessé a csapatnem átalakulását. [90]

A kérdéskört legújabban Zágorhidi-Czigány Bertalan vizsgálta. Kutatásai arra irányultak, hogy rámutassanak: a szablyamarkolatú kardok funkcionális jellemzői nagyrészt megegyeznek a 10. századi magyar szablyák egyenes pengéjű típusával. Ezek a példányok méretük és formájuk alapján jól elkülönülnek az íveltebb pengéjű daraboktól, használatuk pedig szoros párhuzamot mutat a szablyamarkolatú kardokéval, ami arra utalhat, hogy a korai pallosok mintaként szolgálhattak a kétélű pengék szablyamarkolattal történő átszereléséhez. Értelmezése szerint a

[84] KOVÁCS 1995, 291-308.
[85] KATONA 2017; GYÖRFFY 1988, 153–154.
[86] KOVÁCS 1975, 521.
[87] PETKES 2015, 127.
[88] TAKÁCS 2017, 256.
[89] KOVÁCS 1990. 41.
[90] B. SZABÓ 2017. 154.

korai magyar példányok inkább a fegyvertípus fejlődésének korai állomásai, nem pedig sikertelen hibridizációs kísérletek. [91]

Kovács adatgyűjtései és publikációi alapvető jelentőségűek a hazai kutatástörténetben. Munkája máig meghatározó hivatkozási pontként szolgál, mivel a Kárpát-medencei kétélű egyenes kardok ismert anyagát egységes szerkezetben közölte, és olyan rendszerezett adattömeget hozott létre, amely azóta is a kutatás egyik legfontosabb forrásbázisát képezi. E gyűjtések nemcsak a későbbi tipológiai, kronológiai és területi elemzésekben bizonyultak nélkülözhetetlennek, hanem a jelen disszertáció tárgyalásmódját és módszertani megközelítését is megalapozták. Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a teljes leletanyag korszerű, egységes régészeti szemléletű újrafeldolgozása mindmáig hiányzik, és bár szükségessége egyre nyilvánvalóbb, megvalósítására egyelőre még várnunk kell.

A kutatástörténeti áttekintés mellett indokolt külön is megemlíteni néhány olyan fegyverleletet, amelyek sajátos jellemzőik vagy a kutatásban betöltött szerepük miatt a kronológiai áttekintéstől függetlenül is figyelmet érdemelnek.

A hazánkban ismert feliratos kardok száma ugyan alacsony, a kutatástörténetben mégis kiemelt figyelmet kaptak. A magyar vonatkozású példányok közül a legismertebb a prágai Szent István-kard, amelyről Franz Bock már 1870-ben beszámolt[92], majd Ingwald Undset 1890-ben a fegyver eredetére és készítéstechnikájára vonatkozó megfigyeléseket tett. Undset Lorange munkájára hivatkozva norvégiai párhuzamokkal hozta összefüggésbe a kardot, és ekkor jelent meg az ULFBERHT-feliratos pengék alsó-rajna-vidéki eredetére vonatkozó elképzelés is.[93] A kard a későbbi hazai szakirodalomban is rendszeresen megjelent: Fettich Nándor 1938-ban elsősorban a szerelékek és azok díszítőmotívumainak vizsgálatára koncentrált.[94] Tipológiai szempontból a legtöbb kutató a Petersen-tipológia T típusba sorolja, amelynek példányai a 10. század végétől a 11. század elejéig készültek[95]; ezzel szemben Kovács László S típusúnak határozta meg.[96] A keltezésben nemcsak a szerelék formája, hanem annak díszítése is fontos szerepet játszik. Fodor István a faragványt mammeni stílusúnak tartja[97], míg Paulsen Péter és Kovács László ringerikei stílusba sorolta[98]. Paulsen a díszítés motívumait a cammini és

[91] TOMPA–ZÁGORHIDI CZIGÁNY 2019, 84-85.
[92] BOCK 1870.
[93] UNDSET 1890.
[94] FETTICH 1937, 475-516.
[95] LUGOSI-TEMESVÁRY 1988, 12., PAULSEN 1933, 52. FODOR 2000, 25.
[96] KOVÁCS 1986, 249.
[97] FODOR 2000, 25.
[98] PAULSEN 1933, 54.; KOVÁCS, 1986. 249.

bambergi ékszerdobozok mintáival vetette össze[99], bár a frissebb szakirodalom ezeket inkább a Mammen stílushoz kapcsolja.[100]

A kard első ismert említése a prágai Szent Vitus-székesegyház 1355-ben készült leltárában található, ugyanakkor nem ismert, hogy pontosan mikor került a templom kincstárába.[101] A szakirodalomban három fő hipotézis olvasható a kard Csehországba kerüléséről. Az egyik szerint Nagy Lajos király (1342–1382) 1353-ban ajándékozta IV. Luxemburgi Károly (1346–1378) német-római császárnak és cseh királynak, amikor Szent Istvánhoz kapcsolódó ereklyéket küldött a prágai udvarba.[102] Egy másik elképzelés alapján a kard már 1270-ben Prágába kerülhetett: IV. Béla (1235–1270) halála után lánya, Anna hercegnő, öccse V. István elől II. Ottokár (1253–1278) cseh királyhoz menekült, és magával vitte a kardot.[103] A harmadik elmélet szerint Vencel (1301–1305) király vitte magával a fegyvert, amikor apja, II. Vencel (1278–1305) cseh király Magyarországról hazavitte.[104]

Ezekre az adatgyűjtésekre támaszkodva a 20. század második felében Bakay és Kovács összefoglaló munkáiban a Kárpát-medencei feliratos és berakásos pengéjű kardok már adatolt tárgycsoportként szerepelnek. Bakay az ULFBERHT-név filológiai értelmezését is tárgyalta[105], míg Kovács adattárában több feliratos penge is szerepel, köztük az INGELRI-felirat és annak változatai, például az 1971-ben Széplakról előkerült kard.[106] Kovács említést tesz továbbá más berakásos pengéjű darabokról is, így a Malomfalva–Szentjánosnál és Gyetvánál talált példányokról.[107] A feliratos és berakásos pengéjű kardok kérdéskörét a legújabban Haramza Márk dolgozta fel összefoglaló jelleggel.[108]

A hazai kutatástörténetben külön kell említeni a bizánci eredetűnek vélt darabokat.[109] A Bizánci Birodalomhoz köthető leletek a késő antik kortól kezdődően folyamatosan előkerülnek a Kárpát-medencében. Bizánc – a középkor egyik legjelentősebb hatalmi központjaként – meghatározó szerepet játszott Európa, és természetesen a 10. századig fennálló korai magyar

[99] PAULSEN 1933, 54.
[100] ANDROSHCHUK 2014, 133.
[101] FODOR 2000, 26.
[102] U.o.
[103] FODOR 2000, 27.
[104] U.o.
[105] BAKAY 1967, 167-170.
[106] KOVÁCS 1994-1995, 160.
[107] KOVÁCS 1994-1995, 163.
[108] HARAMZA 2017, 103-119.
[109] A bizánci eredetűnek vélt kardok külön bekezdésben való tárgyalását fontosnak tartom, hiszen az általam megvizsgált kardok között szerepel a kunágotai kard is. Ebből kifolyólag kutatástörténetének rövid, a témához kapcsolódó áttekintése is nélkülözhetetlen a disszertáció szempontjából.

társadalom kulturális, politikai és kereskedelmi folyamataiban. A bizánci eredetű leletek döntő részét érmék, ékszerek és luxustextilek alkotják, kisebb részben azonban fegyverek is előfordulnak közöttük.[110] A fegyverek tekintetében Hampel József már 1900-ban felhívta a figyelmet a Kárpát-medencében előkerült kardok lehetséges bizánci eredetére, amikor a kétélű fegyverek európai hagyományait a Rajna-vidéki frank területekhez és a Bizánci Birodalomhoz kapcsolta, hangsúlyozva e két hatás együttes jelenlétét a magyar leletanyagban.[111]

A későbbi tanulmányokban említésszerűen merült fel bizonyos kardok bizánci eredete, majd 1987-ben Kiss Attila tollából jelent meg egy összefoglaló tanulmány a Kárpát-medencei bizánci eredetűnek vélt kardokról.[112] Tanulmánya szerint a Kárpát-medencében előkerült, bizánci eredetű kardok a következők: a 10. századra keltezett kunágotai (Magyarország) példány; az aradáci (Aradi, Szerbia) lelet a 7. századból; a Vízkeleten (szlk. Čierny Brod, Szlovákia) talált darab a 8. század végére – 9. század elejére keltezve; valamint a sepsiszentgyörgyi (rom. Sfântu Gheorghe, Románia) kard a 10. századból.[113] A szerző a bizánci eredet mellett egyrészt azzal érvelt, hogy ezek a darabok eltérnek a Karoling kori fegyverektől, valamint a honfoglalás kori ívelt szablyáktól. A különbségek pontos meghatározása azonban lényegében arra korlátozódott, hogy a kardok markolatszereléke lényegében bronzból készült. Másrészt azzal támasztotta alá bizánci eredetüket, hogy rendkívüli ritkaságukat a birodalmon kívül érvényes szigorú fegyverkiviteli tilalommal, illetve a birodalmon belüli keresztény temetkezési szokásokkal hozta összefüggésbe.[114] További bizánci eredetűnek vélt kardok kerültek elő Kölked-Feketekapuról (Magyarország; 7. század) és Garabonc-Ófaluról (Magyarország; 9. század)[115].

A témával újabban Bíró Ádám foglalkozott, akinek kutatásai arra irányultak, hogy a 9–11. századi, a szakirodalom által bizáncinak tartott kardok részletes makroszkopikus vizsgálatával meghatározhatóvá váljanak azok a formai és készítéstechnológiai sajátosságok, amelyek eltérnek a kortárs kontinentális és skandináv párhuzamoktól. Bíró célja az volt, hogy minél több olyan attribútumot elkülönítsen, amely az európai kardokon ismeretlen, vagy csak szórványosan jelentkezik, mivel ezek egy önálló, más fejlődési utat követő kardkészítési

[110] MESTERHÁZY 1991, 145-177; MESTERHÁZY 1993, 450-468.
[111] HAMPEL 1900, 756.
[112] KISS 1987.
[113] KISS 1987, 195.
[114] KISS 1987, 207.
[115] A kardról így vélekedik Szőke Béla Miklós: „*De mivel sem a nyugati kardok, sem a sztyeppe vágófegyverei, sem pedig a Kárpát-medence korábbi vagy korabeli fegyverei között nem találni a garabonci és cierny brod-i kardhoz hasonlót, az egyedül lehetséges származási helyként végül mégiscsak Bizánc maradt*." […] „*igen valószínű, hogy a garabonci és cierny brod-i „bizánci" kardok egy kisebb lélekszámú, délről érkező népességgel, harcos réteggel jelentek meg Pannóniában, talán éppen a bolgárok elől nyugatra menekült abodritok (praedenecenti) és timocanok révén*." SZŐKE 1994, 263-264.

hagyomány jelenlétére utalhatnak. Megközelítése abból indult ki, hogy a római alapok ellenére az európai „barbár" területek és a kelet-mediterráneumi régió kardjai idővel eltérő fejlődési irányt vettek, utóbbiakat erős közel-keleti, muszlim, steppei, közép-ázsiai, illetve távolabbi – indiai és kínai – hatások is befolyásolhatták. Mindez azonban mindaddig csak feltételezés marad, amíg a Kelet-Mediterráneum kardtípusai nem válnak kellően ismertté, és nem lehetséges azok közvetlen összevetése az európai leletanyaggal.[116]

Jelenlegi szakirodalmi adatok alapján a garabonci lelet volt az utolsó olyan kard, amelyet a kutatás bizánci eredetűnek tart; a Kárpát-medencében azóta nem került elő újabb hasonló darab. Ismereteim szerint a bizánci eredetű kétélű kardokon eddig sehol nem végeztek archeometriai vagy archeometallurgiai vizsgálatokat. A kutatási projektbe azonban sikerült bevonni a kunágotai kardot, amelynek mind a markolatszerelékét, mind a pengéjét sikerült megvizsgálni. A kard készítésére vonatkozóan levonható értékes következtetések akkor hasznosíthatók igazán, ha a jövőben lehetőség nyílik további példányok archeometriai elemzésére, valamint az eredmények összehasonlítására. A kunágotai kard vizsgálati eredményei[117] mindazonáltal önmagukban is egyedülállóak, és szervesen illeszkednek a témához kapcsolódó korábbi kutatási eredményekhez.

A Kárpát-medencei kétélű kardok kutatástörténete világosan mutatja, hogy a fegyvertípus értelmezése mindmáig több, egymást részben kiegészítő, részben pedig kizáró megközelítés között oszlik meg. Az eredet, a funkció és az átvétel körül kialakult viták rámutatnak arra is, hogy a 10. századi fegyveranyag vizsgálata nem értelmezhető elszigetelten: a karoling, skandináv és kelet-mediterrán kapcsolatrendszer együttes vizsgálata nélkül nem közelíthető meg kellő árnyaltsággal. A kérdéskör ugyanakkor túlmutat a szűken vett fegyvertörténeten, hiszen szorosan összefügg a honfoglaló magyar anyagi kultúrától idegen fegyverek megjelenésének módjával, a könnyű- és nehézlovasság arányának átalakulásával, a nomadizmus és a letelepedés problémájával, valamint a keresztény államszervezés során jelentkező politikai feszültségekkel és a kora Árpád-kor kereszténnyé válási folyamataival is.[118]

A hazai kutatásban a fegyverek természettudományos vizsgálatának módszertani irányváltását jól példázza Haramza Márk munkássága, aki doktori disszertációjában a 9–10. századi Kárpát-medencei szablyák régészeti–történeti és archeometriai elemzését végezte el. [119] Vizsgálatai

[116] BÍRÓ 2013, 285.
[117] TÖRÖK ET AL. 2022, 279-287.
[118] HARAMZA 2019, 22.
[119] HARAMZA 2019.

során a fegyvereket nem pusztán tipológiai vagy formai alapon értelmezte, hanem azok készítéstechnikai sajátosságait is bevonta az elemzésbe.

Haramza kutatásai ugyanakkor nem korlátozódtak kizárólag a szablyákra: foglalkozott kardfeliratok elemzésével[120], a díszítő kovácshegesztés technológiai kérdéseivel, valamint rekonstrukciós és kísérleti régészeti vizsgálatokkal is. [121] Ez a komplex megközelítés rámutat arra, hogy a fegyverek technológiai elemzése önálló értelmezési réteget képez, amely a hagyományos régészeti tipológiát kiegészítve új szempontokat kínál a kora középkori fegyverhasználat és fegyverkészítés vizsgálatához.

A fejezetben áttekintett kutatástörténeti jelenségek ezért nem lezárt problémakört mutatnak, hanem kijelölik azokat a tudományos irányokat – mindenekelőtt a metallográfiai elemzések szélesítését, az európai és kelet-mediterrán párhuzamanyag feltárását és a fegyvertörténeti módszertan megújítását –, amelyek nélkül a Kárpát-medencei kétélű kardok helyének és szerepének megítélése továbbra is csak korlátozott érvényű lehet.

[120] HARAMZA 2017, 106-114.
[121] HARAMZA 2012, 81-84; HARAMZA-THIELE 2015.B, 63-74.

2.3. Archeometriai és archeometallurgiai kutatások a vizsgált fegyvertípus kapcsán – hazai és nemzetközi áttekintés

A sokrétű leletanyag értelmezése azonban a pusztán formai és tipológiai megfigyeléseken túlmenően egyre inkább megköveteli az anyagösszetétel és a készítéstechnológia vizsgálatát is. A vastárgyak – beleértve a vaselőállítás melléktermékeit, a vasbucákat, tömörített félkésztermékeket is – esetében az archeometriai-archeometallurgiai elemzések alapvető információkat szolgáltatnak a nyersanyag eredetéről, a kovácsolási eljárásokról, a hőkezelési technikákról és a műhelyhagyományokról. Ennek következtében az elmúlt évtizedekben Európa-szerte számos, műszaki vizsgálatokra épülő tanulmány jelent meg, amelyek közül a jelen fejezet a kutatás fókuszában álló kétélű egyenes kardokhoz kapcsolódó szakirodalmat tekinti át, elsőként a nemzetközi, majd a hazai kutatási eredmények bemutatásával.

A kardok archeometriai és archeometallurgiai vizsgálatai nem egységes szemlélet szerint zajlottak. Egyes tanulmányok elsősorban regionális vagy territorális keretben vizsgálták a leletanyagot, és a fémösszetétel, illetve a készítéstechnológia alapján műhelyek, termelési körzetek vagy nyersanyagforrások azonosítására törekedtek. Más kutatások ezzel szemben kiemelt, technológiai szempontból különleges pengékre – például damaszkolt pengéjű vagy ULFBERHT kardokra – koncentráltak, és ezek részletes anyagvizsgálatán keresztül vontak le következtetéseket.

Fontos ugyanakkor rögzíteni, hogy a középkori kardok, különösen a kardpengék készítéstechnológiájára és belső szerkezetére vonatkozóan jelenleg nem áll rendelkezésre egész Európára kiterjedően elfogadott, egységes tipológiai rendszer. Az alábbiakban ismertetett szakirodalom – még ha nem is minden esetben az általam vizsgált korszakhoz kapcsolódik közvetlenül – meghatározó jelentőségű, mivel a legkorábbi anyagvizsgálatoktól a legújabb kutatásokig olyan módszertani fejlődési ívet rajzol ki, amely alapvetően formálta, és mindmáig meghatározza a témakör kutatását. Ezek a munkák egyben világosan rámutatnak arra is, hogy a régészeti és természettudományos megközelítések összekapcsolása olyan értelmezési lehetőségeket teremt, amelyek mind a történeti, mind a régészeti vizsgálatok számára érdemi többletinformációt nyújtanak.

Egyik legkorábbi vizsgálat A. Lorange nevéhez köthető, kinek vizsgálatai a kardpengék anyagszerkezetére és készítéstechnológiájára irányultak, különös tekintettel damaszkolt pengékre. Elemzéseiben hangsúlyozta, hogy a látványos felületi mintázat önmagában nem azonos a pengék mechanikai minőségével, amelyet döntően a széntartalom, a hőkezelés és a

kovácsolási eljárások határoznak meg. Munkája a korai archeometallurgiai kutatások fontos példája, amely kritikus szemlélettel járult hozzá a történeti forrásokban gyakran idealizált kardanyag reálisabb technológiai értelmezéséhez.[122] A fegyverkutatás, így a 20. század elejére már tisztában volt az archeometriai elemzések fontosságával, ebből következik, hogy Petersen munkájában is olvasható egy rövid kémiai elemzés, az eredményeket egy táblázatban publikálta.[123] Hasonlóan kora műnek számít Borisz Alexandrovics Kolcsin munkája, ami a kora középkori Rusz területének vasmetallurgiáját és fémfeldolgozását tárgyalja, az írott és régészeti források kritikai elemzésére, valamint a természettudományos vizsgálati módszerekre támaszkodva.[124]

A kardokon található feliratok és különböző motívumok vizsgálata a későbbi kutatásokban a készítési hely és a technológiai kapcsolatok kérdésének vizsgálatához is hozzájárult. Kirpichnikov, Thålin-Bergman és Jansson a Stockholmi Történeti Múzeum gyűjteményében őrzött tizenöt viking kori kard vizsgálata során korábban nem ismert feliratokat és jeleket tártak fel, amelyeket mikroszkópos és makrofotográfiai vizsgálatokkal, valamint bizonyos esetekben röntgenfelvételekkel dokumentáltak.[125] A vizsgált anyagban hét ULFBERHT-feliratú kardot azonosítottak, amelyek esetében a jelek kialakításának technikája és a kivitelezés hasonlóságai alapján a Rajna-vidékhez köthető kontinentális eredetet valószínűsítették. A szerzők ugyanakkor olyan kardokat is vizsgáltak, amelyek latin feliratokat utánzó, de értelmezhető szöveget nem alkotó jeleket viseltek. Ezek földrajzi elterjedése, valamint a jelek és a kardok egyes technológiai sajátosságai alapján észak-európai, valószínűleg skandináv helyi gyártást feltételeztek. Különösen a két gotlandi kard esetében figyeltek meg olyan sajátosságokat, amelyek ezt az értelmezést erősítették: az egyik példány jelét egyszerű vasból készült szálak díszítőkovácshegesztésével alakították ki, míg a másik markolatán a megszokott, többféle nemvas fémszálas díszítés helyett egy darab kalapált bronzot alkalmaztak. A szerzők szerint ezek a különbségek kontinentális mintákat követő helyi gyártás lehetőségét vetik fel.[126]

A kardpengék anyagszerkezetére és készítéstechnológiájára irányuló archeometallurgiai kutatások[127] közül kiemelkedő jelentőségű az angol archeometallurgus, Alan Williams[128]

[122] LORANGE 1889, 27. https://archive.org/details/DenYngreJernaldersSvrd.EtBidragTilVikingetidensHistorieOgTeknologi/page/n23/mode/2up utolsó megtekintés 2024. 12. 4.
[123] PETERSEN 1919, 210.
[124] KOLCSIN 1953.
[125] KIRPICSNYIKOV ET AL. 2001, 227.
[126] KIRPICSNYIKOV ET AL. 2001, 221–244.
[127] LANG-WILLIAMS 1975.; TYLECOTE-GILMOUR 1986.; WILLIAMS 2003; BERGMAN – ARRHENIUS 2005.
[128] WILLIAMS 2012.

munkássága. Nevéhez köthető az ULFBERHT-pengék eddigi legátfogóbb metallográfiai vizsgálata, amelyet először egy tudományos cikkben[129], majd könyv[130] formájában is publikált. Vizsgálatai során Észak-Európa különböző térségeiből származó, ULFBERHT vagy annak változataival feliratozott pengét elemzett, amelyek legnagyobb számban Skandináviából és a Balti-tenger térségéből ismertek, gyártás feltételezett központját viszont nyelvészeti és történeti érvek alapján a Rajna-vidékre helyezték.[131]

A metallográfiai és kémiai vizsgálatok eredményei alapján Williams a pengéket öt fő technológiai csoportba sorolta. Az I. csoportba a hipereutektoidos acélból készült pengék kerültek, amelyek széntartalma meghaladja a 0,8 tömeg%-ot. A II. csoportot az eutektoidos összetételű, körülbelül 0,8 tömeg% széntartalmú acélpengék alkotják. A III. csoportba azok a pengék tartoznak, amelyeknél edzett, jellemzően mintegy 0,4 tömeg% széntartalmú acélél kapcsolódik vasmaghoz. A IV. csoport esetében szintén vas maganyag és acél él kombinációja figyelhető meg, azonban az él edzetlen maradt. Az V. csoportba végül az alacsony széntartalmú, 0,2 tömeg% alatti széntartalmú vasból készült pengék sorolhatók.[132] Williams csoportosítása világosan rámutat arra, hogy az ULFBERHT feliratú kardok nem egységes technológiai színvonalat képviselnek, hanem jelentős különbségek mutathatók ki az alapanyag minőségében, a hőkezelési eljárásokban és a szerkezeti megoldásokban.

Williams vizsgálatai ugyanakkor a kutatók körében módszertani kifogásokat is felvetettek. Astrup és Martens 2011-ben megjelent írása szerint a vizsgálati minta kiválasztásának szempontjai nem kellően tisztázottak, a leletanyag földrajzi megoszlása kevéssé reprezentálja a feltételezett közép-európai gyártóközpontokat, továbbá a metallográfiai minták többsége a penge éléből származott, nem pedig teljes vagy fél keresztmetszetből. Álláspontjuk szerint ezért az elemzésekből levonható következtetések korlátozottan alkalmazhatók az ULFBERHT-pengék előállításának és elterjedésének rekonstruálására. Ugyanakkor hangsúlyozták, hogy Williams munkája fontos eredménye annak kimutatása, hogy az ULFBERHT-feliratú pengék anyaga és technológiai minősége jelentős változatosságot mutat.[133]

[129] WILLIAMS 2009.
[130] WILLIAMS 2012.
[131] MÜLLER-WILLE 1970, 65-91; WILLIAMS 2012. 117.
[132] WILLIAMS 2012, 118-119.
133 ASTRUP-MARTENS 2011, 203-205.

Radomir Pleriner[134] a korai kelta kardokról írt összefoglaló munkáját emelném ki.[135] A kötet 119 kelta kard metallográfiai és kémiai elemzését tartalmazza, amelyek Nyugat- és Közép-Európa különböző lelőhelyeiről származnak. A szerző a vizsgált kardpengéket karbontartalmuk és készítéstechnológiai jellemzőik alapján két fő csoportba (A és B) sorolta. Az A csoportba tartozó pengék döntően lágyvasból készültek, 0,02–0,05 tömeg% közötti széntartalommal, míg a B csoportba olyan példányok kerültek, amelyek élét nagyobb széntartalmú, acélszerű anyagból alakították ki, 0,3–0,7 tömeg% közötti széntartalommal. A szerző mindkét fő csoporton belül további alcsoportokat különített el a pengék belső szerkezeti felépítése alapján.[136]

Pleiner a leletanyag anyagvizsgálata mellett kísérleti jellegű teszteket is végzett, amelyek során alacsony széntartalmú (0,2% C) acélból készült, kelta kardpengéket modellező próbadarabokat használt. Vizsgálatai alapján megállapította, hogy ezek a pengék erőteljes csapások hatására bevághatók és meghajlíthatók voltak, azonban a deformáció mértéke körülbelül 10 mm-re korlátozódott.[137] Alan Williams szerint az érték lényegesen elmarad attól a nagymértékű visszahajlástól vagy „összegyűrődéstől", amelyet Polübiosz[138] a kelta kardok kapcsán említ, így Pleiner kísérletei árnyaltabb képet adnak a kelta kardok mechanikai viselkedéséről és használhatóságáról.[139]

Kiváló összefoglaló művet írt Irmelin Martens és Eva Elisabeth Astrup a norvégiai Telemark megyéből származó kardokról.[140] A viking kori kardpengék archeometallurgiai vizsgálata 21 darab pengére terjedt ki, az eredmények alapján pedig öt csoportra osztották fel a pengéket szerkezetük alapján. A metallográfiai elemzések alapján öt alapvető pengeszerkezeti konstrukciót (I–V) különítettek el, ugyanakkor a II. típuson belül két alcsoportot (IIa, IIb) is definiáltak, így a vizsgálatban hat elkülöníthető konstrukciós megoldás szerepel (I, IIa, IIb, III,

---

[134] Pleiner további két, a témához szorosan kapcsolódó könyvét érdemes még kiemelni. Az egyik az Iron in Archeology. The European Bloomery Smelters című, 2000-ben megjelent kötete, melyben a bucakemencével történő vaselőállítás régészeti vonatkozásaival és technikatörténetével foglalkozik. Ehhez szorosan kapcsolódik az Iron in Archeology. The Early European Blacksmith című 2006-os kötet, amelyben a szerző a régészeti vonatkozások mellett bemutatja az egykori kovácsok nyersanyagait, használati eszközeit és a különböző vastárgyak elkészítéséhez használt technológiákat. Mindkét kötet a vaskortól kb. az érett középkorig (Kr.e. 8. század – Kr. u. 13-14. század) tárgyalja a vasművesség történetét. PLEINER 2000.; PLEINER 2006.
[135] PLEINER 1993.
[136] PLEINER 1993, 99-143.
[137] PLEINER 0993, 164.
[138] "*Their swords also are only good for one downward cut; for after striking a blow they are so bent that unless the warrior has time to straighten them with his foot against the ground, he cannot deliver a second blow*." POLÜBIOSZ, *Histories*, II.33.3–4 (Loeb Classical Library), 322–323. https://archive.org/details/histories witheng01poly/page/322/mode/2up utolsó megtekintés: 2024. 12. 4.
[139] WILLIAMS 2003, 11.
[140] MARTENS – ASTRUP 2021.

IV, V). A pengék felében (10 darab; 50%) a leggyakoribb megoldás a felhegesztett, acélos él és a lágyabb, rugalmasabb mag kombinációja (III. típus), amely a vizsgálatba bevont kilenc települési egység közül nyolcban megjelenik. Négy pengénél dokumentálták a vasmagot borító vékony acélréteg alkalmazását (II. típus), ezen belül két esetben a felületi acélosodás közel kész pengeszenítésével, két esetben pedig előre elkészített acélréteg felhegesztésével (IIb) kovácsolták. Egyetlen penge készült viszonylag homogén, teljes egészében acél anyagból, egy nagy széntartalmú rúd felhasználásával (V. típus).[141] Két penge esetében „szendvics" jellegű felépítés lehetősége merül fel (IV. típus). A vizsgálatok külön érdekessége, hogy a 21 vizsgált pengéből 18 esetében kimutatható a szenítés, bár néhány darabnál a folyamat nem volt teljes mértékben sikeres. A metallográfiai vizsgálatok és keménységmérések alapján hőkezelés vagy edzés 9 pengénél, azaz az anyag 40%-ánál igazolható.[142]

Herbert Westphal röntgenvizsgálatokra alapozott kutatásai a korai középkori kardok pengeszerkezetének értelmezésében fontos mérföldkövet jelentenek. Elemzései elsősorban a pengék belső felépítésére és az élkialakításra koncentráltak, kimutatva, hogy a díszítő kovácshegesztés (pattern-welding) nem mutat következetes összefüggést sem a tipológiai besorolással, sem a markolat díszítettségével. Vizsgálatai rámutattak arra is, hogy az azonos formai megjelenés eltérő készítéstechnológiákat fedhet, illetve, hogy a röntgenfelvételek önmagukban nem elegendők a kardok teljes technológiai értelmezéséhez, hanem más anyagvizsgálati módszerekkel együtt alkalmazva adnak megbízható eredményt.[143]

Ulrich Lehmann *Wurmbunte Klingen. Studien zur Konstruktion, Herstellung und Wertigkeit der frühmittelalterlichen Spatha in Westfalen* című monográfiája a kora középkori, kétélű egyenes kardok (spathae) készítéstechnológiájának, szerkezeti felépítésének és társadalmi értékének átfogó vizsgálatát nyújtja. A munka középpontjában a 6–8. századra keltezhető sírokból származó 28 kard áll, amelyek elemzése során a szerző a hüvely, a markolat és a penge egymással összefüggő rendszerét vizsgálja. A kötet kiemelkedő jelentőségét az adja, hogy a régészeti megfigyeléseket modern, döntően roncsolásmentes természettudományos módszerekkel – mindenekelőtt 3D röntgen-komputertomográfiával – ötvözi, lehetővé téve a pengék belső szerkezetének, hegesztési mintáinak és konstrukciós megoldásainak részletes rekonstrukcióját.[144]

[141] MARTENS – ASTRUP 2021, 113; 121-122.
[142] MARTENS – ASTRUP 2021, 121.
[143] WESTPHAL 1991; 2002.
[144] LEHMANN 2016. Lásd továbbá: LEHMANN 2015, 269-287.

A Kárpát-medence kétélű, egyenes kardanyagának értelmezéséhez fontos összehasonlítási alapot jelentenek az egykori Morva Fejedelemség központjában, Mikulčice térségében feltárt kora középkori kardleletek. E leletanyag eredményeit Jiří Košta és Jiří Hošek cseh kutatók foglalták össze egy önálló kötetben, amely húsz kard átfogó vizsgálatát mutatja be.[145] A szerzők részletesen ismertetik az egyes leletek előkerülési körülményeit, a kardok metrikus jellemzőit, tipokronológiai besorolását, valamint a metallográfiai elemzések eredményeit. A kötet külön fejezetet szentel a kardok készítéstechnológiájának vizsgálatára is, amely nem csupán a pengékre terjed ki, hanem a kardfeliratok, a markolatok és a kardhüvelyek előállítási módjára, továbbá a fegyverek provenienciájával kapcsolatos kérdésekre is.[146]

Ugyanezen kutatók nevéhez fűződik egy kétkötetes, nagy terjedelmű munka is, amely a mai Csehország területéről ismert kardleleteket és azok európai összefüggéseit tárgyalja a 9. századtól a 16. század közepéig. Az első kötet – a historiográfiai és terminológiai alapvetéseket követően – egy átfogó katalógust tartalmaz, amely mintegy 430 kard ábráit és alapadatait közli.[147] A második kötetben többek között körülbelül hatvan, a 9–16. század közé keltezhető kard – többek közt- műszaki vizsgálatának eredményeit dolgozzák fel. Az adatok elemzése lehetővé tette a pengék készítési technikáinak évszázadokra bontott fejlődéstörténeti bemutatását, egyfajta technológiai idővonal felvázolását, amely a jelen kutatás eredményeivel is jól összevethető.[148] A kötet emellett részletes adatokat közöl a kora és késő középkori pengék szerkezeti felépítéséről és anyaghasználatáról (vas, illetve acél).[149] A munka tematikája alapvetően eltér a korábbi kutatások többségétől, mivel nem egyetlen kardtípusra vagy szűkebb csoportra koncentrál, hanem széles időintervallumban, nagyszámú leletet vizsgál többféle megközelítés alkalmazásával. A cseh kutatók által alkalmazott komplex, régészeti és készítéstechnológiai szempontokat egyaránt érvényesítő módszertan a jelen értekezés kutatási eredményeinek rendszerezéséhez is mintául szolgált.

Grzegorz Żabiński és Janusz Stępiński Marcin Biborskival közösen megjelent kötete a mai Lengyelország területéről származó kardpengék készítéstechnológiáját vizsgálja a La Tène-kortól a kora újkorig, összesen 45 penge metallográfiai elemzésére támaszkodva.[150] A vizsgálatok időben a Kr. e. 2. századtól a 16. század elejéig terjednek, így hosszú távú technológiai folyamatok nyomon követésére adnak lehetőséget. Az eredmények szerint a La

[145] KOŠTA – HOŠEK 2014.
[146] KOŠTA – HOŠEK 2014.53-236.
[147] KOŠTA ET AL. 2019.
[148] KOŠTA ET AL. 2021.
[149] KOŠTA ET AL. 2021, 73-97.
[150] ŻABIŃSKI ET AL. 2014.

Tène-kor pengéi többnyire egy darabból kovácsolt vasból készültek, változó minőségben, míg a római kori, magasabb technológiai színvonalú pengék nagy része valószínűleg import eredetű. A népvándorlás kori és kora középkori időszakban figyelhető meg a legnagyobb technológiai változatosság, ugyanakkor ebben az időszakban a pengék eredetének meghatározása pusztán technológiai alapon már jelentősen nehezebb.[151]

A szerzők megállapítása szerint a késő középkor folyamán a technológiai megoldások spektruma fokozatosan beszűkül: a pengék előállításában alapvetően néhány, jól bevált eljárás maradt használatban (egydarabos, szenített pengék; lágy vasmagra hegesztett acélélekkel készült szerkezetek). A kutatás egyik fontos következtetése, hogy míg a korai időszakokban a pengék technológiai jellemzői még viszonylag jól használhatók az eredet kérdésének vizsgálatára, addig a késő középkorban a technológia szerepe ebben a tekintetben jelentősen csökken.[152] A kötet így nemcsak regionális összegzést nyújt, hanem módszertani szempontból is hangsúlyozza a metallográfiai vizsgálatok lehetőségeit és korlátait, valamint azok régészeti értelmezésben betöltött szerepét.

Bár kutatásai nem kifejezetten kétélű egyenes kardokra irányulnak, Mathias Mehofer osztrák archeometallurgus több szúró-vágó fegyveren – elsősorban szablyákon és spathákon – végzett részletes metallográfiai vizsgálatokat. Nevéhez köthető többek között a gnadendorfi szablya[153], a zillingtali fegyverleletek[154], a hohenburgi spatha[155], a poysdorfi langobárd sírleletek[156], valamint a Felső-ausztriai Tartományi Múzeum gyűjteményéből származó, 8–9. századra keltezhető fegyverek anyagvizsgálata. [157] Jelenlegi ismereteink szerint az osztrák szúró-vágófegyverek archeometallurgiai elemzéseiről eddig nem jelent meg átfogó összefoglaló munka; Mehofer közlései elsősorban esettanulmány jellegűek.

A fegyverleletek archeometallurgiai vizsgálatai csak akkor értelmezhetők megbízható módon, ha azok szilárd módszertani háttérre támaszkodnak. Az egyes régiókra vagy fegyvertípusokra vonatkozó esettanulmányok mellett ezért különös jelentőséggel bírnak azok az összefoglaló, kézikönyv jellegű munkák, amelyek a fémek vizsgálatának elméleti alapjait. A következő alfejezetben három ilyen módszertani alapmű kerül bemutatásra, amelyek az archeometallurgiai

[151] ŻABIŃSKI ET AL. 2014, 160-217.
[152] ŻABIŃSKI ET AL. 2014, 217.
[153] MEHOFER 2006, 159-175
[154] MEHOFER 2006, 161-169.
[155] MEHOFER 2005, 251-254.
[156] DAIM ET AL. 2005, 201-2019.
[157] SZAMEIT-MEHOFER 2002, 127-149.

kutatások számára általánosan alkalmazható iránymutatást nyújtanak, és amelyekre a jelen kutatás is támaszkodik.

Az egyik ilyen alapművet David A. Scott írta meg. *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals* összefoglaló művében az alapvető metallográfiai fogalmak mellett hangsúlyozza, hogy hogy a mikrostruktúra vizsgálata nemcsak a készítéstechnológia rekonstruálását teszi lehetővé, hanem alapvető információkat nyújt a korróziós folyamatokról, az anyag mechanikai tulajdonságairól és a különböző hőkezelési eljárások hatásairól is. Ezek az összefoglaló munkák fontos metodikai keretet biztosítanak a történeti fémművesség, így a kardpengék archeometallurgiai vizsgálatához, és elősegítik a régészeti és természettudományos szemlélet összehangolását.[158]

Az archeometallurgia módszertani és elméleti kereteit összegző kézikönyvek közül kiemelkedő jelentőségű az *Archaeometallurgy in Global Perspective. Methods and Syntheses* című kötet. A munka átfogó képet ad az archeometallurgia kialakulásáról és fejlődéséről, amely önálló kutatási területként az 1970–1980-as évektől kezdve formálódott, és az utóbbi évtizedekben jelentős módszertani és elméleti bővülésen ment keresztül. A kötet egyrészt összefoglalja a korábbi kutatások főbb eredményeit, másrészt rendszerezett formában mutatja be a jelenleg alkalmazott vizsgálati eljárásokat, az olvasztási technológiák és salakelemzések vizsgálatától kezdve a kémiai és provenienciavizsgálatokon át egészen a konzerválási kérdésekig. Külön értéke, hogy a technológiai elemzéseket nem önmagukban tárgyalja, hanem következetesen társadalmi és kulturális összefüggésekbe ágyazva, jól érzékeltetve az archeometallurgia interdiszciplináris jellegét,[159]

Az egyik legújabban megjelent archeometallurgiával foglalkozó összefoglaló művet Andreas Hauptmann készítette el. *Archaeometallurgy – Materials Science Aspects* című kötet tudatosan kapcsolja össze a régészeti és archeometallurgiai kutatásokat a földtudományokkal és az anyagtudománnyal. A szerző a különböző ércek előhelyeitől kezdve a korai fémtermelés régészeti nyomain, valamint az alapvető kémiai és fizikai folyamatokon át az alacsony technológiai szintű, kísérleti és etnoarcheológiai megközelítésekig tárgyalja az ókori fémművesség értelmezéséhez szükséges kérdésköröket.[160]

[158] SCOTT 1991.
[159] THORNTON-ROBERTS 2014.
[160] HAUPTMANN 2020.

A nemzetközi példák bemutatása rávilágít arra a módszertani keretre, amelyhez jelen disszertáció is kapcsolódik, mivel a kutatás során alkalmazott megközelítések alapját a fentebb ismertetett munkák módszertana képezi. A hazai szakirodalomban a bemutatott nemzetközi összefoglaló kötetekhez hasonló, átfogó jellegű munka eddig nem született. Ugyanakkor az archeometallurgia mint önálló kutatási terület hazai jelenléte és fejlődése egyértelműen kimutatható. A fegyverek interdiszciplináris vizsgálatára azonban többnyire esettanulmányok keretében találunk példákat, amelyek közül néhányról jelen fejezetben is szólok.

Kohászatrégészeti megfigyelések hazánkban már a 19. század közepétől megjelennek, ezek azonban jellemzően eseti jellegű közlésekre és részmegfigyelésekre korlátozódtak. A kutatás első jelentős fordulópontját a 20. század közepe jelentette, amikor megkezdődött a honfoglalás kori vaskohászati emlékanyag tervszerű gyűjtése és feldolgozása.[161] A század közepén az első hazai metallográfiai vizsgálatok is megjelentek: Fuchs Erik és Nádori Zoltán rétegelt kovácsolású késleletet vizsgáltak[162], nem sokkal később pedig Hegedűs Zoltán honfoglalás kori salakokat és nyílhegyeket tanulmányozott.[163]

Az első komoly összefoglaló munka Nováki Gyula, Vastagh Gábor, Heckenast Gusztáv és Zoltay Endre nevéhez köthetők. Közülük külön kiemelendő Zoltay Endre szerepe, aki Magyarországon elsőként végzett rekonstrukciós jellegű, mérésekkel és részletes dokumentációval kísért vasérckohósítási kísérleteket saját maga által épített bucakemencében. A négy kutató munkásságából született összefoglaló közlés hosszú időn keresztül egyedülálló referenciának számított a hazai – elsősorban a vashoz kapcsolódó - archeometallurgiai kutatásban.[164]

A magyarországi archeometallurgiai kutatások – különös tekintettel a vashoz kapcsolódó vizsgálatokra – a 20. század utolsó évtizedeiben, illetve az új évezred elején lendültek fel igazán. Erre a legjobb példa Gömöri János egyik alapvető összefoglaló munkája *Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában* című kötet. A könyvben a szerző összegyűjtötte a magyarországi archeometallurgiai lelőhelyeket (adattár), közölte kutatási eredményei alapján kidolgozott kohótipológiáját, valamint bemutatta a vaselőállítás és -feldolgozás folyamatát az érctől a félkész termékig.[165] A kötet fontos fejezete továbbá az avar

[161] TÖRÖK 2013, 10-11.
[162] FUCHS – NÁDORI 1958, 323–330.
[163] HEGEDŰS 1960, 120-129.
[164] HECKENAST ET AL. 1968. 190-195.
[165] GÖMÖRI 2000.

típusú bucakemencék feltárásai során előkerült leletek – folyósalakok, ércek és kemencesalakok – műszaki vizsgálata, amelyet Török Béla végzett el.[166]

A hazai archeometallurgiai kutatások[167] jelentős része Török Béla nevéhez, illetve az ARGUM kutatócsoport munkásságához köthető, akik tevékenységük során számos vas- és nemvasfém tárgy vizsgálatát végezték el. A csoporthoz kapcsolódik többek között az avar kori vastárgyak, kohók és kovácssalakok komplex archeometriai elemzése[168], késő római nagyméretű vasbucák, vassalakok és vastárgyak vizsgálata, valamint a szíriai Al-Marqab keresztes erődjéből származó bronz- és vastárgyak archeometallurgiai és technikatörténeti jellegű feldolgozása is.[169] Jelen disszertáció vizsgálati anyaga szintén az ARGUM kutatócsoport közreműködésével készült el.

A szúró-vágófegyverek készítéstechnikai vizsgálatára az egyik legelső hazai példa az abony-piócásparti szablyatöredék metallográfiai vizsgálata, aminek leírását 1980-ban publikálták.[170] A fegyvertöredék pengéjéből, valamint a keresztvasból a restaurálás során vett mintákon mikroszkópos és röntgendiffrakciós vizsgálatokat végeztek. Az elemzések eredményei alapján a kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy a vizsgált tárgy feltehetően egy szablyamarkolatú kardhoz tartozhatott.[171] Ezt követően, négy év elteltével, 1984-ben Gömöri János közölt egy tanulmányt, amely a 10–11. századra keltezhető vastárgyak metallográfiai vizsgálatának eredményeit ismertette, köztük egy 10. századi egyélű kard anyagvizsgálatát is.[172]

Mérföldkőnek tekinthető Halmágyi Szabolcs és Riedel Lóránt 1986-ban megjelent *Régi fegyverekről* című kötete, amely technikatörténeti megközelítésben, átfogó módon tárgyalja a fegyverek történetét.[173] A munka a fegyverek alapanyagaitól kiindulva ismerteti a kohósítást, a különböző fegyvertípusok – nem kizárólag a kardok – esetében alkalmazott készítési és díszítőeljárásokat, valamint a gyártási technológiákat. A kötet külön fejezetet szentel a fegyverek vizsgálatának, restaurálásának és állagmegóvásának is.[174]

Az ezt követő időszakban a kardpengék metallográfiai elemzése hosszabb ideig háttérbe szorult, és csak 2011-ben jelent meg újabb közlés a témában. Az ekkor publikált tanulmány egy,

[166] TÖRÖK 2000. 241-245.
[167] Itt szólnék röviden Thiele Ádám munkásságáról, aki rekonstrukciós kísérleteken túl a vas archeometallurgiáját kutatja, számos archeometriai vizsgálat és kísérleti régészeti kutatás köthető a nevéhez lásd pl.: THIELE 2011, 2-5; TÖRÖK-THIELE 2013. 1-6.
[168] TÖRÖK ET AL. 2017, 185-202.
[169] TÖRÖK ET AL. 2017.
[170] N. BENKŐ 1980, 235-245.
[171] KOVÁCS 1990. 39-49.
[172] GÖMÖRI 1984. 133-135.
[173] HALMÁGYI-RIEDEL 1986, 32-68.
[174] HALMÁGYI-RIEDEL 1986. 146-192.

a Kárpát-medencéből származó, feltehetően 6. századi gepida kard anyagvizsgálatát mutatta be. A vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a fegyvert heterogén bucavasból, hőkezelés alkalmazása nélkül kovácsolták, és készítése nagy valószínűséggel helyi műhelyhez köthető.[175]

A hazai kutatók a nemzetközi szakirodalomhoz hasonlóan külön figyelmet fordítottak a díszítő kovácshegesztéssel készült pengék vizsgálatára. A témakörrel számos szakcikk és monografikus feldolgozás foglalkozik mind nemzetközi, mind hazai viszonylatban.[176] Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a jelen kutatás keretében vizsgált 10. századi kétélű egyenes kardok között egyetlen olyan példány van, amelyen az említett technika alkalmazása feltételezhető. Ennek ellenére a díszítő kovácshegesztés kutatása továbbra is kiemelt érdeklődésre tart számot, ezért indokolt a témához kapcsolódó hazai álláspontok rövid áttekintése.

A díszítő kovácshegesztés (pattern-welding) az ún. réteges kompozit készítéstechnológia továbbfejlődésének tekinthető, és alkalmazása a Kr. u. 2–10. század közé tehető. A technológia során a pengék előállításához különböző összetételű vas- és acélanyagokat – lágyvasat (C < 0,2 tömeg%), acélt (C > 0,2 tömeg%) és foszforban gazdag vasat (P > 0,1 tömeg%) – kovácsoltak össze. Az eljárás elsődleges célja nem a penge mechanikai tulajdonságainak javítása volt, hanem a felületen megjelenő dekoratív mintázat kialakítása.[177] A technika anyagtani hátterének vizsgálatához kapcsolódik egy 2014-ben, az *Archeometriai Műhely* hasábjain megjelent tanulmány, amely korhűen rekonstruált, díszítő kovácshegesztéssel készült vasanyagok maratási kísérleteit mutatta be. A kutatás célja annak meghatározása volt, hogy mely maróanyag és anyagkombináció eredményezi a legkarakteresebb, a technikára jellemző mintázatot. A kísérletek során a legnagyobb kontrasztú rajzolat sósavas maratás alkalmazásával vált megfigyelhetővé.[178]

A kora középkori szúró- és vágófegyverek archeometallurgiai vizsgálatával legújabban Haramza Márk[179] foglalkozott. Doktori értekezésében a 9–10. századi, Kárpát-medencében

[175] TÖRÖK – KOVÁCS 2011. 337-343.
[176] ANSTEE-BIEK 1961, 71-93.; MÄDER 2009; HARAMZA-THIELE 2015.
[177] THIELE ET AL. 2014A. 182.
[178] THIELE ET AL. 2014B.
[179] Haramza Márk és Thiele Ádám az úgynevezett schiavonesca típusú kardokhoz, illetve schiavonesca markolatú szablyákhoz köthető leletek közül részletes metallográfiai vizsgálatnak vetették alá az alsókandai szablyát, amelynek eredményei alapján a fegyver készítéstechnológiájára és a 15–16. századi szúró-vágófegyverek fejlődéstörténetére vonatkozó következtetéseket fogalmaztak meg. A vizsgált fegyvertípusok túlnyomó részt a 15. századra keltezhetők, szerelékeik Ewart Oakeshott tipológiai rendszerének 12-es keresztvas- és Z jelű markolatgombtípusába sorolhatók, a kutatás pedig a Janus Pannonius Múzeum Mohács500 kutatóprogramjának keretében valósult meg. HARAMZA-THIELE 2024, 285-310. További tanulmányai közül kiemelnedő az Ulfberht-kardokról, illetve a feliratról írt cikke is. HARAMZA 2017. 103-119.

előkerült szablyákat nemcsak hadtörténeti, hanem anyagvizsgálati szempontból is elemezte.[180] A kutatás a fegyverek formai és metrikus jellemzőinek feldolgozása[181] mellett kiterjedt az alapanyag és a készítéstechnológia vizsgálatára, valamint ezek modellezésére is. A szerző a pengék esetében többek között azt vizsgálta, hogy kimutatható-e díszítő kovácshegesztés, tűzi hegesztés vagy hőkezelés alkalmazása, továbbá, hogy a salakzárványok kémiai összetétele milyen információkat szolgáltat a felhasznált nyersanyag jellegéről. A vizsgálatokhoz négy szablyából összesen hat mintát metszettek ki, és az elemzések eredményei alapján megállapítható volt, hogy a szablyák egységes alapanyagból készültek, díszítő kovácshegesztés alkalmazása nélkül, ugyanakkor hőkezeléssel.[182]

Szintén érdemes kiemelni a Murakeresztúr-Kollátszegen előkerült kétélű karoling kori kardot, melyen komplex archeometriai vizsgálatokat (SEM-EDS, OM, ED-XRF, PGAA; TOF-ND) végeztek 2022-ben. A vizsgálatok kimutatták a penge hajtogatott, réteges szerkezetét, valamint az él célzott hőkezelését, amit a finom tűs martenzit és a keménységmérések is alátámasztottak. A tanulmány jól példázza a neutrondiffrakciós vizsgálatok és a klasszikus metallográfia integrált alkalmazásának lehetőségeit és korlátait egyedülálló régészeti fegyverleletek esetében.[183]

A kutatástörténeti áttekintés világosan megmutatta, hogy megfelelő módszertani keretek alkalmazásával a kardok készítéstechnológiai vizsgálata és részleges klasszifikációja megvalósítható. A bemutatott kutatások egy része jól körülhatárolható idő- és térbeli keretek között, más része pedig speciális kardtípusokra vagy -csoportokra összpontosított. Az utóbbi évtizedekben ugyanakkor egyre hangsúlyosabbá váltak azok a komplex megközelítések, amelyek nagy időintervallumot és jelentős mennyiségű vizsgálati adatot integrálnak, majd statisztikai módszerekkel (például klaszteranalízissel) értékelik azokat, jóllehet ehhez megfelelő nagyságú leletanyag és feldolgozott szakirodalom szükséges, amely nem minden régió esetében áll rendelkezésre. E szemléletmódra kiváló példát jelentenek a cseh kutatók munkái, akik regionális keretben képesek voltak a kardkészítési technológiák változását és fejlődési tendenciáit bemutatni. A magyarországi kutatások jelenleg inkább alapozó jellegűek,

[180] HARAMZA 2019, 123.
[181] Hasonlóan a fegyverek metrikus adatait vizsgálta Csiki Gergely is, aki az avar kori vágófegyverek méretadatai alapján rámutatott arra, hogy a méretparaméterek bizonyos esetekben kronológiai vagy műhelykapcsolatokra utalhatnak, ugyanakkor ezek értelmezése csak megfelelő mintaszám és statisztikai feldolgozás mellett tekinthető megbízhatónak. Megfigyelései szerint az azonos lelőhelyről származó fegyverek méretei gyakran közel állnak egymáshoz, ami akár közös készítési háttérre is utalhat. CSIKY 2016, 266.
[182] HARAMZA 2019, 155.
[183] MARÓTI ET AL. 2022, 53-54.

ugyanakkor néhány esettanulmány – így például a kunágotai, bizánci eredetű kard archeometriai vizsgálata[184], vagy a kora középkori gepida kard elemzése[185] – már rávilágított a 10. századi kétélű kardok készítéstechnológiai sajátosságaira. Jelen disszertáció módszertani megközelítése a bemutatott nemzetközi és hazai kutatások eredményeire épül, amelyek együttesen szolgálnak kiindulópontként és értelmezési keretként a vizsgálati eredmények feldolgozásához és értékeléséhez.

[184] TÖRÖK ET AL. 2022.
[185] TÖRÖK – KOVÁCS 2011.

3. A vas mint alapanyag

„A vas mindig szent. Akár a mennyboltról hullik alá, akár a föld méhéből bányásszák elő, szent erő lakozik benne." – írja Mircea Eliade a vasról[186], amely nem történeti tényállításként értelmezendő, hanem olyan általános értelmezési keretként, amely arra hívja fel a figyelmet, hogy a vas az emberi kultúrákban korán kiemelt szerepet betöltő anyaggá vált. A 10. századra a vas már széles körben használt nyersanyag volt Európában, ugyanakkor előállítása és megmunkálása továbbra is összetett technológiai folyamatot igényelt.[187] Fizikai és metallurgiai tulajdonságai – különösen a változó karbontartalom, a salakzárványok jelenléte és az anyag inhomogenitása – azt eredményezték, hogy az előállított vas nem tekinthető egységes, kész alapanyagnak. A feldolgozás során a korai kohászok és kovácsok olyan félkész anyaggal dolgoztak, amelynek végső tulajdonságai csak a további megmunkálás során, a technológiai döntések sorozata és a generációkon át öröklődő empirikus tudás eredményeként alakultak ki. Ennek következtében a vas nem semleges kiindulópontként, hanem aktívan formálódó anyagként értelmezhető, amelynek szerkezeti sajátosságai alapvetően befolyásolták a belőle készült eszközök és tárgyak kialakítását és használhatóságát. Ez egyben azt is meghatározza, hogy a vas az archeometallurgiai kutatásokban miért bír oly különleges státusszal.

Az archeometallurgia területén a vas nem pusztán egy a vizsgált fémek közül, hanem olyan anyag, amelyhez önálló technológiai és kutatástörténeti problémakör kapcsolódik. Míg a nem vasalapú fémek esetében az archeometriai és archeometallurgiai vizsgálatok elsősorban a kész tárgyak metallográfiai elemzésére koncentrálnak, addig a korai vaskohászattal foglalkozó kutatások szükségszerűen magukban foglalják az alapanyag-előállítás, a melléktermékek és a technológiai folyamatok részletes vizsgálatát is. Ez abból adódik, hogy a vas előállítása olyan sajátos eljárásokat igényelt, amelyek jelentősen eltértek a korábban ismert fémek feldolgozásától. Bár a vasércek a történeti időkben hasznosított fémércek közül a leggyakoribb felszínközeli ércek közé tartoztak, a belőlük előállított vas mikroszerkezete – és ezáltal mechanikai tulajdonságai – széles határok között alakítható.[188]

A fémhasználat korai szakaszában az ember többféle termésfémet használhatott ékszerek, eszközök és fegyverek előállításához, az adott térségben hozzáférhető nyersanyagok függvényében. Ezzel párhuzamosan meteoritvas is rendelkezésre állt, azonban csak kis

[186] ELIADE 2004,
[187] TYLECOTE 1992, 75-76.
[188] TÖRÖK 2014,78.

mennyiségben és gyorsan kimerülő készletek formájában.[189] A vizsgálatok alapján a meteoritvasból készült tárgyak világszerte rendkívül ritkák, és tartós felhasználásuk csak elszórt esetekben igazolható.[190] A rendelkezésre álló adatok arra utalnak, hogy a meteoritvas ismerete és alkalmazása időben és térben egyaránt túlzottan szórványos volt ahhoz, hogy érdemi szerepet játsszon a földi ércekből történő vaselőállítás technológiájának kialakulásában. A vas történeti jelentőségének és technológiai fejlődésének megértése ezért elsősorban a földi ércek feldolgozásához kötődik.[191]

A vaskohászat európai megjelenése a Kr. e. 8–6. századra tehető, amikor Közép- és Nyugat-Európa több térségében is megjelentek a korai vaselőállítás régészeti nyomai. A Hallstatt-korszak (Kr. e. 750–450) vaskultúrája több, egymással kapcsolatban álló népességhez köthető, és ebben az időszakban a használata fokozatosan túllépett a fegyverek és dísztárgyak körén, megjelenve a mindennapi használati eszközök között is.[192] A La Tène-korszakban (Kr. e. 5. századtól időszámításunk kezdetéig) a vaskultúra Európa nagy részén különösen a keltákhoz kapcsolódik, akiknél a vas nemcsak technológiai értelemben, hanem gazdasági és társadalmi szinten is meghatározó anyaggá vált.[193] Erre a korszakra már-már jellemző a vas tömeges előállítása és felhalmozása, amelyet nem annyira a kohók maradványai, mint inkább a nagy mennyiségű vasfegyver és tömörített vasbuca régészeti előfordulása jelez.

A Római Birodalom időszakában a vaskohászat és a vasfeldolgozás új szervezeti szintre lépett. A birodalom területén jól kiépített, régiókat összefogó vaskohászati rendszer működött, amely az érckitermeléstől a köztes vastermékek előállításán át a késztermékekig terjedt. A hangsúly ebben az időszakban egyre inkább a mennyiségi termelésre helyeződött át, igazodva a hadsereg és a gazdaság növekvő igényeihez. Ugyanakkor Európa vaskultúrája ebben az időszakban kettévált: míg a római provinciákban a teljes technológiai vertikum jelen volt, addig a

[189] BUCHWALD 2005, 13-14.
[190] Például a grönlandi sarki inuitoknál, akik a Cape York meteorithullás töredékeit több mint ezer éven át hidegalakításssaldolgozták fel. A meteoritvasból készült tárgyak nagyon ritkák és főként a Közel-Kelethez köthetők. BUCHWALD, 2005, 15-16.
[191] BUCHWALD, 2005, 37-38.
[192] TÖRÖK 2014, 83.
[193] A noricumi vaskultúra két kiemelkedő központja Noricum provincia alpesi térsége és a hozzá kapcsolódó Magdalensberg volt. Noricum a mai Salzburg–Stájerország–Karintia területén, Raetia és Pannonia között feküdt, és Kr. e. 16-tól római provinciaként ismert, kiváló minőségű vasérceiről és acéljáról híres. Magdalensberg e régión belül, a mai Karintiában, Klagenfurttól mintegy 16 km-re északkeletre helyezkedett el, és már a késő kelta vaskortól jelentős kereskedelmi és kézműves központként működött, különösen a noricumi vastermékek elosztásában. A település a római hódítást követően is megőrizte gazdasági jelentőségét, és itt működtek azok a specializált kovácsműhelyek, amelyek a Hüttenberg környéki kohók bucáiból készült termékeket elsősorban Aquileia irányába közvetítették. BUCHWALD 2005, 124-128.

birodalom határain kívül élő kelta és germán népességek alapvetően a korábbi eljáráson alapuló vaskitermelést folytatták.[194]

Római Birodalom felbomlását követő évszázadokban az európai vasművesség jelentősen átalakult, és a korábbi, birodalmi szinten szervezett vaskohászat helyét sokkal heterogénebb, regionális jellegű termelési formák vették át. Bár a római korban működő kohók és műhelyek egy része tovább élhetett, a vas iránti igény nagyságrendekkel csökkent, és megszűnt az iparszerű szervezettség. A népvándorlás korában a vaselőállítás és feldolgozás elsősorban helyi igényeket kielégítő műhelyekre és bucakemencékre korlátozódott, miközben a korábbi vaskohászati központok elvesztették kiemelt szerepüket.[195]

A népvándorlás korának második felétől, különösen a 6–9. század között, új népcsoportok megjelenésével párhuzamosan Európa vaskohászata fokozatosan stabilizálódott. A Kárpát-medence e korszak korai szakaszából csak szórványos, főként sírleletekhez kapcsolódó régészeti nyomok utalnak kovácsolási tevékenységre.[196]

A Kárpát-medencében eddig feltárt legnagyobb kiterjedésű és legjelentősebb korai középkori vaskohászati lelőhelyek az avarokhoz köthetők. Az avar kori vaskohászatot jellemző, Gömöri János által „avar", illetve „nemeskéri" típusúnak nevezett kohótípus szabadon álló bucakemencékből állt.[197] A jelenlegi kutatások alapján az avar korszak második felében, különösen a nyugati területeken jelentek meg nagyobb, szervezetten működő vaskohászati telepek. Ilyen központok feltételezhetők a Győr–Moson–Sopron megyei Tarjánpuszta és Ravazd térségében, valamint kiemelten Somogy megyében.[198]

A 7–8. századra keltezhető kaposvár-fészerlaki lelőhelyen – ahol a feltárt terület nagysága ellenére is – több mint húsz avar bucakemence maradványa került elő[199], míg Zamárdiban Közép-Európa egyik legnagyobb ismert korai középkori vaskohászati telepét tárták fel.[200] A lelőhelyek és környezetük régészeti adatai arra utalnak, hogy az avar kori műhelyek lokális szinten a vaskultúra teljes vertikumát lefedték: az ércgyűjtéstől és -előkészítéstől a faszénégetésen és kohósításon át a bucatömörítésig, esetenként a készre kovácsolásig. Hasonló, komplex vaselőállító és -feldolgozó tevékenységre utalnak a 9. századi zalavári uradalom és a

[194] PLEINER 2006, 135-149.
[195] TÖRÖK 2013, 85.
[196] Példaként hozható az avar kori ötvös- és kovácsszerszámok, melyről Rácz Zsófia írt átfogó tanulmányt. RÁCZ 2009, 69-90.
[197] GÖMÖRI 2000, 221-228.
[198] GÖMÖRI 2000, 229.
[199] GALLINA 2002, 75-85.
[200] GALLINA 2011, 179-198.

hozzá kapcsolódó udvarházak leletei is, ahol a karoling közigazgatás alatt működő, vegyes összetételű népesség háziipari jellegű vaskohászata figyelhető meg.[201]

A honfoglaló magyarok vaskultúrájának eredete és Kárpát-medencei kialakulása nem tekinthető előzmények nélküli folyamatnak. A vastermelés bizonyos fokú kontinuitását közvetett régészeti adatok támasztják alá, elsősorban a dél-oroszországi és ukrajnai sztyeppék 6–9. századi vastermelésre utaló leletei, valamint azok a nyelvi, néprajzi és régészeti kutatási eredmények, amelyek a magyarok és a vastermelő kultúrával rendelkező török népek közötti kapcsolatokra és népességkeveredésre utalnak.[202] A térségben élő, egymáshoz földrajzilag és kulturálisan közeli népek fémműves technikái feltehetően nem különböztek jelentősen egymástól, ami megkönnyíthette a technológiai ismeretek átvételét és továbbélését. Ugyanakkor a magyarok nem vették át a Kazár Birodalomban a 9. században elterjedt, alagútszerű fújtatással működtetett kemencetípust, ami arra utal, hogy a Kárpát-medencébe érkezve a helyi és korábbi technológiai hagyományok nagyobb szerepet játszottak.[203]

A honfoglalást követően a nyugat-magyarországi, avar-onogur hagyományokat követő, szabadon álló bucakemencék viszonylag rövid ideig maradtak használatban, és a 10. századra fokozatosan megjelent a műhelygödör falába épített, ún. „fajszi" kemencetípus.[204] Ennek elterjedése részben empirikus tapasztalatokkal, részben környezeti tényezőkkel magyarázható, ugyanakkor az újabb régészeti adatok arra is utalnak, hogy a beépített kemencék használata már az avar korban sem volt ismeretlen. A 11–13. századra az Árpád-kori Magyar Királyság területén kialakultak azok a jól szervezett vaskohászati régiók, amelyekben az ún. „imolai" kemencetípus vált meghatározóvá, és amelyek a vaselőállítás teljes folyamatát lefedő, regionális szinten szervezett korai vasipari rendszert alkottak.[205] Az újabb feltárások – például az alföldi környezetben azonosított, Árpád-kori műhelykomplexumok – azt mutatják, hogy e rendszer területi kiterjedése és belső differenciáltsága jóval összetettebb volt, mint azt korábban feltételezték.[206]

A vas előállításához alapvetően vasércre volt szükség, amely a vizsgált időszakban elsősorban felszíni gyepvasérc, lápérc vagy tóérc formájában állt rendelkezésre.[207] A kohósításhoz szükséges másik alapanyag a faszén, amelynek előállítására faszénégető boksákat használtak;

[201] GALLINA-TÖRÖK 2018, 61-75.
[202] TÖRÖK 2014, 87.
[203] U.O.
[204] GÖMÖRI 2000, 240.
[205] GÖMÖRI 2000, 241-243.
[206] TÖRÖK 2011, 4-5.
[207] TÖRÖK 2011, 14.

ezek nyomai több lelőhelyen is régészetileg igazolhatók. A kohótelepeket rendszerint sekély vizű patakok, források, érclelőhelyek és erdők közelében alakították ki, mivel a víz a vasérc mosásához, a kohósításhoz és az ott dolgozók ellátásához egyaránt nélkülözhetetlen volt. A kohókat többnyire agyagból formázták, szabadon álló vagy műhely falába épített formában; a honfoglalás korában különösen a műhelygödör falába kialakított, ún. fajszi típusú kemencék használata volt jellemző.[208]

A korszakban önálló ércbányász-mesterség nem létezett, így az érctermelést és -válogatást maguk a kohászok végezték. A begyűjtött érceket mosással és szárítással tisztították, majd feldarabolták annak érdekében, hogy a kohóban nagyobb felületen érintkezhessenek a redukáló gázokkal.[209] Ezt követte az érc pörkölése, amely ércpörkölő gödrökben zajlott, és egyszerre szolgálta a felesleges szerkezeti víz eltávolítását, valamint az alapanyag részleges előredukálását. A kohókban, redukáló környezetben, mintegy 1100–1300 °C hőmérsékleten az érc fémes vassá alakult át, azonban a vas nem vált folyékony állapotúvá.[210]

A kohósítás eredményeként egy salakos, szivacsos szerkezetű, alacsony karbontartalmú, de igen heterogén vasmassza, az úgynevezett buca keletkezett.[211] A kohósítás hosszú órákon át tartó, folyamatos fújtatást igénylő folyamat volt, amelynek során a kürtőn keresztül rendszeresen pótolták a faszenet. Mintegy 10–20 kg vasérc feldolgozásának eredményeként általában 2–3 kg tömegű, kisebb-nagyobb karbontartalmú, salakzárványokkal szennyezett vastömb jött létre.[212] A bucát[213] a kemence áttört mellfalazatán keresztül húzták ki, majd még meleg állapotban kalapálással tömörítették, és újraizzító tűzhelyekben tisztították, alakították tovább. A mellfalazatokat és a fúvócsöveket rendszeresen cserélni vagy újraépíteni kellett. A tömörített bucát rúd vagy cipó formájú félkész termékké alakították, és ebben az állapotban szállították tovább kovácsolásra.[214]

A rendelkezésre álló adatok alapján Európa különböző térségeiből jelenleg több száz buca ismert. A bucák formája jelentős változatosságot mutat: egyes példányok szinte egyáltalán nem tömörítettek, salaktartalmuk térfogatarányban meghaladhatja az 50%-ot, míg mások részben

[208] TÖRÖK 2011, 16-17.
[209] TÖRÖK 2011, 14-16.
[210] GÖMÖRI 2000, 269.
[211] GÖMÖRI 2000, 269.
[212] TÖRÖK 2011, 17.
[213] A direkt eljárással előállított vas fémes terméke a szakirodalomban általában *bloom* néven ismert, amely különböző nyelvekben eltérő elnevezésekkel jelenik meg (pl. német *Luppe*, francia *loupe de fer*, orosz *kritsa*). PLEINER 2000, 230.
[214] TÖRÖK 2011, 17.

kovácsoltak, lapítottak, cipó, hasáb, ékelt vagy szabálytalan, formát öltenek. Méretük és tömegük időben és technológiai környezetenként is eltérő.[215]

A jelenleg ismert hazai adatok alapján a Kárpát-medence területéről több, jól dokumentált vasbuca ismert, amelyek döntően római kori, késő antik, valamint kora és érett középkori régészeti kontextusokból származnak. A lelőhelyek között egyaránt szerepelnek kohótelepek és műhelyek (pl. Somogyfajsz[216]), központok (pl. Keszthely–Fenékpuszta[217]), valamint települési és villagazdasági környezetek (pl. Petőháza[218]). Anyagszerkezetükre általánosan jellemző a ferrites alapmátrix, változó mennyiségű salakzárvánnyal, helyenként perlit megjelenésével, ami jól illeszkedik a bucakemencékben, direkt eljárással előállított vasra vonatkozó nemzetközi adatokhoz. A hazai bucák egy részét metallográfiai vizsgálatoknak is alávetették, amelyek megerősítik, hogy e leletek nem egységes alapanyagként, hanem eltérő technológiai paraméterek mellett keletkezett, heterogén félkész termékekként értelmezhetők.[219] A kohósítás eredményeként létrejött buca önmagában még nem tekinthető kész alapanyagnak és további megmunkálást igényelt ahhoz, hogy használható eszközök, szerszámok vagy fegyverek alapjául szolgálhasson.

Ezen a ponton kerül át a hangsúly a kohászati folyamatról a kovácsmesterségre, ahol a buca anyagszerkezete a tömörítés, újrahevítés és alakítás során fokozatosan átalakult. A kovácsok számára a megmunkálható alapanyagot részben közvetlenül a bucákból származó, tömörített tömbök, részben pedig abból már előzetesen kialakított, tipológiailag kevéssé jellegzetes félkész termékek – rudak, pálcák – jelentették. Régészeti leletek tanúsága szerint ilyen vasdarabok a vaskor korai időszakától kezdve folyamatosan jelen vannak Európa-szerte, és több esetben újrahasznosításra vagy további kovácsolásra szánt félkész termékként értelmezhetők.[220] A kovács tevékenysége így nem pusztán formáló munka volt, hanem az anyag tulajdonságait alapvetően befolyásoló technológiai lépések sorozata, amelynek során a vas végső szerkezeti és mechanikai jellemzői alakultak ki.

A félkész vastermékek egyik jellegzetes csoportját alkotják a hosszú, rúd formájú darabok, amelyek a vaskor végétől kezdve több európai régióban is megjelennek. A La Tène-kultúra területéről ismert, ún. kard alakú vasrudak például jellemzően 40–50 cm hosszúak, vállalt és

[215] PLEINER 2000, 230.
[216] GÖMÖRI 2000, 155-162; 271-273;
[217] SÁGI 1979, 113-115; TÖRÖK-BARKÓCZY 2023, 177-190.
[218] GÖMÖRI 2000, 132-136; 271.
[219] TÖRÖK ET AL. 2018, 2-3.
[220] PLEINER 2006, 23-53.

elkeskenyedő végűek, tömegük körülbelül 0,7–0,8 kg.[221] Bár tényleges rendeltetésük nem minden esetben bizonyítható, kísérleti régészeti vizsgálatok igazolták, hogy ilyen kiinduló formákból technológiailag megvalósítható hosszú pengék kovácsolása. Előfordulásuk – például Svájc, Kelet-Franciaország, illetve folyami környezetből előkerült leletek esetében – arra utal, hogy ezek a darabok nem kész tárgyként, hanem a kovácsműhelyek anyagkészletének részeként voltak jelen.

A félkész vasrudak értelmezésének bizonytalanságát jól példázza az ún. *Schwurschwerter* („eskükardok") esete. A Wartburg várában a 19. század közepén feltárt, dróttal összefogott rúdcsomag darabjai 67–97 cm hosszúak voltak, tömegük 0,2–0,75 kg között mozgott. Korai értelmezések szerint ezek eskütételhez kapcsolódó tárgyak lehettek, későbbi vizsgálatok azonban inkább vaskori hosszú rudakként azonosították őket. Hasonló formájú leletek több közép-németországi lelőhelyről is ismertek, és egyes kutatók szerint inkább mezőgazdasági eszközök – például ekék vagy csoroszlyák – alapanyagaként értelmezhetők. Ez az eset világosan mutatja, hogy a formai hasonlóság önmagában nem elegendő a funkció meghatározásához, és hogy ugyanazon típusú félkész vastermék eltérő technológiai és gazdasági környezetben más-más célra szolgálhatott.[222]

A középkori kovácsok által használt félkész termékek sokféleségét további példák is alátámasztják. A viking kori Dél-Svédországban, a gotlandi Mästermyr lelőhelyen lapos, elnyújtott vasrudak kerültek elő, amelyek metallográfiai vizsgálatai többsávos, hegesztett szerkezetet, ferrites–perlites fázisokat és egyenetlen széneloszlást mutattak.[223] Angliából, Hamwic területéről kis méretű négyszögletes rudak és nagyobb tömbök ismertek.[224]

Kárpát-medencében a félkész vastermékek kérdésére jó példa a Dédestapolcsány–Verebce-bércen feltárt kora vaskori erődített település esete, amelyet a Kr. e. 7. század végén pusztított el egy ostrom. A lelőhelyről kiemelkedően nagy mennyiségű vas alapanyag került elő: több mint harminc gödörből több, mint hatszáz vasdarabot tártak fel, átlagosan 1,54 kg-os tömeggel. A bucadarabokon végzett archeometriai vizsgálatok szerint ezek tömörített, enyhén heterogén szerkezetű vasanyagok, amelyek egy-egy kohósított buca részei, nem pedig több buca összehegesztésével létrehozott tömbök. Szövetszerkezetükben pórusok és üregek figyelhetők meg, karbontartalmuk és alakítottságuk mértéke azonban eltérő. Ezek a leletek nem tekinthetők

[221] Ezeket a szakirodalom *saumons d'épée* vagy *Schwertbarren* néven tartja számon. PLEINER 2006, 32-37.
[222] PLEINER 2006, 32.
[223] HALLINDER – HAGLUND 1978, 45-47; PLEINER 2006, 50;
[224] MACK ET AL. 2000, 90-91.

tipikus félkész termékeknek, inkább a primer buca és a kovácsolásra előkészített tuskó közötti technológiai állapotként értelmezhetők.[225]

A felsorolt példák összességében azt mutatják, hogy a buca és a kész tárgy között számos, régészetileg is megragadható köztes állapot létezett. A kovács nem homogén, egységes minőségű alapanyaggal dolgozott, hanem olyan vasformákkal, amelyek szerkezete, széntartalma és tisztasága darabonként eltért. A kovácsolás során ezért nemcsak a forma kialakítása volt a feladat, hanem az anyag tulajdonságainak felismerése, módosítása és kihasználása is. A középkori vasfeldolgozás sokfélesége nem kivételnek, hanem a technológiai gyakorlat alapvető jellemzőjének tekinthető, és bizonyos mértékig meghatározza a belőle készült eszközök és fegyverek minőségét.

A kovácsolás a vasfeldolgozás azon technológiai fázisa, amelyben a kohóban előállított, heterogén szerkezetű vasmassza végső anyagi és funkcionális tulajdonságait elnyeri. Ebben a szakaszban nem pusztán a forma kialakítása történik meg, hanem az anyag szerkezetének, széntartalmának és mechanikai viselkedésének tudatos alakítása is, a hevítési és alakítási műveletek egymásra épülő sorozatán keresztül.

A kovács az adott közösség kiemelten fontos kézművese volt, akinek feladata a hétköznapi használati eszközök, szerszámok és fegyverek elkészítése egyaránt volt. Tevékenysége nem feltétlenül kötődött állandó műhelyhez; bizonyos esetekben helyváltoztató életmódot is folytathatott, ami egyszerű, könnyen mobilizálható felszerelést igényelt. Sokszor a kovácsok és ötvösök felszereléseit sírokban is elhelyezték, amit a poysdorfi[226] és brno-i langobárd sírok mellékletei is tanúsítanak.[227]

A kovácsoláshoz kovácstűzre volt szükség, amelyet fújtatóval izzítottak, az alakítást vörösizzáskor, üllőn, kalapáccsal végezték. A megmunkálás technológiai sikerét alapvetően meghatározta a hőmérséklet megfelelő megválasztása, amelynek ellenőrzése nem műszeres mérésen, hanem az izzó fém színének tapasztalati értelmezésén alapult. A hőmérséklet gyakorlati meghatározását az izzás színskálája segítette, amely Pleiner adatai alapján a következőképpen jellemezhető: barnás árnyalat kb. 550 °C-nál, sötétvörös 650–750 °C között,

[225] TÖRÖK ET AL. 2024, 285-294.
[226] DAIM ET AL. 2005, 201-224.
[227] Ahogyan a temetkezési mellékletek esetében is, a rituális jellegű kohászati tevékenység gyakorlása a társadalom szervezettségétől függött, ami a kovácsszerszámokkal ellátott sírok időbeli és földrajzi eloszlásában mutatkozó különbségekhez vezetett: abban az időszakban, amikor a kovácsszerszámokkal felszerelt temetkezések száma a Mediterráneumban csökken, számuk Közép-Európában tetőzik; előfordulásuk a viking kori Skandináviában megszűnik. JEŽEK 2015, 121-143.

cseresznyepiros 780–800 °C körül, élénkvörös 830–880 °C-nál, narancsszín 880–1050 °C között, világossárga pedig 1150–1250 °C tartományban jelent meg. A megmunkálás során keményebb, nagyobb széntartalmú acél alacsonyabb hőmérsékletet igényelt, míg szénszegény vas és lágy acél magasabb hőfokon volt hatékonyan alakítható, mivel túlzott hevítés fokozott oxidációhoz és anyagveszteséghez vezetett. A végső alakítás Pleiner szerint alacsony széntartalmú anyag esetében kb. 900 °C, nagyobb széntartalmú acél esetében 750–800 °C körül volt célszerű, elkerülve a szemcsedurvulást és a mechanikai tulajdonságok romlását.[228]

A középkori vasfeldolgozásban három vasötvözet fordult elő leggyakrabban: a lágyvas, az acél és a foszforvas. A jelen dolgozat a régészeti és archeometallurgiai szakirodalomban bevett terminológiát követi, amely a lágyvasat és az acélt elsősorban széntartalmukból következő tulajdonságaik alapján különíti el. A lágyvas rendszerint legfeljebb 0,2 tömeg% szenet tartalmazó vasötvözet. Bár hőkezeléssel elvileg edzhető, alacsony széntartalma miatt az edzés nem eredményez a gyakorlatban számottevő keménységnövekedést, ezért önmagában nem volt alkalmas tartósan kemény vágóél kialakítására. Ezzel szemben az acél nagyobb – a középkori pengéknél rendszerint 0,3–0,8 tömeg% közötti – széntartalommal rendelkezik, ami lehetővé tette a hatékony edzést és a lényegesen nagyobb keménység elérését. A foszforvas magas foszfortartalmú, edzésre nem alkalmas ötvözet volt, amelyet jellegzetes fényes felülete és korrózióval szembeni viszonylagos ellenállása miatt elsősorban díszítési célokra alkalmaztak.[229]

A megmunkálás során a kovács különféle, egymásra épülő alakító műveleteket alkalmazott, amelyek célja nem csupán a kívánt forma kialakítása volt, hanem az anyag szerkezeti tulajdonságainak tudatos befolyásolása is. Az alapvető műveletek közé tartozott a darabolás, a zömítés, a nyújtás, a vállazás, a hajlítás, a csavarás, a lyukasztás, valamint a kovácshegesztés. E technikák kombinációja tette lehetővé, hogy a kezdetben heterogén, salakzárványokkal átszőtt vas félkész termékből használható eszköz, szerszám vagy fegyver váljon.

A darabolás során a kovács a még izzó vasrudat vagy tuskót kisebb egységekre osztotta, rendszerint kézivágóval vagy vésővel, az üllőn végrehajtva a műveletet. A zömítés ezzel szemben a munkadarab keresztmetszetének növelését szolgálta: függőleges irányú kalapácsütésekkel a vas rövidült és vastagodott, ami például szegek, szegecsek fejeinek, nyélvégeknek vagy fegyvermarkolatok alapformáinak kialakításakor volt nélkülözhetetlen. A

[228] PLEINER 2006, 54.
[229] THIELE ET AL. 2014, 79.

nyújtás a zömítés ellentéteként a munkadarab elvékonyítását és megnyújtását eredményezte, s alkalmas volt rudak, pengék, huzalok és lapos elemek kialakítására. A vállazás során a keresztmetszet hirtelen megváltoztatása történt meg, lépcsős vagy peremes átmenetek létrehozásával, amely különösen balták, fejszék, kardok és szerszámnyelek kialakításánál játszott szerepet.[230]

A hajlítás és görbítés lehetővé tette kampók, gyűrűk, láncszemek, rugók, illetve ívelt pengék és veretek készítését. A vékonyabb rudak és huzalok akár hideg állapotban is hajlíthatók voltak, míg a tömörebb darabok esetében a vörösizzás elengedhetetlennek bizonyult. A csavarás elsősorban rudak és szárak megformálására szolgált, gyakran díszítő funkcióval is, ugyanakkor szerkezeti merevséget is biztosított bizonyos elemeknél. A lyukasztás révén szegecslyukak, nyélfogadó nyílások és egyéb szerkezeti áttörések készültek, rendszerint az anyag izzó állapotában, fokozatosan tágítva a nyílást.[231]

A korai kovácsolás egyik legfontosabb eljárása a kovácshegesztés volt, amely lehetővé tette különálló vasdarabok szilárd egyesítését. Ennek során az érintkező felületeket izzásig hevítették, megtisztították a reve- és salakrétegtől, majd kalapálással egyesítették. A kovácshegesztés révén nemcsak hosszabb vagy vastagabb darabok állíthatók elő, hanem lehetőség nyílt különböző minőségű vasrészek tudatos kombinálására is, például keményebb acélél és lágyvas test összehegesztésével. Az eljárás kulcsszerepet játszott fegyverek, szerszámok és szerkezeti elemek előállításában, és már a vaskor óta a kovácsmesterség egyik alapvető technikai pillérének tekinthető.[232]

A kovácshegesztéshez szorosan kapcsolódik a hajtogatás technikája, amely a vasanyag minőségének javítását szolgáló egyik legfontosabb eljárás volt. A kovács a laposra nyújtott munkadarabot félbehajtotta, majd a rétegeket izzó állapotban összehegesztette, ezt a műveletet pedig többször is megismételhette. Az eljárás eredményeként réteges szövetszerkezet alakult ki, amely nem csupán formai jellegzetességet jelentett, hanem az anyag homogenizálását is elősegítette. A hajtogatás során a salakzárványok feldarabolódtak és egyenletesebben oszlottak el, a karbontartalom kiegyenlítettebbé vált, az inhomogenitások csökkentek, ami összességében javította az anyag mechanikai tulajdonságait. A hajtogatás tehát tudatos anyagminőség-javító

[230] PLEINER 2006, 55-57.
[231] PLEINER 2006, 55.
[232] HALMÁGYI-RIEDEL 1986, 37.

technikának tekinthető, különösen a nagy igénybevételnek kitett tárgyak, például kardpengék esetében.[233]

A kovácsolás utolsó fázisai közé tartozott a munkadarab finomítása, élezése és hegyezése, amely során a kovács a kívánt funkcionális tulajdonságokat – vágóképességet, szimmetriát, merevséget – alakította ki. A pengék, balták, lándzsahegyek és kések végső formájukat a nyújtás, lapítás és élezés kombinációjával nyerték el. E műveletek során a kovács folyamatosan igazodott az anyag viselkedéséhez, felismerve annak keménységét, szívósságát és alakíthatóságát.[234]

Az alapvető kovácsolási technikáktól elkülönítve szükséges szólni a hőkezelésről. A középkorban alkalmazott hőkezelés[235] azonban nem azonos a modern értelemben vett, kontrollált ipari edzéssel: nem egzakt hőmérsékleti értékekre, hanem empirikus megfigyelésekre, elsősorban az izzó fém színének, viselkedésének és hangjának értelmezésére épült.

A hőkezelési eljárások közül alapvető jelentőségű volt az izzítás (lágyítás), amelynek célja a belső feszültségek csökkentése és az anyag szívósságának helyreállítása, különösen hidegalakítás után. A rövid ideig barnás-vörös izzásig hevített vas (kb. 600–650 °C) esetében a szemcseszerkezet átrendeződése révén az anyag ismét képlékenyebbé vált. Magasabb hőmérsékleten végzett izzítás (kb. 800–950 °C, a karbontartalomtól függően) tovább növelte a szívósságot. A lassú lehűtés során finomodott szemcseszerkezet, illetve a lemezes perlit gömbös szerkezetté alakulása a keménység csökkenését és a megmunkálhatóság javulását eredményezte.[236]

Az edzés (gyors lehűtés) célja elsősorban a megfelelő karbontartalmú acélok keménységének növelése volt. A 0,35–0,4 tömeg% feletti széntartalmú acél keménysége hirtelen lehűtés hatására megnőtt. A folyamat során az ausztenites szerkezetből tűs martenzit alakult ki, amely rendkívül kemény, ugyanakkor rideg szövettípus. Az edzéshez alkalmazott hűtőközeg víz,

[233] TÓTH 2025, 13-18.
[234] PLEINER 2006,64.
[235] Európa első évezredében viszonylag kevés vaselőállításhoz és -feldolgozáshoz kapcsolódó innováció történt; a kardok edzésére vonatkozó elképzelések részben irodalmi hagyományokban jelennek meg, amire példaként említhetők az izlandi sagák, amelyekben különleges víz keresése vagy vérben edzett fegyverek motívuma szerepel. A korszak jelentősebb technológiai fejlődése inkább az arab világban, Indiában, Kínában és Japánban figyelhető meg, és a 12. századi európai fegyverek acélminősége általában nem érte el az iszlám kohászat színvonalát, míg a japán kardok technológiai fejlettségét a kutatás még magasabbra értékeli. MacKenzie 2007.
[236] HALMÁGYI-RIEDEL 1986, 51.

esetenként savas, sós vagy olajos folyadék lehetett; ezek eltérő hűtési intenzitása különböző anyagtulajdonságokat eredményezett.[237]

Az ilyen jellegű hőkezelésre az írott forrásokban csak a 12. századtól vannak példák, ezek közül is az egyik legismertebb és leggyakrabban idézett forrás Theophilus Presbyter nevéhez köthető, aki írásában reszelők, vésők edzéséhez használt technikát részletezi:

„Égesd el egy ökör szarvát tűzben, és reszeld le, keverj hozzá egyharmad rész sót és alaposan őröld meg. Ezután tedd a reszelőt tűzbe, és amikor fehéren izzóvá válik, szórd rá ezt a keveréket minden oldalról. Erre alkalmas szénen fújtasd sürgősen minden oldalról, vigyázva, hogy a keverék ne hulljon le róla. Azonnal kivéve a tűzből, vízben egyenletesen hűtsd le, vedd ki és lassan szárítsd meg tűzön. Ilyen módon lehet mindenfajta acéltárgyat edzeni."[238]

A kovácsok gyakran nem a teljes tárgyat edzették, hanem csupán annak funkcionálisan kritikus részeit, például kések, fejszék és kardok vágóélét, aminek következtében az él rendkívül kemény maradt, míg a test rugalmasabb szerkezetű volt, így ideális kompromisszum jött létre keménység és szívósság között. E differenciált hőkezelés egyik technikai eszköze az agyag alkalmazása volt, amelyet hőállósága és szigetelő tulajdonságai miatt a kohászatban és a kovácsolásban egyaránt használtak, különösen a pengék egyes részeinek hővédelmére, lehetővé téve, hogy csak az élek edződjenek fel, míg a többi rész szívós maradjon. Ennek klasszikus példája a japán kardművesség, ahol szénporral kevert agyaggal fedték a penge fokát, és az így kialakuló anyagminőségi eltérést – az ún. hamont – tudatosan láthatóvá tették.[239]

Itt érdemes megemlíteni Kvassay Judit megfigyelését a főként 11–12. századi kovácsműhelyek hulladékgödreiből előkerült, ismeretlen rendeltetésű agyaggolyók kapcsán. Bár elsőre nyersanyag-tárolásra vagy vastárgyak bevonására alkalmas formáknak tűnhetnek, ezt több körülmény is cáfolja: a darabok egyszer kiégetettek, másodlagos hevítés nyoma nélkül, kizárólag szemétgödrökből ismertek. Anyaguk nem durván soványított, így inkább alacsonyabb

[237] HALMÁGYI-RIEDEL 1986, 51; PLEINER 2006, 67-68.
[238] DDA 85: CAP. XVIII. Haramza Márk disszertációjában kiemeli, hogy az idézett recept nemcsak az edzés eljárását rögzíti, hanem két további, a penge minőségét befolyásoló technológiát is megnevez: egyrészt a felületi bevonással járó beszórást (*taraḥ*), amely a felületi keménység növelését és az anyagminőség javítását szolgálta, másrészt az edzést követő utókezelést („szárítsd meg tűzön"), amely a ridegség csökkentését célozta. Ez az idézett forrásban a következőként jelenik meg: *„Készíts kisebb reszelőket is hasonló módon, négyszögleteseket, félgömbölyűeket, háromszögűeket, vékonyakat, mégpedig lágyvasból, amelyet a következő módon edzhetsz. Amikor a reszelőket kalapáccsal, vágóval vagy késsel bemetszetted, kend be avas disznózsírral és vedd körül kecskebak bőréből vágott szíjacskákkal, és azokat fonallal kösd rájuk. Ezután egyenként fedd be pépesített agyaggal, de a végüket hagyd szabadon. Amikor megszáradtak, tedd őket a tűzre, fújtasd hevesen, amíg a bőr elég, húzd ki gyorsan az agyagból, vízben egyenletesen hűtsd le, és kivéve szárítsd meg tűzön."* HARAMZA 2019, 148; DDA 85–86. CAP. XIX.
[239] SMITH 1960, 49.

és tartósabb hőhatással járó technológiai folyamathoz köthetők, pontos funkciójuk azonban egyelőre nem tisztázott.[240]

Az általam vizsgált kardok esetében több pengénél is felvethető valamilyen hőkezelési eljárás alkalmazása, amit a mintákban megfigyelt martenzites szövetelemek jelenléte támaszt alá.[241] E jelenséget azonban körültekintően kell értelmezni, mivel a martenzit kis mennyiségű előfordulása önmagában még nem tekinthető egyértelmű bizonyítékának a szándékos edzésnek. Számos esetben a martenzites mezők kizárólag a penge éléhez közel jelennek meg, ahol az anyagvastagság minimális, így kialakulásuk akár véletlenszerű, nem tudatos technológiai hatás eredménye is lehet. Ugyanakkor akadnak olyan példák is, ahol a hőkezelés alkalmazása nagyobb biztonsággal igazolható, jóllehet ezek sem teljes értékű edzésre utalnak.

Az edzés és az ún. „*slack quenching"* (laza edzés) közötti különbség abban ragadható meg, hogy míg előbbi esetben a vörösen izzó fém olyan gyors hűtést szenved el, amely kizárólag martenzites átalakulást eredményez, addig utóbbinál a lehűlés sebessége elmarad a kritikus hűtési értéktől, így a martenzit mellett vagy helyett más átalakulási termékek – például perlit, vagy bainit – is megjelennek. Ennek következtében az anyag keménysége csökken ugyan, azonban ezzel párhuzamosan a ridegség mérséklődik, ami funkcionálisan kedvezőbb szerkezetet eredményezhetett.[242]

A vas különleges státusza így nem csak misztikus értelemben ragadható meg, hanem abban a technológiai és kulturális folyamatban, amelynek során az eredendően heterogén, bizonytalan tulajdonságú anyagból funkcionálisan és szerkezetileg kontrollált tárgy válik. Nem csak maga a vas, mint alapanyag „szent", hanem az a tudás, tapasztalat és döntéssorozat is, amely lehetővé teszi, hogy az amorf vasmasszából megbízható eszköz, szerszám vagy fegyver szülessen. A fejezetben bemutatott sokféleség – a bucák változatosságától a félkész termékek eltérő formáin át a kovácsolási és hőkezelési technikákig – éppen azt mutatja, hogy a középkori vasfeldolgozás empirikus alapokon nyugvó gyakorlatként, amely képes volt alkalmazkodni az anyag adottságaihoz és a funkcionális elvárásokhoz. Ez különösen élesen jelenik meg a kardok esetében, ahol a vas feldolgozása nem pusztán formai kérdés volt, hanem a mechanikai tulajdonságok tudatos alakítása révén közvetlenül befolyásolta a fegyver használhatóságát és megbízhatóságát. A pengék anyagszerkezete, széntartalma, hegesztett rétegei vagy esetleges

[240] KVASSAY 2009. 101–104.
[241] Például a kiskundorozsmai kard pengéje. TÓTH-TÖRÖK 2023, 43.
[242] WILLIAMS 2012, 22.

hőkezelése mind olyan technológiai döntések lenyomatai, amelyek túlmutatnak az egyes tárgyakon, és a mögöttük álló mesterségbeli tudás szintjére utalnak.

4. Tudományok határán- a téma interdiszciplináris megközelítése

A kard a különböző kultúrákban nem pusztán fegyver, hanem összetett szimbólum: egyszerre hordoz vallási-mitológiai[243] és társadalmi jelentéstartalmakat. Mircea Eliade a kovácsolás mítoszait tárgyaló munkájában[244] Ibn al-Rumi költő sorait idézi, aki szerint „*a legjobb fegyver a jól kifent kard, amelynek férfi az éle és nő a lapja*”.[245] Ez a metafora nem csupán a kard részeinek nemek szerinti szimbolikájára utal[246], funkcionális kiválóságát hangsúlyozza, hanem azt a szemléletet is tükrözi, amelyben a fegyver anyaga és szerkezete önmagában is jelentéshordozóvá válik: az acél él és a lágyvas mag kettőssége a különböző minőségű fémek tudatos egyesítésére utal.[247] A kard ebben az értelmezésben nemcsak harci eszköz, hanem az anyag átalakításának, a kovács tudásának és a technológiai választásoknak a megtestesülése. A szimbolikus jelentés így szorosan összekapcsolódik a készítéstechnológiával, és már a középkori gondolkodásban is felismerhető az a szemlélet, amely szerint a fegyver értéke nem választható el az anyag minőségétől és feldolgozásának módjától.

A kard, mint tárgy értelmezése szükségszerűen a tudományterületek határán helyezkedik el. Régészeti értelemben lelet, amely térben és időben elhelyezhető[248]; technológiai szempontból egy komplex anyag- és gyártástechnológiai folyamat eredménye[249]; kulturális értelemben pedig olyan szimbolikus és rituális jelentéshordozó, amely társadalmi státuszt, hatalmat és identitást közvetít. Ez a három megközelítés egymástól elválaszthatatlan: a régészeti kontextus önmagában nem ad választ a készítéstechnológiai kérdésekre, míg az archeometriai eredmények csak a történeti és kulturális keretbe ágyazva nyernek értelmezési értelmet. A „*tudományok határán*” megközelítés jelen esetben ezért nem módszertani választás, hanem a kutatás tárgyából fakadó szükségszerűség.

---

[243] *„A vas előállításának nagy szakértelmet és fáradságot követelő folyamata, valamint annak titokzatos volta a laikus közösség szemében szinte vallási szertartássá avatta a „vasverés" folyamatát. A kor társadalmi tudata nem volt képes megmagyarázni azt a körülményt, hogy a hitvány vörösesbarna, nyirkos gyepvasércet kemény, acélos szerszámmá lehet alakítani. Ezért az átalakulási folyamat ismerőinek és végzőinek misztikus erőt tulajdonított. A társadalom fejlődésében végbement reális folyamat — a kovácsmesterség elkülönülése — misztikus formában tükröződött a társadalmi tudatban.”* BARTHA 1958, 321.

[244] ELIADE, 2004.

[245] ELIADE 2004, 46; SCHWARTZLOSE 1886, 142.

[246] U.O.

[247] SCHWARTZLOSE 1886, 143. Web: https://www.google.hu/books/edition/Die_Waffen_der_alten_Araber_aus_ihren_Di/PgQXCf7k5IUC?hl=hu&gbpv=1&dq=f.+w+schwartzlose+die+waffen+der+alten+araber+aus+ihrem+dichten+dargestellt&pg=PA47&printsec=frontcover utolsó megtekintés: 2026. 01.05.

[248] A. N. JØRGENSEN 1990.

[249] KOŠTA – HOŠEK 2014, 271-294.

Jó példája a középkori kardok szimbolikus jelentésének az Essenben, a dóm kincstárában őrzött díszkard, amely a kevés olyan középkori kard közé tartozik, amely nem sírleletként, hanem egyházi kincstárban maradt fenn. A fegyver feltehetően a 10. század második negyedében készült, eredetileg harci célra szánt kétélű egyenes kard volt, pengéje damaszkolt, és mintegy két évtizeden át használhattak. Magas minősége és tartóssága alapján valószínűsíthető, hogy királyi megrendelésre készült, és a hagyomány szerint összefüggésbe hozható I. Ottó császárral. A kard feltehetően Mathilde apátnő († 973) idején került az esseni női káptalan birtokába, ajándékozás révén. A fegyvert ezt követően átalakították: eltávolították a markolat szerves elemeit, új keresztvasat és markolatgombot kapott, valamint gazdagon díszített aranylemezes hüvelyt készítettek hozzá. A 15. századtól kezdve a kard ereklyeszerű tisztelet tárgyává vált, amelyhez legendák kapcsolódtak, miszerint a város védőszentjeit, Szent Kozmát és Damjánt ezzel fejezték le. A hüvelyen fennmaradt felirat (*Gladius, quo decollati fuerant patroni nostri*) is ezt a jelentést erősíti. A fegyver a késő középkortól kezdve nem harci eszközként, hanem reprezentatív és rituális tárgyként funkcionált, és a városi körmenetek során a hatalom, az igazságszolgáltatás és a szent védelem szimbólumaként jelent meg. [250]

A temetkezésekbe helyezett kardok esetében széles körben megfigyelhető a rituális módosítás gyakorlata, amely leggyakrabban szándékos törés vagy hajlítás formájában jelentkezik. E beavatkozások túlnyomórészt a pengét érintik, de ritkább esetekben a markolatot is, ami arra utal, hogy nem pusztán technikai, hanem szimbolikus jelentőséggel bíró cselekményekről van szó. A módosítások változatossága és következetes alkalmazása azt sugallja, hogy a kardok „funkcióból való kiiktatása” a temetkezési rítus szerves része volt, és a fegyver szerepének átalakítását fejezte ki az élők és a holtak világának határán. [251]

Hasonló gyakorlatot mutatnak a délkelet-norvégiai késő vaskori és viking kori temetkezések is, ahol a kardok szándékos megrongálása a penge gondos meghajlításától az ütésekkel és vágásokkal történő erőteljes roncsolásig terjedt. A fegyverek ilyen módon történő megsemmisítése elsősorban a fegyverekhez, azon belül is a harcosi társadalmi szerephez kapcsolódó gyakorlatnak tekinthető. A hamvasztásos temetkezések és a fegyverek megsemmisítése közötti szoros kapcsolat pedig arra utal, hogy a kardok megrongálása a temetkezési rítus szerves részeként értelmezhető. A kardok és más fegyverek szándékos megsemmisítése ugyanakkor a halállal és a túlvilággal kapcsolatos összetett elképzelésekre is rávilágíthat. A szerző szerint a kardok megsemmisítésének értelmezéséhez figyelembe kell

[250] FALK 2009, 68-69.
[251] RATICAN 2025, 151-160.

venni a fegyvereknek a norvég társadalomban betöltött szerepét, valamint a háborúhoz, erőszakhoz és fegyverekhez kapcsolódó elképzeléseket is.[252]

A kora középkori képi ábrázolások tanúsága szerint a kard nem pusztán fegyverként, hanem a harcos identitásának elsődleges jelölőjeként működött. A karddal ábrázolt alakok rendszerint kiemelt státusszal rendelkeznek: gyakran vezetőként jelennek meg, elkülönülnek társaiktól, és más fegyvereket viselő harcosoknál magasabb rangot sugallnak. A kard viselése így nem általános harci attribútum, hanem a harcosokon belül is egy meghatározott, felsőbbrendű kategóriát – a „kardforgató" harcost – jelölte. Az ikonográfiai különbségek, például az eltérő kardformák (pl. gyűrűs kardok) alkalmazása tovább árnyalják ezt a képet, és arra utalnak, hogy a kard a harcos identitásán belül is rang-, státusz- és hatalmi különbségeket közvetített. A kard képi szerepe ezért a kora középkori harcos identitások sokszintű, hierarchikus jellegének egyik legfontosabb vizuális kifejezőeszköze volt. [253]

A kard különleges szimbolikus státusza már a fegyver legkorábbi megjelenésétől kezdve szorosan összefonódott az anyaggal és az előállítás technológiai feltételeivel. A kardok megjelenése – mint önálló fegyverkategória – nem választható el a színesfém-kohászat fejlődésétől: egy hosszú penge előállítása megfelelő technológiai ismereteket és ötvözetek tulajdonságainak tudatos alkalmazását igényelte.[254] A formális fejlődés szempontjából a kard a tőr pengéjének meghosszabbításával jött létre, ugyanakkor a legkorábbi leletek már túlmutatnak egy pusztán praktikus fegyver értelmezésén.[255] A délkelet-törökországi Arslantepe lelőhelyről származó, Kr. e. 4. évezred végére keltezett kétélű pengék például már nem csak technológiai újítást képviselnek, hanem magas szimbolikus státuszú tárgyakként is értelmezhetők. Már ezek az első példák is azt jelzik, hogy a kard értéke nem kizárólag harci hatékonyságában, hanem anyagában, formájában és társadalmi jelentésében rejlett.[256]

Ez a kettősség – funkció és szimbolika egysége – a bronzkor és a vaskor folyamán folyamatosan formálódott, sőt újabb jelentéstartalmakkal gazdagodott. A bronzból készült kardok formai és funkcionális jegyei közvetlenül tovább éltek a vasból készült kardokban Nyugat-Eurázsiában, ami arra utal, hogy a technológiai váltás nem jelentett éles törést a fegyver szerepében.[257]

[252] AANNESTAD 2018, 147-168.
[253] BRUNNING 2019, 47-50.
[254] TYLECOTE 1992, 42.
[255] SCHULZ 2004-2005, 221.
[256] PALMIERI 1998, 101-119; FRANGIPANE ET AL. 2001, 105-139; SCHULZ 2004-2005, 217; KOŠTA – HOŠEK 2014, 26.
[257] KOŠTA – HOŠEK 2014, 26.

Az európai kora középkori kardfejlődés gyökerei a kelta törzsek vas kardjaihoz vezethetők vissza, amelyeket – különösen Noricum térségében – elsősorban lovas fegyverként használtak. Ezt az hagyományt a germán lovasság és gyalogság átvette. A Római Birodalomban a hosszú kard szerepe a Kr. u. 2. századtól kezdve, a lovasság jelentőségének növekedésével párhuzamosan egyre hangsúlyosabbá vált. Annak ellenére, hogy a római légiók elsődleges fegyvere sokáig a rövid *gladius* maradt, a *spatha* a 3. század fordulóján már a gyalogság alapfegyverévé vált, ami jól mutatja a harcmodor és a fegyvertechnológia közötti kölcsönhatást.[258]

A kora középkor folyamán a kard nemcsak a leghatékonyabb, hanem a technológiailag legösszetettebb fegyverré vált. A 9–10. századra a kontinentális Európában használt kardok elsősorban lovas harcosokhoz köthetők, amit a fegyverek és a lovas felszerelések együttes előfordulása is megerősít a közép-kelet-európai temetkezésekben.[259] A minőségi kardok előállítása jelentős mennyiségű vasat és acélt, kifinomult kovácsolási eljárásokat és magas szintű szakértelmet igényelt, ami a fegyver árát is meghatározta. A kard így a társadalmi elit egyik legfontosabb attribútumává is vált: egyszerre szimbolizálta a harci erőt, a jogi és bírói hatalmat, valamint az isteni igazságszolgáltatás fizikai eszközét.[260]

Ewart Oakeshott értelmezésében a kard különleges státusza nem maradt meg az elméleti vagy szimbolikus szinten, hanem konkrét tárgytörténeti következményekkel járt. Az északi és angolszász hagyományban a kard gyakran „ősi örökségként" jelenik meg, ami arra utal, hogy a fegyvereket nemzedékeken át használták, örökítették és karbantartották. A korai népvándorlás korától a viking korig számos kard maradt hosszú időn keresztül használatban, sőt nem ritka, hogy évszázadokkal eredeti eltemetésük után sírhalmokból emelték ki őket, hogy újra használják őket.[261] Oakeshott egyik legszemléletesebb példája egy 7. századi damaszkolt penge, amelyet a 16. század elején *katzbalger* típusú markolattal láttak el újra, és így egy teljesen eltérő harci és kulturális környezetben kapott új funkciót.[262] Ez az eset világosan mutatja, hogy a kard élettartama messze meghaladhatta készítésének idejét, és használata több történeti korszakon is átnyúlhatott. A hosszú élettartam és a fegyverhez kapcsolódó személyes jelentés azonban alapvető értelmezési problémákat vet fel. A középkor harcosai rendkívül mobilisak voltak, fegyvereik pedig velük együtt mozogtak: zsákmányolták, elcserélték,

[258] BIBORSKI 2004, 549-562.
[259] RUTTKAY 1997, 183; 2002, 117
[260] KOŠTA – HOŠEK 2014, 26.
[261] OAKESHOTT 2002, 2-3.
[262] OAKESHOTT 2002, 2. V.Ö. SEITZ 1964.

ajándékozták, vagy távoli hadjáratok során veszítették el őket. Ennek következtében egy kard modern kori lelőhelye csupán a tárgy utolsó ismert állomását jelöli, nem pedig a készítés vagy az elsődleges használat helyét.[263]

A „*viking kard*" mint kifejezés használata a nyugat-európai kutatásban szinte általánossá vált, és a szakirodalomban mindmáig széles körben alkalmazzák. A Brit-szigeteken és Franciaországban a 9–10. századra keltezett kardleleteket gyakran közvetlenül a vikingek jelenlétéhez kapcsolják, különösen akkor, ha folyómedrekből vagy temetkezésekből kerültek elő.[264] Közép- és Kelet-Európában ugyanakkor a helyzet összetettebb: azokon a területeken, amelyeket a korai középkor kezdetén szláv népesség telepített be, a hosszú kardok nem tartoztak a hagyományos fegyverzethez, és csak a 8. század végétől jelennek meg újra fokozatosan. A korábbi kutatásban alkalmazott, a kardok előfordulását közvetlenül etnikai vagy politikai jelenléthez kötő, lineáris értelmezések ebben a régióban több esetben nem bizonyultak tarthatónak.[265]

A kardok formai és tipológiai vizsgálata – különösen a markolatok kialakítása alapján felállított rendszerek – alapvető szerepet játszik a fegyverek kronológiai és regionális csoportosításában. Ez a megközelítés jól alkalmazható a karoling kori kardok esetében is, ahol a markolat jellegzetességei alapján világos formai és kronológiai különbségek rajzolódnak ki.

A korai és késő karoling kardok közötti átmenet jól szemlélteti a formai és technológiai szempontok összefonódását. A korai karoling kardokat összetett felső markolatszerkezet jellemzi, amely a gombból és a felső keresztvasból áll (Geibig I–II. típus)[266], rövid alsó keresztvassal és robusztus, általában 75–83 cm hosszú pengével. Ezeken a fegyvereken gyakoriak a bonyolult markolatdíszítések, amelyek nem ritkán a használhatóság rovására mennek. Ezzel szemben a késő karoling kardok egyszerűbb, egytagú felső gombbal rendelkeznek (Geibig III. típus)[267], hosszabb, jellemzően 11 cm-t meghaladó keresztvassal, valamint bizonyos esetekben hosszabb pengével. A korszakra jellemző díszítőkovácshegesztés[268] fokozatosan visszaszorult, és helyét jelek és feliratok – köztük az

[263] U.O.
[264] KOŠTA – HOŠEK 2014, 27.
[265] GROTOWSKI 2005; KOŠTA – HOŠEK 2014, 27.
[266] GEIBIG 1991, 90–95.
[267] GEIBIG 1991, 95-97.
[268] A díszítőkovácshegesztés (*pattern-welding*) olyan összetett kovácsolási technológia, amely során eltérő kémiai összetételű vasalapú anyagokat — elsősorban foszforvasat, lágyvasat és acélt — rétegezéssel, majd kovácshegesztéssel anyagzáró kapcsolatba hoztak, és a rudakat további mechanikai megmunkálással (pl. csavarás, darabolás) mintázott szerkezetűvé alakították. Az eljárás a kelta kori réteges kompozitkészítésből (*piling*) fejlődött ki: kezdetben a karboneloszlás kiegyenlítését és a salakzárványok finomítását szolgálta, később azonban tudatos

ULFBERHT típusú feliratok – vették át. Az átmeneti csoportba sorolható fegyverek a két fejlődési fázis elemeit egyesítik, a fegyverek a Petersen-féle K és N típusok későbbi változataihoz sorolhatók. Az ilyen szerkezetű kardok használata és gyártása Észak- és Kelet-Európában a 10–11. századig kimutatható. A kardok főbb átalakulásai a kora középkor folyamán jól körülhatárolható, egymással összefüggő tendenciákat követtek, amelyek a fegyver harci hatékonyságának és kezelhetőségének növelését szolgálták. Ezek közé tartozik a pengék meghosszabbodása és formájának átalakulása, a keresztvasak és a markolat szerkezetének módosulása, valamint a díszítés visszaszorulása a pengék technológiai és formai változatosságának növekedésével párhuzamosan.[269] Mindezek a változások felvetik a kérdést, hogy a formai különbségek mögött milyen technikai megoldások álltak, és ezzel összefüggésben hogyan készültek a kardok, milyen műhelyhagyományokhoz köthetők, illetve honnan származhatnak?

Az imént felvetett kérdések megválaszolására jó példát kínál egy olyan kora középkori kard esete, amelynek vizsgálata során a formai és tipológiai elemzést célzott archeometriai vizsgálatok egészítették ki. Az alábbiakban egy 2011-ben előkerült kard példáján keresztül mutatom be, hogy az anyagvizsgálati módszerek miként járulhatnak hozzá a készítéstechnológia rekonstrukciójához, valamint a felhasznált nyersanyag lehetséges eredetének meghatározásához.

A kard a horvátországi Bojna–Brekinjova Kosa területén, egy működő kőbánya művelése során került elő szórványleletként, majd a sziszeki Városi Múzeumba (Horvátország) szállították.[270] A fegyver teljes hossza 895 mm, a penge 730 mm hosszú, tömege kb. 900 g, súlypontja a keresztvas alatt mintegy 175 mm-re helyezkedik el. A penge szélessége a keresztvas alatt 53 mm, majd 40–45 mm közé szűkül. A kard röntgenvizsgálata díszítőkovácshegesztés nyomait mutatta ki.[271]

Tipológiai szempontból a markolat Petersen H típusú, díszítetlen változatához sorolható, míg a penge Geibig rendszerében az 1. típusba tartozik. A H típusú kardokat a 10. századra

díszítő- és presztízsfunkcióval bíró technológiává vált. A kora középkorban elsősorban kardpengék központi magjának és vércsatornájának kialakítására alkalmazták, ahol több, gyakran hét rétegből álló, mintázott rúd kovácshegesztésével hozták létre a jellegzetes pengeszerkezetet. A díszítőkovácshegesztés nem azonos a hipereutektoidos „damaszkuszi acéllal”, mivel a mintázat itt a különböző összetételű rétegek kontrasztjából, nem pedig cementitháló kialakulásából ered. THIELE ET AL. 2014, 128-129.

[269] A megfigyelést kimutatta és összefoglalta: KOŠTA – HOŠEK 2014, 27.

[270] ČUČKOVIĆ 2011, 297.

[271] DORAČIĆ ET AL. 2022, 197.

datájlák[272], a markolatgomb ezeknél a kardoknál háromszög alakú és sok esetben díszített. Geibig 1. típusú pengét pedig korábbra, a 7-8. századra datálják. Ez az ellentmondás a penge hosszú használati idejére utal, és lehetővé teszi, hogy a kard a 8. század végén vagy a 9. század elején készüljön, esetleg később új markolattal látták el.[273]

A penge metallográfiai elemzésének eredményeiből arra következtettek, hogy a penge több, eltérő összetételű vas- és acélelem kovácshegesztésével készült. A vizsgálatok során a keresztmetszetben jól elkülöníthető, különböző széntartalmú ferrites–perlites zónákat azonosítottak, ami heterogén alapanyag-felhasználásra és tudatos anyagválasztásra utal. A maratási eljárásokkal kimutatható hegesztési vonalak alapján a penge középső része egy kisebb-nagobb karbontartalmú magból állt, amelyre damaszkolt felületi elemeket hegesztettek, míg a vágóélek kialakításához külön anyagot használtak.[274]

A zárványok alakja és elrendeződése intenzív melegalakításra és magas hőmérsékleten végzett kovácsolásra utal, ugyanakkor a mikrostruktúrában sem edzés, sem hidegalakítás nyomait nem mutattak ki. Mindez arra utal, hogy a penge a végső kovácsolás után lassan hűlt ki, tehát hőkezelést nem alkalmaztak a pengén. Készítése a karoling kori kardok esetében ismert technológiai gyakorlatba illeszkedik.[275]

A tanulmány kitér a kard eredetének vizsgálatára is, így a kutatás során izotópos vizsgálatok elvégzésére is sor került. A karoling kori kardokat hagyományosan frank műhelyekhez kötik, ugyanakkor az előállításhoz felhasznált vas nyersanyagának eredetét ritkán elemzik közvetlen módon. A vizsgálat során ozmiumizotópos elemzést alkalmaztak, mivel az ozmium izotópos összetétele a gyártási folyamat során az érctől a kész tárgyig lényegében változatlan marad, így alkalmas lehet a nyersanyag származási területének meghatározására. Az elemzés kimutatta, hogy a penge anyagában mérhető ozmiumtartalom jól egyezik a dél-németországi Sváb Jura[276] vasérceinek értékeivel, ugyanakkor átfedést mutat a kelet-franciaországi Lotaringia érctelepeivel is. Ezzel szemben a horvátországi és a környező régiók helyi vasérceivel való összehasonlítás egyértelmű eltérést mutatott, így a helyi nyersanyag-felhasználás kizárható. A vizsgálatok alapján a penge előállításához felhasznált vas nagy valószínűséggel nyugat-európai eredetű (Jura-hegység és a Sváb-Alb). Figyelembe véve a pengék hosszú használati idejét, nem zárható ki, hogy a kard már a 8. század második felében elkészült, és a 9. század elején

[272] ANDROSHCHUK 2014, 63.
[273] U.O.
[274] DORAČIĆ ET AL. 2022, 198.
[275] DORAČIĆ ET AL. 2022, 199.
[276] A Rajna és a Duna között húzódó középhegység, ami Németország déli részén található.

ajándékozás, kereskedelem vagy zsákmány révén került a mai Horvátország területére. A szerzők kiemelik, hogy az izotópos eredmények ugyanakkor nem tekinthetők végleges bizonyítéknak, inkább egyfajta iránytűként kezelendő, amely további kutatások lehetőségét veti fel a kardokkal kapcsolatban.[277]

A bemutatott kard esete jól szemlélteti, hogy a fegyverek vizsgálata nem szorítható kizárólag a formai és tipológiai elemzés keretei közé. A hagyományos régészeti megközelítés képes a tárgy kronológiai és kulturális elhelyezésére, ugyanakkor önmagában nem ad választ a készítéstechnológia, az alapanyag-felhasználás és a nyersanyag eredetének kérdéseire.

Mindezeken túl Bojna–Brekinjova Kosa területén előkerült kard vizsgálata olyan információkat tettek hozzáférhetővé, amelyek alapvetően árnyalják egy adott kard „élettörténetéről" alkototható képet. A penge szerkezete és anyagösszetétele, valamint a felhasznált vas lehetséges nyugat-európai eredete megerősíti azt a szemléletet, amelyet Ewart Oakeshott már korábban megfogalmazott: a kardok hosszú használati ideje és több korszakon átívelő „munkásélete" alapvető tényező a leletek értelmezésében.

Hasonlóan érdekes és fontos példa az abaszéplaki (Košice–Krásna, Szlovákia) kora középkori kard története, ami a mai Szlovákia területének egyik legjobb állapotban fennmaradt fegyverlelete. A tárgyat 1971-ben fedezték fel a Hernád folyó medrének kotrása során. Régészeti adatok alapján a lelőhely környezete a 10–11. században intenzíven lakott terület volt, így a kard előkerülése nem tekinthető véletlenszerű, kontextus nélküli eseménynek, hanem egy tágabb, középkori településtörténeti környezetbe illeszthető.[278]

A kard jó megtartású példány, markolatát színesfém huzallal ellátott gazdag díszítés jellemzi. A kardgomb és a markolat kialakítása, valamint a pengén megfigyelhető feliratmaradványok alapján a fegyver a 9. század környékére keltezhető. Tipológiai besorolása szerint a Petersen-féle rendszerben a T típusba, azon belül a T2 altípusba tartozik. A Geibig által kidolgozott tipológia alapján a kard leginkább a kombinációs 11–4–2–1 típushoz áll közel. A vizsgálat ugyanakkor nem korlátozódik a klasszikus morfológiai és tipológiai meghatározásra.[279]

A kard szerkezeti arányainak elemzése során egy további, ritkábban alkalmazott megközelítés is érvényesült. Johansson módszere alapján végzett geometriai elemzés kimutatta, hogy a fegyver méretarányai nem véletlenszerűek, hanem egy következetes szerkesztési rendet

[277] DORAČIĆ ET AL. 2022, 201-203.
[278] RUTTKAY 1975, 152; MACZEK ET AL. 2024, 227.
[279] MACZEK ET AL. 2024, 228; 283.

követnek.[280] A markolat és a penge hossza 1:5 arányban áll egymással, míg a keresztvasak és a kardgomb méretei körökre, négyzetekre és nyolcszögekre épülő geometriai felosztásból vezethetők le. Ez arra utal, hogy a kard kialakítása tudatos tervezési elvek mentén történhetett.[281]

A pengén végzett metallográfiai vizsgálatok alapján megállapították, hogy a kard több, eltérő minőségű alapanyag felhasználásával készült. A különböző mikroszerkezeti zónák jelenléte, a karbontartalom változása, valamint a salakzárványok alakja és eloszlása arra utal, hogy a kovács tudatosan különítette el a vágóélekhez szánt, jobb minőségű anyagot a penge magját alkotó, heterogénebb szerkezetű részekről. A vizsgálatok ugyanakkor arra is rámutattak, hogy a félkész pengét többször újrakovácsolták. Ennek célja a zárványok feldarabolása és finomítása, valamint az esetleges anyaghibák kijavítása lehetett, különösen olyan esetekben, amikor az alapanyagot nem homogenizálták ismételt összehajtással.[282]

A feltételezett készítési folyamatot a szerzők kísérleti úton is igyekeztek ellenőrizni. A rekonstrukció során egy mintegy 45 × 45 mm keresztmetszetű és 110 mm hosszú félkész darabot állítottak elő, amelyet szilárd tüzelőanyaggal működő kemencében hevítettek. A kísérlet két kovács számára körülbelül 2,2 órát vett igénybe. Az elkészült kísérleti penge keresztmetszetén a hegesztési vonalak iránya szoros egyezést mutatott az eredeti penge metallográfiai metszeteivel. Az ilyen módon, több elemből összekovácsolt félkész termékekből kiinduló szerkesztési megoldásra a szerzők jelenleg nem ismernek közvetlen régészeti párhuzamot, ami tovább növeli a vizsgált kard technológiai jelentőségét.[283]

A fejezet példáin keresztül világossá vált, hogy a kard vizsgálata nem szorítható egyetlen értelmezési keretbe. Ugyanaz a tárgy értelmezhető szimbolikus jelentéshordozóként, hosszú „élettörténettel” rendelkező örökségként, tipológiai jelenségként vagy technológiai termékként – és e megközelítések mindegyike más-más kérdésekre ad választ. A fejezet elején felvázolt elméleti és tárgytörténeti értelmezések, Ewart Oakeshott hangsúlyai, valamint a tipológiai

[280] A geometria olyan egyszerű szerkesztési és tervezési módszer, amely arányok és alapvető formák segítségével teszi lehetővé tárgyak megtervezését, miközben a középkori gondolkodásban ezek az arányok szimbolikus, a harmóniát és a teljességet kifejező jelentést is hordozhattak. JOHANSSON 2015, 16-27. Lásd: https://swordreflections.com/ Utolsó megtekintés: 2026. 01. 08. A témáról bővebben írt Robert W. Jones A Cultural History of the Medieval Sword című könyvében. JONES 2022, 29-32.
[281] MACZEK ET AL. 2024, 282.
[282] MACZEK ET AL. 2024, 283-286.
[283] A kísérleti kovácsolást Robert Môc végezte el, aki a kard markolatának díszítéstechnikájával is részletesen foglalkozott. MACZEK ET AL. 2024, 288-291; MÔC 2018, 221-233.

rendszerek alkalmazása egyaránt azt mutatták meg, hogy a kardok eredete, használata és jelentése kizárólag formai alapon kielégítően nem ragadható meg.

A természettudományos vizsgálatok alkalmazása ugyanakkor módszertani korlátokkal is jár, amelyek tudatos mérlegelést igényelnek. A felszíni megfigyelések önmagukban sokszor túl kevés információt adhatnak, mivel a korrózió elsősorban a külső felületeket érinti, így a felszíni mikroszerkezet nem feltétlenül reprezentálja a tárgy egészét. Az archeometriai vizsgálatok ezért gyakran invazív beavatkozást igényelnek, amelynek mértékét, helyét és értelmezési keretét a régészeti kontextussal és a kutatási kérdésekkel összhangban kell meghatározni. Az ilyen vizsgálatok valódi értelme esettanulmányokon keresztül ragadható meg, ahol a természettudományos eredmények a régészeti és történeti értelmezéssel szoros párbeszédben jelennek meg.[284]

A bemutatott esetek ugyanakkor arra is rávilágítottak, hogy a természettudományos vizsgálatok nem pusztán kiegészítik, hanem sok esetben alapvetően új irányba terelik a tárgy értelmezését. A Bojna–Brekinjova Kosa területén előkerült kard példája jól szemlélteti, hogy a metallográfiai és izotópos elemzések miként képesek árnyalni – vagy akár megkérdőjelezni – a tipológiai alapon felállított kronológiai és regionális besorolásokat. Hasonlóképpen, az abaszéplaki (Košice–Krásna, Szlovákia) kard esetében a geometriai arányrendszer, az anyagszerkezet és a kovácsolási nyomok együttes vizsgálata olyan tervezési és technológiai tudás meglétére utal, amely önmagában nem vezethető le pusztán a formai jegyekből.

A jelenlegi kutatás egyik kulcsfontossága éppen az, hogy a kard „komplex tárgy”: jelentése, funkciója és értéke csak akkor válik értelmezhetővé, ha a régészeti, tipológiai és természettudományos megközelítések egymással összehangban működnek. A metallográfiai megfigyelések kísérleti rekonstrukcióval való összekapcsolása különösen jól mutatja, miként fordíthatók le az elméleti megállapítások gyakorlati tapasztalattá, és hogyan válhat a készítéstechnológia rekonstrukciója az értelmezés aktív eszközévé. Ez a megközelítés a disszertáció egészében visszatérő módszertani elemként jelenik meg, és tudatosan a természettudományos eredmények kimutatására és értelmezésére helyezi a hangsúlyt.

A kardot nem elszigetelt tárgyként kell értelmezni, hanem olyan komplex történeti forrásként, amely anyagi, technológiai, formai, használati és jelentésbeli sajátosságain keresztül egyaránt információt hordoz a létrejöttét meghatározó társadalmi és kulturális kontextusról. Ennek megfelelően a középkori kard „beszélő tárgyként” is értelmezhető, amely nem csupán passzív

[284] WAYMAN 2000, 259-261.

hordozója az információnak, hanem anyagi és funkcionális sajátosságai révén aktívan részt vesz a jelentésképzésben.[285] A kard vizsgálata ezért nem korlátozódhat egyetlen módszertanra: az anyagszerkezet, a gyártástechnológia, a formai megoldások, a használati nyomok és a feliratok csak egymással összefüggésben értelmezhetők. Ez indokolja a kutatás holisztikus és interdiszciplináris jellegét, amely a fegyvert nem elszigetelt technológiai objektumként, hanem komplex történeti jelenségként kezeli. E komplex megközelítés szükségszerűen meghaladja egyetlen kutató kompetenciáit, és csak több szakterület együttműködésében valósítható meg.

Nem véletlen tehát, hogy ez a fejezet a „Tudományok határán" címet viseli: célja nem egyetlen értelmezési modell kizárólagosságának bizonyítása, hanem annak bemutatása, hogy a kard vizsgálata szükségszerűen több tudományterület metszéspontjában zajlik. Az itt bemutatott példák – az elméleti megközelítésektől a tipológián át a metallográfiai és kísérleti vizsgálatokig – egyfajta módszertani szempontrendszert rajzolnak fel. A következő fejezetben bemutatott kutatástörténet így már nem önmagában álló áttekintésként jelenik meg, hanem egy olyan háttérként, amelynek keretében világosan elhelyezhető a disszertáció szemlélete és módszertani irányultsága

[285] WORLEY-WAGNER 2013, 113-126.

5. Terminológia és módszertan

A kutatási téma interdiszciplináris megközelítése, illetve a disszertáció értelmezhetősége végett szükségesnek tartottam egy átfogó terminológiai-módszertani fejezet kidolgozását is. Ennek megfelelően a következő alfejezetben tisztázni fogom a kard felépítésének különböző elnevezéseit, a disszertációban használt alapvető metallográfiai fogalmakat és összefüggéseiket. Ezen kívül bemutatom a vizsgálat során alkalmazott műszereket, azok a kutatásban betöltött szerepeit, valamint részletezem a vizsgálatok folyamatát és a mikroszkópos felvételek értelmezési módját, illetve a kutatás korlátait.

5.1. A kard felépítése

A kard pontos definíciója és a fegyver részeinek, sőt önmagának a fegyvernek az elnevezése igen változékony a szakirodalomban. Köthető földrajzi elhelyezkedéshez, vizsgált korszakhoz, kultúrákhoz, megjelenésében számtalan formációja ismeretes.[286] Tágabb értelmezésben a *kard* szó egy gyűjtőfogalom, ami általánosan használható a szúrásra és vágásra egyaránt alkalmas szálfegyverekre.[287] Ebbe beletartozhatnak az egy vagy kétélű, illetve az ívelt pengéjű fegyverek is, mint például a *spatha*, az ún.*pallos,* vagy a *szablya*.[288] Kutatásom elsősorban azokra a kétélű kardokra fókuszál, melyek pengéje egyenes, szimmetrikusan kialakított és vércsatornával, keresztvassal, illetve markolatgombbal ellátott.[289]

A vizsgálat fókuszában álló kétélű egyenes kardok legfontosabb része a penge és a markolat. A penge két szempontból értelmezhető, az egyik aspektus szerint (1), a penge a kard leghosszabb része, ami a keresztvas alatt kezdődik és a hegyénél ér véget. Ebben az értelmezésben a fegyver elkülönül a markolattól.[290] A másik szempontból a pengét úgy is lehet értelmezni (2), hogy a penge „a kard teste", ami magába foglalja a markolattüskét vagy markolatnyúlványt is.[291] A szakirodalomban inkább az első értelmezési formát használják, az utóbbit inkább azoknál a kardoknál, amelyek keresztvas vagy markolatgomb nélkül kerültek

[286] HOŠEK ET AL 2019, 43.
[287] LUGOSI-TEMESVÁRY 1988, 9.
[288] A vágó- és szúrófegyverek terminológiájáról Csiky Gergely készített részletes elemzést. CSIKY 2009, 32-36.
[289] PEDERSEN 2014, 593.
[290] HOŠEK ET AL 2019, 44.
[291] HOŠEK ET AL 2019, 44. A markolattüskét Csiki Gergely keskeny, négyzet átmetszetűnek, a markolatnyúlványt széles, lapos és téglalap átmetszetűnek definiálja. CSIKY 2009, 36.

elő. Ha a pengét külön egységként tekintjük (1), akkor három részét[292] lehet hagyományosan elkülöníteni: a penge felső része az, amelyik a keresztvastól a penge feléig tart, az alsó része, ami a penge felétől a hegyéig tart, és a külön egységként vehetjük a penge hegyét.[293] Ezeken kívül külön kell kezelni a pengetőt, a penge lapját és élét. A disszertációban a szakirodalmi felosztás alapján a „*penge markolat felé eső része*" vagy a „*penge hegy felőli része*" elnevezéseket használom a mintavételezési helyek megjelölésénél. Amennyiben a vizsgált tárgy keresztvasa és markolatgombja hiányzott, akkor pedig a „markolattüske felőli rész" fogalmat használom.[294]

A kétélű egyenes kardok pengéjén gyakran megfigyelhető az ún. vércsatorna (vagy pengevájat), ami a penge élével párhuzamosan fut, melynek szélessége és hosszúsága sokat változott az évszázadok során.[295] Funkcióját tekintve, a vércsatorna arra szolgált, hogy könnyebbé tegye a pengét, de úgy, hogy közben megmaradjon a használathoz szükséges keménysége is. A vércsatorna miatt a penge átmetszete benyomott oldalú lencséhez hasonlít.[296]

A markolat a pengetüskéből (vagy pengenyúlványból), az erre felszerelt markolatborításról[297], a keresztvasból és a markolatgombból áll. A kard markolata a fegyver tartására és kontrollálására szolgált, a keresztvas pedig kardforgató kézfejét védte.[298] A keresztvasat, ahogy a markolatgombot is, gyakran díszítették, ezért a gyakorlati funkció mellett a kardforgató státuszát szimbolizálta. A markolatgomb a kard egyik legdominánsabb része. Formájuk, méretük és díszítettségük az évszázadokon át változó „divatot" tükrözik. A vasból készült markolatgombok a penge ellensúlyaként is szolgáltak, vagyis jelentős szerepet játszottak a kard egyensúlyában.[299] A markolatgomb állhat egy vagy két tagból[300], az utóbbi esetében kétféle

[292] A szakirodalom ezekre a részekre úgyis hivatkozik, hogy „erős rész", „gyenge rész" és a penge hegye. Az" erős rész" a pengének az, ami a pengetőtől a penge közepéig tar, elsősorban védekezési technikákhoz használták, a „gyenge része" a penge közepétől a hegyéig tart, ami pedig támadásra szolgált. HOŠEK ET AL 2019, 44.
[293] HOŠEK ET AL 2019, 44.
[294] Itt kivételt képeznek azok a pengék, melyek töredékesen kerültek be a múzeumba. Ezeknél a fegyvereknél a penge törött részéről vágták ki a vizsgálandó mintát.
[295] A középkori kardok esetében kétféle vércsatorna különböztethető meg. Az egyik esetben a vájat széles és sekély, nem különül el markánsan a penge élétől. Ezt a formát a díszítő kovácshegesztéssel készült, vagy a felirattal ellátott pengékre volt jellemző. A másik típusú vércsatorna pedig élesen elkülöníthető a penge élétől, kialakításában keskeny és nem nyúlik el hosszan a penge hegyéig. HOŠEK ET AL 2019, 46.
[296] CSIKY 2009, 36.
[297] A markolatborítást általában organikus anyagból készítették, mint például csontból, szaruból vagy bőrből. Néhány esetben fémhuzallal díszített markolatot is találtak. PEDERSEN 2004, 595.
[298] HOŠEK ET AL 2019, 47.
[299]HOŠEK ET AL 2019, 50.
[300] PIERCE 2002, 2.

típust lehet megkülönböztetni: az egyik esetben a markolattüske a markolatgomb végéig ér, a másik esetben az üreges markolatgombot erősítették a gomb alsó tagjához.[301]

Összegezve tehát, a disszertációban a fentebb felsorolt fogalmakat[302] használom a kétélű egyenes kardokat illetően. A klasszikus markolat megnevezést csak a kunágotai kard esetében hagyom el. Ennél a kardnál nem beszélhetünk klasszikus keresztvasról, ugyanis ahelyett egy bronzöntvényt szereltek a pengetőre, ami nem csak anyagban, de morfológiai szempontból is eltér a többi vizsgált kardétól. Emiatt ennél a kardnál a „*markolatszerelék*" fogalmat használom, a keresztvas helyett. A kard felépítésének ábrája az 1. mellékletben található.

5.2.A disszertációban használt alapvető fémtani fogalmak és összefüggések

Ahhoz, hogy a kardpengéken elvégzett vizsgálatok értelmezhetők legyenek, az alfejezetben tisztázok néhány alapvető fémtani fogalmat és azok magyarázatát. A kardok esetében az általános alapanyag a vas, amely kisebb vagy nagyobb karbontartalmú ötvözetként fordult elő a vizsgált minták között. A vas-karbon ötvözetek jellemzőit a Heyn-Charpy-féle ikerdiagram foglalja össze (**1. kép)**, ebből viszont csak azokat az szöveteket mutatom be, amelyek a kardpengék esetében is megtalálhatók.

A vas olvadáspontja alatti hőmérsékleten[303] kristályos szerkezetű, ami azt jelenti, hogy a szilárd halmazállapotú fém atomjai meghatározott rendben sorakoznak fel, amely méretük és térbeli helyzetük megtartásával folyamatosan ismétlődnek.[304] Az ilyen szerkezetet rácsszerkezetnek nevezi a szakirodalom. A vas rácsszerkezete hevítése, illetve hűlése során allotróp[305] átalakuláson megy át, aminek három módosulata van. 911 °C-nál alacsonyabb hőmérsékleten a vas atomjai térben középpontos kockarácsot alkotnak, afölött felületen középpontos kockarácsot, majd 1392 °C felett pedig szintén térben középpontos kockarácsot.[306] Szén jelenlétében a vas térben középpontos kockarácsú α-módosulata ferritnek, míg felületen középpontos kockarácsú γ-módosulata ausztenitnek nevezett szilárd oldatot képez.[307] Ahogy

[301] HOŠEK ET AL 2019, 50.
[302] Az terminológia ábrázolása az 1. melléklet tartalmazza.
[303] 1538 °C alatti hőmérséklet.
[304] VERŐ-KÁLDOR 1977, 14.
[305] Allotrópiának nevezzük azt a folyamatot, amikor bizonyos anyagok többféle kristályos szerkezetet is felvehetnek. GÁCSI-MERTINGER 2000, 10.
[306] VERŐ-KÁLDOR 1977, 23.
[307] U.o.

hűl a vas a folyamat során kristálycsírák jelennek meg, melyek fázisai függnek a karbontartalomtól és a hűlési sebességtől.

Az α-vas (térben középpontos kockarácsú módosulat) nagyon kevés karbont tud oldani[308], de ezzel az anyaggal alkotott intersztíciós[309] szilárd oldatának elnevezése a *ferrit*, melynek mikroszerkezete egyfázisú.[310] A ferrit mechanikailag lágy anyag, jól alakítható. Az ausztenit felületen középpontos kockarácsú módosulat, karbonoldó képessége nagy, viszont szobahőmérsékleten nem stabil csak az átalakulási hőmérséklet felett és emellett jól alakítható.[311] Minimális karbontartalmú ferrit hevítése során ausztenit keletkezik, illetve fordítva, az ausztenitből hűtés hatására ferrit lesz. Bizonyos karbontartalomnál a γ-vas hűlés közben átalakul karbonban szegény α-vassá, a maradék γ-vas pedig 0,80% karbontartalmúvá dúsul.[312]

Hűlés során ez a nagyobb karbontartalmú (0,80%) ausztenit α-vassá és vaskarbidra (cementitre) bomlik, amik lassabb hűlésnél vékony rétegeket, lemezeket alkotnak. Ezt a szövetszerkezetet nevezi a szakirodalom *perlitnek*.[313] A perlit a ferrit és a cementit eutektoidja[314], ami kemény a benne található cementit miatt és emellett a ferrit miatt szívós is. A perlit nehezebben alakítható, mint a ferrit, viszont a fent leírtak szerint, ha a perlitet megfelelő hőmérsékletre hevítjük, akkor ausztenitté alakul (723°C felett), ami már így könnyen alakítható lesz. Ha gyorsabban hűl az ausztenit, akkor az eredmény finomabb perlit lesz, amellyel a keménysége növekszik is.

0,80%-nál kisebb karbontartalom esetén az ausztenit hűlése során ferrit is megjelenik, a perlit mellett, így a mikroszkópos felvételeken olyan perlitet is lehet látni, ami ferritben helyezkedik el, vagy fordítva.[315] Ez a szövet keményebb, mint a tiszta ferrité, a perlit miatt, de magában hordozza a ferrit szívósságát is.

A kétélű egyenes kardok pengéjében többször megfigyelhető a *cementit* egyik kiválási formája, a *szekunder cementit*, amely gyakran cementithálóként jelenik meg. A 0,80 tömeg%-nál nagyobb széntartalmú (hipereutektoidos) ausztenit hűlése során az eutektoidos hőmérséklet felett a felesleges szén cementit (Fe_3C) formájában válik ki az ausztenitből. Ennek

[308] 723 °C-on 0,02% karbont old, 769°C-on 0% karbont. ZORKÓCZY 1996, 98.
[309] Intersztíciós oldódásnak nevezik azt a folyamatot, amikor az ötvözőelem atomjai az oldófém atomjainak rácsközi helyeire ékelődnek be. GÁCSI-MERTINGER 2000, 32.
[310] ZORKÓCZY 1996, 98.
[311] VERŐ-KÁLDOR 1977, 148.
[312] U.o.
[313] ZORKÓCZY 1996,98.
[314] Az eutektoid többfázisú szövetelem, ami állandó hőmérsékleten és szilárd állapotú átalakulás során jön létre. GÁCSI-MERTINGER 2000, 181.
[315] VERŐ-KÁLDOR 1977, 152-154.

következtében az ausztenit széntartalma fokozatosan az eutektoidos összetétel közelébe csökken, majd az eutektoidos átalakulás során perlit keletkezik.[316] Ebben az esetben a vas-karbid az ausztenit kristályok mentén alakul ki és összefüggő vagy szakadozott hálót alkot.[317] A cementit rideg és törékeny, viszont ezzel szemben a vas szilárdságát növeli.

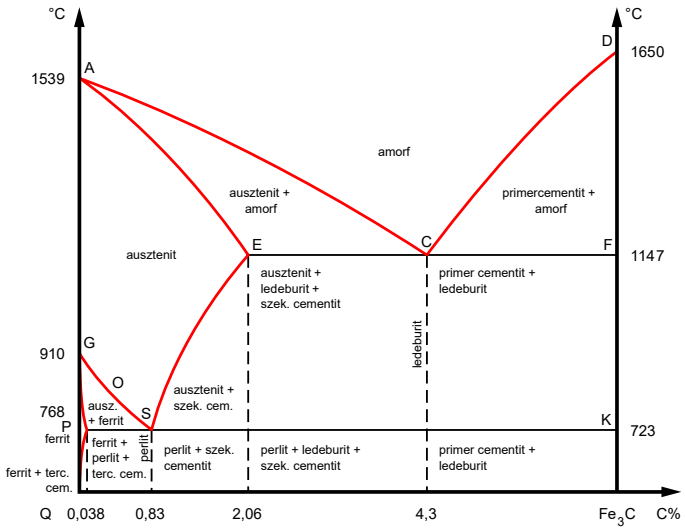
Néhány esetben a pengék mintájában találtunk *Widmanstätten-jellegű szövetet*. Ez a szövet a fém hűlése során végbemenő ausztenites átalakulás során jön létre. Az ausztenitszemcsék határán ferritcsírák keletkeznek, amelyek növekedése irányfüggő: kezdetben a szemcsehatárok mentén fejlődnek, erőteljesebb hűlés hatására azonban jellegzetesen az ausztenitszemcsék belseje felé nyúlnak, így azt egymással párhuzamos ferrit-tűk keresztezik, míg az ezek közt megtalálható karbondús ausztenit hűlés hatására perlitté alakul. A Widmanstätten-ferrit növekedését elősegíti az ausztenit intenzív hűlése.[318]

Nagyon ritka esetben a pengékben *martenzit* is előfordult, amely tipikusan olyan szövet, ami nem egyensúlyi szövetelem és az ausztenit intenzív hűlése során alakul ki. Ilyenkor a felületen középpontos kockarács gyorsan átalakul térben középpontos kockaráccsá (a γ-vas α-vassá alakul), de az ausztenitben oldott karbonatomok nem mozdulnak el, nem történik diffúzió. Az ilyen módon keletkezett szövet, a mertenzit, amely – mai értelemben – edzés hatású hűlés során keletkezik.[319] A martenzit karbonban telített α-vasból és a mellette maradó ausztenitből áll.[320] A martenzites átalakulás nagyon gyorsan zajlik le, ellentétben mondjuk a perlites átalakulással, ami lassan indul el és akár órákig eltarthat.[321] Szövetképe tűs, ezek a tűk annál durvábbak, minél nagyobb hőmérsékletről kezdődött az anyag hűlése. Nagyon kemény, rideg és nagy karbontartalmú szövetelem, ami a kardpengék esetében szinte csak a penge élénél fordult elő.

A kardok kapcsán még egy szövetelem említhető, amit *bainitnek* neveznek. Ez a szövet lényegében az ausztenit hűlése során keletkezik. Szövete karbonnal telített ferritből és gömbölyded karbidszemcsékből vagy cementitből áll. A bainit mikroszkópos képe tűs (hasonlít a mertenzithez) és keményebb, mint a hasonló összetételű perlit, viszont a martenzitnél lágyabb.[322]

[316] VERŐ-KÁLDOR 1977, 149.
[317] VERŐ-KÁLDOR 1977, 150.
[318] VERŐ-KÁLDOR 1977, 266-267.
[319] GÁCSI-MERTINGER 2000, 70.
[320] VERŐ-KÁLDOR 1977, 276.
[321] PROHÁSZKA 1988, 140.
[322] VERŐ-KÁLDOR 1977, 284.

A pengékben megfigyelhető fontosabb szövettípusok ismertetése mellett szükséges tisztázni a lágyvas és az acél fogalmát a korszak technológiai viszonyai között. A jelen dolgozat a régészeti és archeometallurgiai szakirodalomban bevett terminológiát követi, amely szerint lágyvasnak tekinthető az a kis széntartalmú vasötvözet, amelynek keménysége intenzív hűtéssel sem növelhető számottevően, míg az acél megfelelő széntartalma révén hatékonyan edzhető.[323] Ennek alapján különböztették meg az egykori kovácsok a két anyagot. A régészeti vastárgyak vizsgálatában a 0,3 tömeg% körüli széntartalom hagyományosan a lágyvas és az acél elválasztásának irányadó határértéke, bár ennek pontos értéke a szakirodalomban nem tekinthető egységesen meghatározottnak.[324] Azt viszont biztosan tudni, hogy a vizsgált korszakban háromféle ötvözet számított gyakorinak: a lágyvas, az acél és a foszforvas. A lágyvas kis karbontartalmú, legfeljebb 0,2%, nem edzhető vasötvözet. Az acél az előzőnél nagyobb, de általában nem több, mint 1% karbontartalmú, edzhető ötvözet. A foszforvas pedig nagy P tartalmú, nem edzető, általában díszítésre használt ötvözet.[325] A megvizsgált kardpengéknél egyszer sem találtam foszforvasat, viszont a mikroszkópos vizsgálatok alapján egyértelműen meg lehetett határozni, hogy a penge szerkezetében hol található lágyvas, illetve nagyobb karbontartalmú vas vagy acél.



1. kép: Az ábrán a Heyn-Charpy féle vas-karbon fázisdiagram egyszerűsített változata látható. A kardpengék szempontjából fontos szövetszerkezeteket az ábra szerinti 1,00 tömeg%-nál kisebb területei jelzik.[326]

[323] PLEINER 2006, 19.
[324] HOŠEK ET AL 2019, 50.
[325] THIELE ET AL. 2014, 79-89.
[326] Forrás: Web: https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/faipar/gepeszeti-ismeretek/vas-szen-szovetelemek-es-otvozetek/vas-szen-allapotabra Utolsó megtekintés: 2025.02.11.

5.3. Vizsgálati módszerek dilemmája: megőrzés vagy részletes betekintés?

A régészeti fémleletek archeometriai vizsgálatában alapvetően két módszertani megközelítést különböztetünk meg: a roncsolásmentes és a roncsolásos eljárásokat. Mindkettőnek megvan a maga szerepe és létjogosultsága, mivel eltérő típusú információkat szolgáltatnak a tárgyak szerkezetéről, anyagösszetételéről és technológiai sajátosságairól. A kutató számára a módszerválasztás mindig egyfajta kompromisszumot jelent: miként lehet a lelet épségét a lehető legnagyobb mértékben megőrizni, miközben a vizsgálatból származó adatok részletessége és megbízhatósága is biztosított marad. Ez a dilemma – a megőrzés és a feltárás közötti egyensúly keresése – alapvetően meghatározza a vizsgálati stratégiát, különösen a ritka és kiemelt jelentőségű fegyverleletek esetében.

A vastárgyakkal, valamint azok előállításával és feldolgozásával összefüggésben egy adott lelőhelyen számos lelettípus kerülhet elő. Ezek közé sorolhatók például az ércek, az ércpörkölés maradványai, faszénleletek, kemencemaradványok, szerszámok, salakdarabok, illetve a kovácsműhelyekből származó salakok és félkész termékek, egészen a végső formájukban kialakított vastárgyakig.[327] Utóbbiak körébe a különböző szerszámleleteken túl a fegyverek is beletartoznak, köztük a kard.

A régészeti fémleletek vizsgálatának van egy általánosan elfogadott stratégiája, amely – függetlenül attól, hogy roncsolásos vagy nem roncsolásmentes módszereket alkalmazunk – alapvetően arra irányul, hogy a lehető legtöbb információt nyerjük ki az adott tárgyból. Ennek hatékonyságát döntően befolyásolja a mintagyűjtés jellege és stratégiája. A mintavétel történhet terepbejárások során, illetve ásatási kontextusban előkerült tárgyon, eltérő módszertani megfontolások mellett, azonban minden esetben törekedni kell arra, hogy a begyűjtött minták az adott lelőhely anyagminőségi és formai spektrumát reprezentálják.[328]

Primer lelőhelyek esetében különösen fontos, hogy a feltételezhető technológiai folyamat minden eleme mintával képviselve legyen, míg szekunder kontextusban elsősorban az anyagminőség és a lelettípusok rögzítése bír jelentőséggel.[329] A fémtárgyak vizsgálatánál figyelembe kell venni az ötvözeti és formai eltéréseket, valamint az egyes tárgyakon belüli anyagszerkezeti inhomogenitást, és lehetőség szerint a műszaki elemzéseket restaurálás előtt célszerű elvégezni.[330]

---

[327] TÖRÖK 2014, 25-27.
[328] TÖRÖK 2014, 32.
[329] SCOTT 2014, 68-71.
[330] SCOTT 2014,70.

Az archeometallurgiai vizsgálatok – az archeometria körébe illeszkedve – alapvetően három fő csoportba sorolhatók: a kémiai összetétel meghatározására irányuló elemzésekre, az ásványi-fázisösszetelt feltáró vizsgálatokra, valamint az anyagszerkezeti vizsgálatokra, amelyek együttes alkalmazása teszi lehetővé a korabeli fémművesség technológiai sajátosságainak megbízható értelmezését.[331] A disszertációban vizsgált kardok esetében az anyagszerkezeti elemzések körén belül elsősorban metallográfiai vizsgálatok kerültek alkalmazásra, amelyek lehetővé tették a pengék mikroszerkezetének, hőkezelési nyomainak és technológiai sajátosságainak feltárását.

Ugyanakkor a metallográfiai vizsgálatok szükségszerűen roncsolásos eljárások, mivel kis minták eltávolítását igénylik a tárgyból, ami különösen a ritka és jó megtartású fegyverleletek esetében komoly etikai és módszertani megfontolásokat vet fel. További korlátozó tényező, hogy egyetlen metallográfiai metszet csupán a tárgy belső szerkezetének egy igen kis, kétdimenziós részletét reprezentálja, miközben a régészeti fémtárgyak belső felépítése gyakran kifejezetten heterogén.[332]

Mindezek következtében a mintavétel helyének és módjának megválasztása kulcskérdéssé válik, és ezzel együtt különösen hangsúlyossá válik annak tisztázása is, hogy milyen kérdésekre kívánunk választ kapni a vizsgálat révén. Roncsolásos eljárás alkalmazása csak olyan esetekben tekinthető indokoltnak, amikor a megfogalmazott kutatási kérdésekre más módszerekkel nem, vagy csak korlátozott érvényességgel nyerhető válasz, vagyis amikor a mintavétel várható tudományos hozadéka arányban áll a beavatkozás mértékével. A vizsgálati stratégia így minden esetben a tárgy megőrzésének igénye, valamint a technológiai értelmezéshez szükséges részletesség és megbízhatóság közötti egyensúly keresésére épül, amely különösen hangsúlyosan jelenik meg a kardok archeometallurgiai kutatásában, de általános érvénnyel alkalmazható minden van és nem vas anyagú régészeti leleten.

Felmerül tehát a kérdés, hogy egy olyan tárgytípus esetében, mint a kardpenge, amelynek vizsgálata szükségszerűen együtt jár a megőrzés és a feltárás közötti feszültséggel, mi indokolja a roncsolásos metallográfiai vizsgálatok alkalmazását. A válasz elsősorban abban rejlik, hogy a pengék készítéstechnológiájára – a kovácsolás módjára, a hegesztések jellegére, a hőkezelési eljárásokra és az anyagminőségre – vonatkozó kérdések csak a tényleges fémes szövetszerkezet részletes elemzése révén válaszolhatók meg megbízhatóan. A metallográfia ebben az

[331] TÖRÖK 2014, 33.
[332] KOŠTA – HOŠEK 2021, 12.

értelemben nem csupán egy lehetséges módszer a sok közül, hanem olyan vizsgálati eszköz, amely közvetlen kapcsolatot teremt a megfigyelhető mikroszerkezet és a technológiai folyamatok között.

A roncsolásmentes vizsgálati eljárások, különösen a röntgenalapú módszerek, a szakirodalom alapján joggal tekinthetők a régészeti fémtárgyak vizsgálatának alapvető eszközeinek, hiszen alkalmasak a belső szerkezet, az inhomogenitások és a tárgy állapotának feltérképezésére, valamint bizonyos szerkezeti elemek – például szegecsek, betétek vagy kompozit megoldások – azonosítására. Ugyanakkor ezek a módszerek elsősorban makroszerkezeti információkat szolgáltatnak, és csak korlátozott mértékben teszik lehetővé a kovácshegesztési vonalak, a mikroszkopikus fázisok vagy a hőkezelés nyomainak egyértelmű azonosítását. A technológiai rekonstrukció szempontjából, különösen a kardpengék esetében, ezért ezek önmagukban nem tekinthetők elegendőnek.[333]

A jelen kutatás módszertani felépítésében ezért a hangsúly nem a tárgyak belső szerkezetének roncsolásmentes „leképezésére”, hanem a technológiailag releváns részletek célzott, nagy felbontású feltárására került. Ennek megfelelően a metallográfiai vizsgálatok optikai és elektronmikroszkópos megfigyelésekkel, mikroanalitikai mérésekkel és keménységvizsgálatokkal kiegészítve biztosították azt az információs szintet, amely a kutatási kérdések megválaszolásához szükséges volt. Ez a megközelítés nem a röntgenalapú módszerek jelentőségének revízióját jelenti, hanem annak felismerését, hogy a vizsgálat céljaihoz igazodó módszerválasztás elsőbbséget élvez az elérhető technikák teljes spektrumának alkalmazásával szemben.

A roncsolásmentes vizsgálati módszerek közé tartozik még a számítógépes tomográfia (computed tomography, CT), amely mind röntgen-, mind neutronalapú változatban alkalmazható régészeti tárgyak, így kardok vizsgálatára is. A módszer lényege, hogy a tárgyról különböző irányokból készült felvételek alapján háromdimenziós modell rekonstruálható, amely lehetővé teszi a belső szerkezet roncsolásmentes feltárását.[334]

A röntgen- és a neutronos tomográfia nem egymás alternatívái, hanem egymást kiegészítő képalkotó eljárások. A röntgensugarak elnyelődése elsősorban az anyag sűrűségétől, rendszámától és a sugárzás energiájától függ, ezért a nagyobb rendszámú elemeket tartalmazó anyagok általában erősebb kontrasztot adnak. A neutronok ezzel szemben az atommagokkal

[333] KOŠTA – HOŠEK 2021, 13-14.
[334] U.o.

lépnek kölcsönhatásba, így behatolóképességük és kontrasztjuk eltér a röntgensugárzásétól, ami vastagabb tárgyak vizsgálatát, valamint különösen a hidrogénben gazdag és más könnyű elemeket tartalmazó komponensek kimutatását is lehetővé teszi. [335]

A két módszer együttes alkalmazása lehetővé teszi a teljes tárgy nem roncsolásos feltárását, és bizonyos esetekben – például energiaszelektív tomográfia alkalmazásával – a különböző fázisok (pl. ferrit, cementit, salakzárványok) elkülönítése is megvalósítható, ami a kardpengék belső felépítésének értelmezésében új távlatokat nyit.[336]

Az említett roncsolásmentes módszerek alkalmazhatóságát a fegyverleletek vizsgálatában jól szemlélteti egy, viking kori, díszítő kovácshegesztéssel készült kardokon végzett neutron tomográfiás vizsgálat, amely során roncsolásmentes módon sikerült feltárni a pengék belső szerkezetét és összeállítási módját. A vizsgálatok lehetővé tették a különböző komponensek azonosítását, a hegesztési vonalak, repedések, salakzárványok és korróziós jelenségek nagy pontosságú kimutatását, valamint a kompozit szerkezet belső felépítésének értelmezését.[337]

Bár a neutron tomográfia jelenlegi formájában még nem teszi lehetővé valamennyi anyagszerkezeti részlet teljes körű és nagy felbontású feltárását, a publikált eredmények alapján már most is értékes információkat szolgáltat a kardpengék belső szerkezetéről. Ennek megfelelően a módszer további fejlesztése a jövőben a fegyverleletek roncsolásmentes vizsgálatának egyik meghatározó irányává válhat.

5.4. Alkalmazott vizsgálati eszközök és módszerek

Az alfejezetben röviden bemutatom azokat a műszaki eszközöket és módszereket, amelyek segítségével a kardpengék mintáinak metallográfiai vizsgálata történt. A metallográfiai elemzés a fémek és ötvözetek mikroszerkezetének tanulmányozására szolgáló módszercsoport, amely alapvetően roncsolásos eljárásokat foglal magában.[338] A vizsgálat során a mintákból csiszolatokat készítenek, amelyeket megfelelő polírozás és maratás után mikroszkóp alatt elemeznek. A metallográfia célja, hogy feltárja a fémek szövetszerkezetét, amelyben megjelennek az ötvözőelemek különböző mennyiségei, az alakító eljárások (például kovácsolás, hajtogatás vagy hegesztés) nyomai, valamint a hőkezelés (edzés, megeresztés stb.)

[335] KOŠTA – HOŠEK 2021, 14.
[336] U.O.
[337] FEDRIGO ET AL. 2016.
[338] LEHMANN 2016, 27-28.

hatásai.[339] A módszer különösen nagy információtartalommal bír, mivel a szövetszerkezetben rögzülnek mindazok a technológiai folyamatok, amelyek a tárgy készítése során végbementek. Ennek köszönhetően a metallográfiai vizsgálatok nemcsak a nyersanyag összetételének és minőségének meghatározására alkalmasak, hanem a gyártási technológia, az egyes szerkezeti elemek funkcionális szerepe és a kovácsolási gyakorlat rekonstrukciójának alapját is képezhetik.

A kardpengék tükrében a metallográfiai vizsgálatok tökéletesek arra, hogy információt kaphassunk a penge készítésének lehetséges lépéseiről, lehetséges hibákról és javításokról, a pengék mikroszerkezetéről és zárványainak összetételéről.[340] Azonban ahhoz, hogy a fegyvert ilyen módon lehessen vizsgálni, szükséges volt egy vagy több mintát kimetszeni a kardból. A vágás előtt és után fotódokumentáció készült a tárgyakról. A mintákat a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának (ARGUM) munkatársai vizsgálták meg.

A mintavételezést egy nagysebességű multifunkciós szerszámmal végezték el a lehető legnagyobb gondossággal. A mintavételi helyek különbözőek, ha egy penge például eleve törött volt, akkor az egyik törött határról vágták ki a mintát, azonban minden esetben a vágási helyről előre egyeztettünk a tárgyat őrző múzeummal. A folyamat során fokozottan ügyeltek arra, hogy a műtárgy a vágás után a lehető legkönnyebben restaurálható legyen.[341] Külön kellett figyelni arra is, hogy a vágás során a lehető legkevesebb mechanikai vagy hőhatás érje a mintát, hogy ne következzen be szövetszerkezet-változás.[342]

A mintavételezés után a mintákat hidegen szilárduló műgyantába ágyazták. A gyanta szilárdulása után megkezdődött a minta előkészítése, ugyanis ahhoz, hogy a csiszolat szövetszerkezete vizsgálható legyen, a megfelelő módon le kell csiszolni és maratni a felületét. A beágyazott minta csiszolása több lépcsőben történik, először durva, majd egyre finomabb csiszolókorongok használatával. A folyamatot polírozással zárják, melynek során az eredmény a minta tükörsima felülete.[343] Ezután következik a minta maratása. A maratásra azért van szüksége, mert csak a csiszolás és polírozás által a szövetszerkezet még nem lesz látható, gyakorlatilag a maratáshoz használt vegyület hozza elő a minta szövetszerkezetét. A pengék mintái ötvözetlen vagy gyengén ötvözött vasötvözetnek számít, ezért maratásához nitalt

[339] LEHMANN 2016, 30.
[340] HALMÁGYI-RIEDEL 1986, 124.
[341] HEGEDŰS 1960, 120 – 121.
[342] CSEH-BOGNÁR 2012, 4.
[343] SCOTT 1991, 57-66.

használtak, ami etil-alkohol és salétromsav elegye.[344] A nital nem oldja a vaskarbidot, csak a vasat, ezért ezzel el lehet választani a vasat és a cementitet. Az minták előkészítése után pedig a mikroszkópos vizsgálatok következtek az alábbi sorrendben: (1) optikai mikroszkópos vizsgálat; (2) elektronmikroszkópos vizsgálat + energiadiszperzív mikroszondával történő elemzés és a (3) mikrokeménységmérés. A következő alfejezetben a mikroszkópos vizsgálatok során alkalmazott eszközöket mutatom be.

5.4.1. Optikai mikroszkóp (OM)

Az optikai mikroszkópok használata során az előkészített minta világítása fénnyel történik, a minta nagyítását pedig optikai lencsékkel oldják meg, a vizsgálat pedig visszavert fénnyel történik, mivel a minták ugye nem átlátszóak (ezért verik vissza a fényt).[345] A mikroszkóp fénye áthalad a lencséken elérve a vizsgálandó tárgy felületét, majd onnan visszaverődik az objektívre. Ezután az objektív egy képet alkot a mintáról, amit az okulárlencsék tovább nagyítanak.[346] A megvilágító fénysugár iránya egyébként változtatható, így általánosan meg lehet különböztetni világos és sötét látóterű megvilágítást. Az előbbi esetben a fénysugár merőlegesen érkezik a vizsgálandó felületre, míg az utóbbi esetben a tárgyat belül üres fénysugárkúppal világítják meg, így a visszaérkező fénysugarak elkerülik az objektívet és ezek a területek látszódnak sötétnek.[347] Az optikai mikroszkóppal 10-1000-szeres nagyítást lehet elérni. A kardpengék esetében azért volt kiemelten fontos az optikai mikroszkóp, mert általános képet kaphattunk általa a minták szövetéről. A pengeszerkezet megismeréséhez nélkülözhetetlen volt az optikai mikroszkópos mozaikfelvételek, ami alapján mér elsőre felismerhetővé váltak a hegedési vonalak vagy éppen a karboneloszlás a minta különböző területein. Az optikai mikroszkópos vizsgálatoknak alapvető célja az is, előkészítse az elektronmikroszkópos vizsgálatokat.[348] Ezalatt azt értem, hogy a minta általános szövetszerkezetének vizsgálata közben felmerülhetnek olyan kérdések is, amik megválaszolásához az optikai mikroszkóp felbontása már nem elegendő, ugyanakkor enélkül talán ezek a kutatáshoz kapcsolódó kérdések fel sem merülhettek volna. Az optikai

[344] SCOTT 1991, 69.
[345] DAVIDSON-ABRAMOWITZ 2002, 23.
[346] CSEH-BOGNÁR 2012, 18.
[347] U.o.
[348] TÖRÖK 2013, 40.

mikroszkópos vizsgálatok Zeiss Stereo AxioImager berendezéssel kivitelezték, melynek tárgyasztala mozgatható

5.4.2. Pásztázó elektronmikroszkóp és az energiadiszperzív mikroszonda (SEM-EDS)

Az optikai mikroszkópok fénysugarának hullámhosszához képest az elektronsugárzás hullámhossza sokkal kisebb, így az elektronmikroszkóppal sokkal nagyobb nagyítást lehet elérni, mint a hagyományos optikai mikroszkópokkal. A pásztázó elektronmikroszkóp olyan műszer, amellyel a vizsgálandó minta felületét fókuszált elektronnyalábbal pásztázzák végig. A minta képét az arról kilépő szekunder elektronokkal, vagy visszaszórt elektronokkal képezik le úgy, hogy a mintáról érkező jelet pontról pontra (és időben egymás után) megjelenítik a számítógép képernyőjén.[349]

A pásztázó elektronmikroszkóp mélységélessége sokkal nagyobb, mint az optikai mikroszkópé és ezzel együtt a felbontóképessége is sokkal nagyobb. A pásztázó elektronmikroszkóp nagy előnye továbbá az, hogy a kellő felszereltség esetén a nagy nagyítású felvételek mellett lokális kémiai és anyagszerkezeti információit is ki lehet vele nyerni.[350]

A visszaszórt elektronokkal[351] készült SEM-felvételeken (backscatter, SEM-BSD) a nagyobb rendszámú elemekben gazdag területek világosan jelennek meg, míg a kisebb rendszámú elemekkel teli részeken a sötét színek dominálnak. Vagyis ez azt jelenti, hogy a mintán belüli világosabb részek a fémet jelölik, míg a sötétek az oxidos-zárványos vagy szennyeződéssel teli részeket.[352]

A nagy energiával becsapódó elektronok energiája a besugárzott mintából elektronokat vált ki. Az energia többféleképpen adódik át a besugárzott mintának.[353] A szekunder elektronos[354] felvétel (SE) során az elektronnyaláb a minta atomjaival kölcsönhatásba lép és leszakítja az azok külső elektronhéján leglazábban kötött elektronokat.[355] Így a besugárzó nyaláb közvetlen közelében keletkeznek a szekunder elektronok, viszont itt kis energiájú visszaszórt elektron is

[349] POZSGAI 2016, 3.
[350] POZSGAI 2016, 4.
[351] A minta felszínéből kilépő 50 eV-nál nagyobb energiájú elektronok a visszaszórt elektronok csoportjába sorolhatók. Az eV (elektronvolt) egy energiamértékegység, ami az elemi részek energiájának mérésére szolgál. POZSGAI 1995, 10.
[352] TÖRÖK 2013, 40.; POZSGAI 1995, 52-53.
[353] POZSGAI 2016, 7.
[354] Az 50eV-nál kisebb energiájú elektronokat nevezik szekunder elektronnak. POZSGAI 2016, 7-8.
[355] U.o.

keletkezik. A minta felületéről a szekunder elektronok segítségével lehet készíteni a legjobb felbontású felvételeket.[356] A pengék mintáiról mindkét módszerrel készültek felvételek. A szekunder elektronokkal elsősorban a minta szövetszerkezetét, morfológiai tulajdonságait lehetett vizsgálni. Segítségével minden olyan kérdésre választ lehet kapni, amire az optikai mikroszkóp nem nyújt elegendő felbontást.

A vizsgálatokhoz használt elektronmikroszkóp energiadiszperzív mikroszondával szerelt (EDS), amivel elsősorban a zárványok kémiai összetétele került meghatározásra. Az EDS az elektronmikroszkóp elektronnyalábja által gerjesztett röntgensugárzás mérésén alapul és elsősorban felületi elemösszetételek meghatározására alkalmas.[357] A gerjesztett karakterisztikus röntgensugárzás arra az elemre jellemző, amely kibocsátotta. A mintából kilépő röntgensugarakat egy detektor gyűjti össze.[358] Az EDS-el csak a karbonnál nagyobb rendszámú elemek detektálhatók. A kardok vonatkozásában lokális elemspektrumot vagy territoriális átlagspektrumot mértek, amit a disszertációban minden esetben tömeg%-ban adtam meg.
Az elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz Zeiss EVO MA10 elektronmikroszkópot és EDAX típusú energiadiszperzív mikroszondát használtak.

5.4.3. Vickers-mikrokeménységmérés

A koraközépkori, kétélű pengék funkcionális szempontból egyik legfontosabb anyagtulajdonsága a keménység, különösen az él tekintetében. A keménység az anyag ellenállását jelenti egy idegen test behatolásával szemben. Noha a modern anyagtudomány számos módszert ismer a keménység meghatározására, a régészeti fémleletek vizsgálatánál mindezek közül csupán néhány eljárás alkalmazható a minták mérete, állapota és történeti értéke miatt. A kora középkori, sok esetben igen összetett szerkezetű pengék vizsgálata különösen nehéz, mivel az eltérő anyagú és hőkezelésű részeket ugyanazon mintán belül, de egymástól elkülönítve kell értékelni. A méréseket célszerű azon a mintákon elvégezni, amelyeket már korábban szövetszerkezeti elemzésre előkészítettek, hiszen az ilyen módon előállított, síkba csiszolt felület ideális a keménységvizsgálathoz is.

[356] POZSGAI 1995, 49.
[357] POZSGAI 2016, 153-155.
[358] TÖRÖK 2013, 36.

A keménység meghatározására általában a Brinell-[359], Rockwell-[360] és Vickers-féle[361] módszereket alkalmazzák, amelyek mindazon az elven alapulnak, hogy egy meghatározott alakú behatolótestet (indentert) ismert erővel a vizsgálandó anyagba nyomnak, majd a keletkezett benyomat mérete alapján számítják ki a keménységet. A módszerek közötti eltérés főként az indenter formájában, valamint a keménységérték kiszámításának módjában rejlik. A Brinell-eljárás edzett acélgolyót alkalmaz, míg a Rockwell- és Vickers-méréseknél gyémántgúla formájú indenter használatos, eltérő dőlésszögekkel. A keménység a lenyomat átmérője (Brinell), átlójának hossza (Vickers), illetve a behatolás mélysége (Rockwell) alapján számítható[362].

Mivel a koraközépkori kardpengék szerkezete sok esetben heterogén, a különböző rétegek és zónák eltérő anyagtulajdonságokat mutatnak, ezért célszerű a vizsgálati folyamatot mikrokeménységméréssel kiegészíteni. A minták kis mélységben történő vizsgálata miatt a mérésekhez általában 1kgf-nál kisebb erőket alkalmaznak.[363] A disszertációban szereplő pengéken Vickers-mikrokeménységmérést végeztek, amely négyzetalapú gyémántgúlával történik: a meghatározott erővel a felületbe nyomott indenter lenyomatának átlója alapján számítható a keménységi érték. A méréseket 1 kg-os terhelőértékkel (HV1) hajtották végre. Az eljárás előnye, hogy a gyémántgúla kisméretű lenyomatot hagy maga után, így a minta felületének csak minimális roncsolásával jár, ugyanakkor nagy érzékenységgel teszi lehetővé a szerkezetileg eltérő zónák összehasonlítását. A vizsgálatokhoz Instron Wolpert típusú mikrokeménységmérő berendezést alkalmaztak. A Vickers-módszer különösen alkalmas kemény anyagok és kis vizsgálati felületek esetében, ezért régóta bevett eljárás a fémleletek természettudományos vizsgálatánál is.

Noha az egyes szövettípusokhoz és széntartalmakhoz tartozó keménységértékek jól ismertek, a mérési eredmények önmagukban nem tükrözik teljes mértékben az anyag komplex tulajdonságait. Ezért a kapott értékeket elsősorban irányadó tendenciaként célszerű értékelni, különösen az él területén, ahol a kovácsolási és hőkezelési eljárások sajátosságai jelentős lokális eltéréseket okozhatnak.

[359] TUSKÓ-VÉGVÁRI 1997, 22.
[360] TUSKÓ-VÉGVÁRI 1997, 25.
[361] TUSKÓ-VÉGVÁRI 1997, 27.
[362] PÉK 2000, 161 – 169.
[363] LEHMANN 2016, 33.

5.5. A mikroszkópos felvételek értelmezési módja és az eredmények értékelési módszertana

Mikroszkópos felvételek értelmezése

A mikroszkópos felvételek jelentik a pengevizsgálatok elsődleges dokumentációját. A vizsgálati folyamat során optikai mikroszkóppal készültek mozaikfelvételek, illetve a minta egyes jellegzetes területeiről különböző nagyítású felvételek.

A mozaikfelvétel a minta egészét reprezentálja, amely több mikroszkópos kép összeillesztésével készült. A mozaikfelvételre azért van szükség, hogy általános képet lehessen kapni a mintáról. Ezeból a felvételekből kiderülhet a penge általános szerkezete, például az is, hogy egy vagy több darabból kovácsolhatták, illetve a mintán való tájékozódáshoz is segítséget nyújthat. Ezeken a felvételeken általában tisztán kivehető a kard éle és a magja.[364] A minta többnyire elvékonyodó, hegyesedő része a penge éle, a vastagabb egyenes vágási vonallal határolt része pedig a kard magja. Az optikai mikroszkópos vizsgálat legelső lépése mindig a mozaikfelvétel elkészítése volt, majd ezt követték a nagyobb nagyítású felvételek is, melyekkel bővíteni lehet a képet a minta általános szövetszerkezetéről. A nagyobb nagyítású felvételek sorrendje mindig a penge magjától indul és az él felé halad. Az optikai mikroszkópos felvételeken a világosan jelenik meg a karbonban szegény terület, míg a nagyobb karbontartalmú részeket sötétebb árnyalatok jellemzik. A kovácshegesztésre utaló nyomok az optikai mikroszkópos felvételeken fehér vonalakként jelennek meg.

Az elektronmikroszkópos felvételek is hasonló logika szerint kerültek be a disszertációba. A korábbi fejezetben tárgyaltak szerint, SEM-felvételek közül két típust lehet a kardok vonatkozásában megkülönböztetni: (1) szekunder elektronnal készült felvételeket és a (2) visszaszórt elektronnal készült képeket. Az elektronmikroszkóppal készült felvételek közül a nagyobb nagyítású képek segítenek a tájékozódásban, míg a kisebb nagyításúak segítségével pedig a szövetszerkezet, illetve a zárványok váltak részletesen vizsgálhatóvá. Hasonlóan az OM-felvételekhez, a felvételek sorrendje itt is a penge magjától indul. Külön szükséges említeni, hogy a zárványokról visszaszórt elektronnal (BSD) készültek a felvételek. A zárványok felvételein látható számok jelzik azokat a pontokat, ahol az EDS kémiai összetételt mért.

[364] A mellékletben szereplő mozaikfelvételek mindegyikén szerepeltetem a penge magjának és élének elhelyezkedését.

Az eredmények értékelési szempontjai

A mikroszkópos vizsgálatok eredményeinek értékelését egy előre meghatározott szempontrendszer szerint végeztem el. Az értékelés alapját a mintákon megfigyelt mikroszerkezeti jellegzetességek adják, melyekből a penge kovácsolása során alkalmazott technikákra lehet következtetni.

A vizsgálati eredményeket esettanulmány jelleggel mutatom be a disszertációban, amik végén egy-egy összegzés található, ami magába foglalja az adott penge készítéshez kapcsolódó legfontosabb megfigyeléséket. A mikroszerkezeti jellegzetességek bemutatásán túl a disszertáció célja egy készítéstechnikai tipológia kialakítása, amihez az alábbi szempontrendszert használtam:

1. *Leggyakoribb kovácsolási technikák elkülönítése*

A mikroszkópos vizsgálatok lehetővé tették a leggyakoribb kovácsolási eljárások azonosítását, melyek között megkülönböztethető a hajtogatott, kovácshegesztett és homogén szerkezetű pengék előállítása. A pengék mintáiról készült mikroszkópos felvételeken a különböző szemcseszerkezeti jellegzetességek és fáziseloszlások alapján az egyes technikai fogásokra lehet következtetni. A kutatás során találtam olyan kardokat is, amelyek pengéjének kialakításához egyszerre több technikát is alkalmaztak, illetve sz is előfordult, hogy a pengén az egyszerű, ún. „telibe kovácsoláson" kívül semmilyen más módszert nem alkalmaztak.

2. *A penge szerkezeti felépítése – egy vagy több darabból kovácsolták*

A penge szerkezeti felépítése alatt a kovácsolás során létrehozott anyagszerkezeti struktúrát értem, amely magában foglalja a felhasznált fém alapanyag számát, azok feltételezhető elrendezését a penge kovácsolása során. Ennek keretében különbséget tettem homogén (egy anyagból, egy tömbből készült) és heterogén (több különálló elemből összeállított) felépítésű pengék között. A mikroszerkezeti átmenetek, a diffúz zónák, valamint az egyes területek eltérő anyagi és szerkezeti tulajdonságai alapján meghatározhatóvá vált, hogy a penge egyrészes vagy inkább összetett kialakítású.

3. *A pengén belüli karboneloszlás*

A szén koncentrációjának térbeli eloszlása alapvetően befolyásolja a kardpengék mechanikai tulajdonságait, különösen az él tartósságát és a penge rugalmasságát. A mikroszerkezeti vizsgálatok során kimutatott eltérések a karboneloszlásban olyan technológiai szándékra utalnak, amely a penge különböző funkcionális zónáinak – például a kemény (nagyobb

karbontartamú acél) él és a rugalmas (kis karbontartalmú lágyvas) mag – kialakítását célozhatta meg.

4. Hőkezelés

A hőkezelés kérdése a kétélű egyenes kardok technológiai vizsgálatában alapvető, ugyanakkor problematikus tényező. A metallográfiai elemzések során gyakran kimutathatók a hőhatásra utaló mikroszerkezetek, ám ezek értelmezése nem minden esetben egyértelmű. A fő kérdés az, hogy a pengék hőkezelése tudatosan alkalmazott technológiai eljárás volt-e, vagy csupán a kovácsolás és hűtés során járulékosan jött létre. A különböző szövettípusok, mint a martenzit, utalhatnak ugyan az edzés meglétére, de vajon ezek minden esetben mesterséges hőkezelés eredményeként értelmezhetők? Mennyiben lehet a mikrostruktúrák alapján megkülönböztetni a szándékos és a véletlenszerűen kialakult hőhatásokat? A vizsgálat célja ezért annak tisztázása, hogy a pengék anyagszerkezete és szövettani jellemzői alapján következtetni lehet-e tudatos hőkezelési gyakorlatra, illetve felismerhetők-e a szelektív edzés jelei a pengeélen.

5. Zárványvizsgálat – morfológia és kémiai összetétel

A salakzárványok tipológiája és kémiai összetétele egyaránt fontos információt hordoz az alapanyag minőségéről és a gyártási folyamatok során megjelenő szennyeződésekről. Ez hozzájárulhat a nyersanyag eredetének és tisztaságának megítéléséhez, bár a proveniencia pontos meghatározására önmagukban kevésbé alkalmasak. Sokkal inkább a morfológiai és összetételbeli sajátosságok együttes vizsgálata nyújt hasznos támpontot a gyártási eljárások rekonstruálásában.

A zárványok formai és kémiai tulajdonságai a keletkezésük körülményeiről, valamint az alkalmazott technológiai folyamatokról árulkodhatnak. Ezek összevetése lehetőséget ad annak elkülönítésére, hogy egy adott zárvány a nyersvas előállításához vagy inkább a későbbi kovácsolási műveletekhez kapcsolódik. Ezáltal a vizsgálat nemcsak a pengék készítéstechnikájának jobb megértését segíti, hanem tágabb kontextusban is hozzájárul a korai vasmegmunkálás gyakorlatának feltárásához.

6. Elmélet és gyakorlat

A kutatás során az elméleti és metallográfiai megfigyeléseket kísérleti úton is kiegészítettem, hogy a kovácsolási technikák gyakorlati kivitelezését közvetlenül is vizsgálhassam. A hajtogatás és a telibe kovácsolás folyamatainak kipróbálása lehetőséget adott arra, hogy a korabeli vasfeldolgozási eljárások technológiai sajátosságait anyagtani szempontból is értelmezzem. A vizsgálat központi kérdése az volt, hogy a kovácsolás során milyen mértékben

homogenizálható a bucavas eredendően heterogén szerkezete, illetve a különböző eljárások milyen mikroszerkezeti különbségeket eredményezhetnek.

6. Vizsgálati eredmények

A kutatás keretein belül összesen 23 kard, illetve kardtöredék vizsgálatára került sor. Az értékelhető leletek alapadatait **az 1. táblázat** foglalja össze.

Sorszám	**Lelőhely**	**Típus**	**Őrzési hely és leltári szám**	**Minta**
1.	Balsa	kétélű egyenes kard	Jósa András Múzeum Nyíregyháza/66.36.1.	1 minta (pengéből)
2.	Beszterec-Gyalap-tanya	kétélű egyenes kard	Jósa András Múzeum, Nyíregyháza/66.46.1	1 minta (pengéből)
3.	Budapesti szórványlelet	kétélű egyenes kard	BTM Aquincumi Múzeum Népvándorlás kori Gyűjtemény/79.5.1	1 minta (pengéből)
4.	Eger, ismeretlen lelőhely	kétélű egyenes kard	Dobó István Vármúzeum/54.84.1	1 minta (pengéből)
5.	Fülöp Gyula kard, ismeretlen lelőhely	kétélű egyenes kard	Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár/ltsz. n.a.	1 minta (pengéből)
6.	Himesháza, ismeretlen lelőhely	kétélű egyenes kard	Janus Pannonius Múzeum, Pécs/ltsz.: n.a.	3 minta (1 a pengéből, 2 a markolatból)
7.	Ismeretlen lelőhely	szablyamarkolatú kard	Jósa András Múzeum, Nyíregyháza/66.52.1.	1 minta (pengéből)
8.	Kiskundorozsma, Vöröshomok-dűlő	szablyamarkolatú kard	Móra Ferenc Múzeum, Szeged/ ltsz.: n.a.	4 minta (kardhegy, penge, ellenző, markolattüske)
9.	Kunágota, Boldog Antal földje 1. sír	kétélű egyenes kard	Móra Ferenc Múzeum, Szeged/ 53.170.1.	3 minta (1 a pengéből, 2 a markolatból)
10.	Budapest, Mexikói úti kard	kétélű egyenes kard	BTM Aquincumi Múzeum Népvándorlás kori Gyűjtemény/ M55.157.2	1 minta (pengéből)
11.	Nagykálló-Romvár közelében	kétélű egyenes kard	Jósa András Múzeum, Nyíregyháza/66.51.1	1 minta (pengéből)
12.	Nyíregyháza, Felsőpázsit	kétélű egyenes kard	Jósa András Múzeum, Nyíregyháza/66.53.1	1 minta (pengéből)
13.	Nyíregyháza-Polyákbokor, Peres-dűlő	kétélű egyenes kard	Jósa András Múzeum, Nyíregyháza/66.50.1.	1 minta (pengéből)
14.	Sóstó (Vízművek) 1971. évi szórványlelet	kétélű egyenes kard	Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár/73.4.1.	1 minta (pengéből)
15.	Sóstó (Vízművek), 1. sír	kétélű egyenes kard	Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár/56.92.1	1 minta (pengéből)
16.	Székesfehérvár, Rádiótelep I. A sír	kétélű egyenes kard	Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár/5859.	1 minta (pengéből)
17.	Székesfehérvár, Rádiótelep II. (Bikasziget) 36. sír	kétélű egyenes kard	Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár/5988.	1 minta (pengéből)
18.	Újfehértó, Micskepuszta	kétélű egyenes kard	Jósa András Múzeum, Nyíregyháza/66.47.1	1 minta (pengéből)
19.	Veszprém, Ismeretlen lelőhely, szórványlelet	kétélű egyenes kard	Laczkó Dezső Múzeum, Veszprém/ ltsz.: n.a.	1 minta (pengéből)
20.	Vörs-Papkert, B temető	kétélű egyenes kard	Rippl-Rónai Múzeum, Kaposvár/ 1957.02.01.	1 minta (pengéből)

1. táblázat: A kutatásba bevont kardok adatai.

A megvizsgált tárgyak közül 7 darabot a nyíregyházi Jósa András Múzeumban, 5 darabot székesfehérvári Szent István Király Múzeumban, 4 darabot a szegedi Móra Ferenc Múzeumban, 2 darabot az Aquincumi Múzeum Népvándorlás kori Gyűjteményében és egy-egy darabot pedig a Magyar Nemzeti Múzeumban, a veszprémi Laczkó Dezső Múzeumban, a kaposvári Rippl-Rónai Múzeumban, az egri Dobó István Vármúzeumban, illetve a pécsi Janus Pannonius Múzeumban őriznek. A vizsgált kardokhoz tartozó makro- és mikroszkópos felvételeket a *2. melléklet táblái* tartalmazzák. A főszövegben a hivatkozások a melléklet tábláira történnek.

A disszertációban a makói és kömpöci kardtöredékek külön nem kerülnek bemutatásra, ugyanis a töredékek metallográfiai vizsgálatra alkalmatlanok voltak. Szintén nem kerül bemutatásra a Szeged Csongrádi út 1. sírjából előkerült kard sem, ugyanis a rossz megtartású, erősen korrodált kard pengéjében nem találtunk vizsgálatra alkalmas területet. Emiatt csak a kard markolattüskéjéből metszettünk ki egy darabot, viszont a kutatás szempontjából releváns következtetéseket nem lehetett levonni a vizsgálat során.[365]

6.1.A kardok előkerülésének körülményei és vizsgálati eredményei

6.1.1. Balsa (őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza, ltsz.: 66.36.1.)

A kardot 1923-ban találták meg Fekésházy József tanító földjén. A penge keresztvasa elveszett, markolatgombja hiányzik.[366] Kovács László adattárában azt írja, hogy a rombusz metszetű, illetve vércsatorna nélküli keskeny penge nem datálható a 10. század második felére.[367]

A metallográfiai vizsgálatra szánt mintát a penge markolattüske felőli oldaláról, vágták ki **(I. tábla 1.).** A megfigyelések alapján a penge anyaga itt tartalmazott elegendő mennyiségű fémet a vizsgálat elvégzéséhez.

A minta belső részére, vagyis a kard magjára lágy, ferrites szövetelem jellemző **(I. tábla 3-4.),** élénél viszont megjelenik a ferrit, illetve a perlit is **(I. tábla 6; 8.)**. Készítéstechnikai szempontból feltételezhető, hogy a kardot hajtogatták. Annak ellenére, hogy a

[365] A markolattüskéből levágott minta is erősen korrodált volt, felülete és a feleületközeli részei már alig vizsgálhatók. A mintáról készült optikai mikroszkópos felvételein nagyobb karbontartalmú, finom perlites szövet figyelhető meg. A perlites szerkezet szövetelem összetételt tekintve homogén, némi heterogenitás csak a perlitszemcsék méretének változása kapcsán figyelhető meg, de ez inkább készítéstechnikai eredetű – egyes helyeken az alakítás jobban összetörte a perlitszemcséket - nem pedig alapanyagból eredeztethető különbség.
[366] BAKAY 1965, 6., KOVÁCS 1994-95, 156.
[367] KOVÁCS 1994-1995, 156.

szövetszerkezetben a hajtogatás nyomait nehezen lehet megállapítani, az él felé megfigyelhető, hosszanti irányú és nagyobb karbontartalmú sáv bizonyítja a technika alkalmazását **(I. tábla 2.)**. A mintán végzett keménységmérés értékei: mag: 131 HV1; a minta él felé eső területeken: 125 és 171 HV1; a pengeélnél: 162 HV1.

A SEM-vizsgálatok alátámasztották, hogy a kard magja valóban lágy, kis karbontartalmú ferrites szövetszerkezetből áll. A kard feletti és alatti területeken, vagyis a kard lapja felé nagyon kis mennyiségben ugyan, de megjelenik a perlit. A penge élének irányába fokozatosan növekszik a perlit aránya, az él részénél pedig már több a perlit, mint a ferrit **(I. tábla 7.)**. Feltűnő ugyanakkor, hogy a metszetben talált zárványok egyhangúan a minta egyik oldalára rendeződtek az alakítás során (**I. tábla 9-10. kép),** míg a másik oldalon sokkal kevesebb zárvány figyelhető meg. Véleményem szerint ez azt bizonyítja, hogy a penge alapanyagát egyszer biztosan meghajtották, vélhetően homogenizálás céljából.

Összegzés: A kardot feltehetőleg egy darabból kovácsolták, alapanyaga lágyvas és egyszer biztosan hajtották, erre utal a zárványok elhelyezkedése, illetve a penge közepén futó nagyobb karbontartalmú sáv. Ez utóbbi feltehetőleg a buca heterogén karboneloszlásának köszönhető. A mintában semmilyen hőkezelésre utaló nyom nem található, a penge a kialakítás után szabad levegőn hűlt le.

6.1.2. Beszterec-Gyalaptanya (őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza, ltsz.:66.46.1)

Bakay Kornél[368] és Kovács László[369] is tárgyalja a kardot, aminek előkerülési körülménye is meglehetősen bizonytalan. A kardot 1927-ben találták meg egy törvényhatósági út építésekor. A karddal kapcsolatosan elérhető adatok alapján Kovács a kardot nem datálja biztosan a 10. század második felére.[370]

A fegyver alapvetően jó megtartású, viszont pengéje törött volt, éppen emiatt a mintát a sérült, kardhegy felőli töredékéből vágtuk ki (**II. tábla 1.).** A kimetszett darab elegendő mennyiségű fémet tartalmazott a vizsgálatok elvégzéséhez.

[368] BAKAY 1965, 6.
[369] KOVÁCS 1994-1995, 156.
[370] KOVÁCS 1994-1995, 156.

A mintát erős korróziósréteg borítja, de az általános szövetszerkezete alapján tisztán kivehető, hogy a pengét nem egy darabból kovácsolták **(II. tábla 2.).** A felvételen a penge magja és éle közötti fehér vonal kovácshegesztésre utal (**II. tábla 5.**) A kard magját alapvetően szívós, lágyabb ferrites anyagból készítették, amire rákovácsolták a nagy karbontartalmú, perlitből álló élt (**II. tábla 3-6.)**. A megfigyelést a SEM-vizsgálat is alátámasztotta, ugyanis a szekunder elektronokkal készült felvételeken szépen ki lehet venni, ahogy az él szövetében található zárványok követik a penge magjának íves vonalát (**II. tábla 10.)**. A mintán mért keménységi értékek tükrözik a mikroszkópos felvételek alapján tett megfigyeléseket. A penge magjánál mért érték: 137 HV1; a mag és az él közötti átmeneti zónán mérté érték: 287 HV1; a penge élénél mért érték: 373 HV1.

Összegzés: A pengét feltehetőleg több darabból kovácsolták, a kis karbontartalmú ferrites magot a keményebb szövetszerkezetű él borítja. Ez a nagyobb karbontartalmú él elér a kard felső és alsó lapjáig. A kovács a klasszikus lágy mag és kemény él kompozíciót választotta a penge kialakítása során. A mintában hajtogatásra és hőkezelésre utaló nyom nem volt.

6.1.3. Budapesti szórványlelet (őrzési hely: BTM Aquincumi Múzeum Népvándorlás kori Gyűjtemény, ltsz.: 79.5.1)

A kardot a múzeum gyűjtőterületében találhatták meg, valószínűleg Budapestről, vagy a város környékéről kerülhetett elő. A fegyvert a 10. századok második felére, de inkább a 11. század elejére datálták.[371]A kard rossz megtartású, pengéje törött, ennek megfelelően a metallográfiai vizsgálathoz szükséges minta a törött részéről került kimetszésre **(III. tábla 1.)**.

A mintáról készült mozaikfelvételből kiderült, hogy a pengét két darabból kovácsolták, vagyis két külön félkésztermék felhasználásával készítették **(III. tábla 2.).** A penge magjára inkább a lágyabb, ferrites szövet jellemző, azonban önmagában a kard magja karboneloszlás szempontjából nem homogén, ugyanis a penge lapja felé megjelennek a nagyobb karbontartalmú, de vékony perlites sávok. Ezek a sávok arra utalnak, hogy a penge magját hajtogatással alakították ki **(III. tábla 5-6.)**. Az említett rétegek alatt, a penge magjának középső részénél pedig már szinte csak ferrit látható, ami meglehetősen nagy szemcsékből áll **(III. tábla 6.)**. Ez a szemcseméret utalhat a nagy hőmérsékleten történő kialakításra is**.** A minta közepén

[371] KOVÁCS 1994-1995, 159.

egy nagyobb méretű repedés látható, feltételezhető, hogy ez a hajtogatás során keletkezett **(III. tábla 2.)**

Az elektronmikroszkóp a penge élében lényegében csak perlites területeket detektált **(III. tábla 10-11.)**. A közvetlen élnél kis kiterjedésű karbonszegény területek találhatóak, amit a készítés során bekövetkezett dekarbonizáció is okozhatott, de az inhomogén alapanyag használata miatt is kialakulhatott. Egyébként az elektronmikroszkópos vizsgálat alátámasztotta az optikai mikroszkópos megfigyeléseket.

Összegzés: A penge két darabból készült, egy kis karbontartalmú, ferrites szerkezetű alapra kovácsoltak rá egy nagyobb karbontartalmú, keményebb élt. A penge magját hajtogatással homogenizálták. A mintában nem volt edző hatású hűlésre utaló nyom.

6.1.4. Eger – ismeretlen lelőhelyű kard (őrzési hely: Eger, Dobó István Vármúzeum; 54.84.1.)

A kard ismeretlen lelőhelyű, de jó megtartású, teljesen ép lelet, amit restauráltak. A tárgy felülete korrodált, de a kovácsolás nyomai, illetve a penge összetett szerkezete szabad szemmel is kivehetők a kardon **(IV. tábla 1.)**.[372]

A mikroszkópos vizsgálatokból kiderült, hogy a kard pengéjének szerkezete összetett, ez a csiszolatról készült mozaikfelvételen jól kivehető **(IV. tábla 2.)** A penge élének szövetszerkezete nagyon finom perlitből áll **(IV. tábla 5-6.)** és ezt a mag felé haladva fokozatosan felváltja a karbonban szegény lágy ferrit **(IV. tábla 3-4.)**. Ezeken a területeken mért keménységi érték (a penge élétől a középső részig): közvetlen él: 239 - 232 HV1. A csiszolatról készült mozaikfelvételen tisztán kivehetőek a kovácshegesztés nyomai, amik a metszetet lényegében ívesen keresztezik. Az ívek után eső területek, amik kiérnek a penge lapjáig, szinte teljes egészében finom perlitből áll. A metszet belső része felé haladva pedig markánsan kivehető a penge magja, amit alulról szokatlan hajtogatott anyag vesz körbe **(IV. tábla 3.)**. Ez az OM-felvételeken hajtűkanyarra emlékeztető ívekként jelenik meg, amit a penge lápjához felhasznált alapanyag hajtogatásával, már-már csavarásával érhettek el. A penge felületén is látszódnak a hajttogatás/csavarás nyomai, mert a penge felületén másképp korrodált az anyag, ugyanis egymást szabályosan követő üregeket lehet látni a penge lapján. Ez a hajtott/csavart terület markánsan elkülönül a többitől, szépen kivehetőek a szövetben az egymásra tekeredő

[372] Zágorhidi Czigány Bertalan még publikálatlan gyűjtése alapján.

kisebb és nagyobb karbontartalmú sávok. A penge középső része (a magja) is feltételezhetően hajtogatással készült, ferrites-perlites szövetből áll.

Az elektronmikroszkópos vizsgálat részletgazdagabb képet adott a penge szerkezetéről. A penge közvetlen élénél cementithálót és amellett pedig perlitet találtunk **(IV. tábla 8-9.)**. A perlit lemezek rövidek, feltöredezettek**,** ami az intenzív kovácsolás eredménye. Az él karbontartalma meglehetősen magas, körülbelül 0,8 tömeg% körüli lehet. A penge magja felé haladva csökken a karbontartalom, megjelenik a ferrit is. Külön kérdésként merült fel az, hogy a penge magja és az él közötti területet külön kovácsolták-e a penge élével, vagy egyben alakították ki azt. Itt élesen elkülönülő hegedési vonalat nem lehetett látni a mikroszkópos felvételeken, így erre a kérdésre a zárványvizsgálat adta meg a választ.[373] A EDS-mérések különböző összetételű zárványokat mutatott ezen a területen, ezen kívül, figyelembe véve a zárványok elhelyezkedését és alakját, nagy valószínűséggel olyan pengeszerkezetről van szó, ahol a mag és az élbetét között egy plusz betétet illesztettek be **(IV. tábla 6.)**. Hasonló szerkezetet találtunk például a kiskundorozsmai kard esetében is. Egyébként itt is van cementitháló, de az élhez képest sokkal kevesebb. Az itt mért keménységi érték pedig 160 HV1.

A penge felső lapjánál is volt cementitháló, csakúgy, mint a penge élénél, tehát itt is egy nagyobb karbontartalmú szövet található**.** Érdekes, hogy itt a perlit lemezes formában is megjelenik, de szemcsés formában is. A penge alsó lapjánál szintén perlit figyelhető meg, de sokkal jobban össze van töredezve, mint a felső részen, ami arra utal. Ez arra utal, hogy itt az anyagot jobban megdolgozták, erősebben átkovácsolták. Úgy vélem, ennek köze lehet az itt található, masszívan hajtogatott részhez is, ami az optikai mikroszkópos felvételen is tisztán látható. A kard magja pedig szintén perlitből és cementithálóból áll, nagyon intenzíven átkovácsolták, mert a perlit széttöredezett és ennek hatására szemcséssé vált**.**

Összegzés: A csiszolat vizsgálati eredménye alapján a pengét biztosan több darabból készítették. Magját nagy karbontartalmú vasból kovácsolták, csakúgy, mint a penge alsó és felső lapját és az élét is. A mozaikfelvétel alsó részén látható kisebb és nagyobb karbontartalmú sávok valószínűleg valamilyen behajtás vagy csavarás eredménye, nagy valószínűséggel díszítőkovácshegesztés nyomai lehetnek. Ezt azonban biztosan nem lehet megállapítani, ugyanis az EDS-vizsgálat nem mutatott ki itt a szövetben foszfort, csak a zárványokban ugyanakkor a kisebb-nagyobb karbontartalmú sávok jelenléte egyértelmű a szövetben és emellett a penge felületén is kivehető volt valamilyen díszítés nyoma.

[373] A zárványvizsgálatokról bővebben a 7. fejezetben írtam.

A penge élének kialakítása is érdekes, ugyanis az két részből áll, egy plusz toldásból és a tényleges élből, nagyon hasonló módon lett kialakítva, hasonlóan a kiskundorozsmai kard éléhez. Utóbbi penge esetében azonban nem volt díszítő kovácshegesztésre utaló nyom, magját pedig egy darabból kovácsolták ki. A nagy karbontartalom ellenére, a penge szövetében nem voltak hőkezelésre utaló nyomok. Az tisztán kivehető, hogy intenzíven átkovácsolták, de a penge alapvetően lassabban hűlt le.

Az egri kardpengén megfigyelt szerkezet párhuzamba állítható a Gnezdovo lelőhely Lb-1/Avd-1987 számú lelőhelyről előkerült példánnyal, amelynél metallográfiai vizsgálat háromrétegű magból és magas széntartalmú acélból készült, rahegesztett vágóélekből álló pengét mutatott ki.[374]

6.1.5. Ismeretlen lelőhelyű kard (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.: n.a.)

A kardot Fülöp Gyula régész szolgáltatta be a Múzeum régészeti gyűjteményébe. A kard előkerüléséről nincs információ, pontos lelőhelye ismeretlen, a fegyver leltározatlan. Feltételezhető a fegyver Fejér megyei eredete. A tárgy egyébként töredékként került be a Múzeumba, erősen korrodált, rossz megtartású.[375] A vizsgálathoz szükséges minta a fegyver eleve törött pereméről került kimetszésre **(V. tábla 1.)**.

A pengéből kimetszett minta szövetszerkezete szinte végig ferrit-perlites. A nagyobb nagyítású felvételeken jól lehet látni, ahogy a kisebb-nagyobb karbontartalmú sávok váltogatják egymást a szövetben **(V. tábla 3-7.),** amik főként a penge magjánál helyezkednek el. Ez arra utal, hogy az anyagot hajtogatták. Feltételezhetően a pengét sokszor átkovácsolták, a karbontartalomnak megfelelő magas hőmérsékleten, ugyanis a lemezes perlit mellett szemcsés perlit is megtalálható **(V. tábla 8.).** A mintán mért keménységi értékek: a penge magjánál: 168 HV1; a minta középső részén: 165 HV1; az él területén: 175 HV1.

A SEM-vizsgálat alátámasztotta a hajtogatásos technika alkalmazását a pengénél, A nagyobb nagyítású képeken töredezett perlitet lehet látni, néhol pedig szinte már csak szemcsés formában jelenik meg.

[374] Kainov-Shchedrina 2019, 65-85; 93.
[375] Zágorhidi Czigány Bertalan még publikálatlan gyűjtése alapján.

Összességében a vizsgálatok egy hajtogatással előállított, de külön hőkezeléssel nem differenciált pengeszerkezetet jeleznek. A penge anyagszerkezete döntően ferrit–perlites jellegű. A mikroszerkezetben megfigyelhető, eltérő karbontartalmú sávok váltakozása – különösen a penge magjában – egyértelműen hajtogatásos kovácsolási technika alkalmazására utal. A lemezes és szemcsés perlit együttes jelenléte arra enged következtetni, hogy a pengét többször átkovácsolták, viszonylag magas hőmérsékleten. A keménységmérések viszonylag homogén értékeket mutattak (165–175 HV1), ami összhangban áll a ferrit–perlites szövetszerkezettel és nem utal célzott élkeményítésre. A SEM-vizsgálatok megerősítették a hajtogatásos technika jelenlétét, továbbá a perlit töredezett, részben szemcsés formáját, amely a magas hőmérsékletű feldolgozás következményének tekinthető. Összességében a vizsgálatok egy hajtogatással előállított, de külön hőkezeléssel nem differenciált pengeszerkezetet jeleznek

6.1.6. Himesháza/ismeretlen lelőhelyű kard (őrzési hely: Janus Pannonius Múzeum, Pécs; ltsz.: n.a.)

A kard 2021 tavaszán került be a Janus Pannonius Múzeumba. A leletet egy himesházi lakos ajándékozta az intézmények, azonban a pontos előkerülés körülményei, annak ideje, helye sajnálatos módon ismeretlen. A kard alapvetően jó megtartású, viszont a leleten elvégzett restaurálási kísérletek megnehezítették a fegyver vizsgálatát, sőt, a lelet eredetiségével kapcsolatos kérdések is felmerültek.[376] Éppen emiatt szükséges volt a kard mélyrehatóbb régészeti, illetve archeometriai-archeometallurgiai vizsgálatára. A kard legközelebbi párhuzama a Budapest környéki kard (ltsz.:79.5.1), aminek vizsgálati eredményeit szintén közlöm a fejezetben. A kardot a 10. század vége és a 11. század eleje közötti időszakra keltezik.[377]

A himesházi kard pengéjéből kimetszett minta felvételei érdekes képet mutattak. A kard alsó és felső lapjánál lényegében ferrites szövet figyelhető meg, ami egy nagyobb karbontartalmú, perlit-ferrites anyagot ölel át **(VI. tábla 2-4.),** ahol a ferrit és a perlit aránya nagyon változatos. A különböző szövet határánál megjelenik a Widmanstätten-ferrit **(VI. tábla 5.)**. Noha ez a nagyobb karbontartalmú sáv a minta közepénél dominál, azért a közvetlen élnél is megtalálható.

[376] A kardot Haramza Márk találta és vizsgálta meg régészeti szempontból. A markolatszerelék alapján a kardot Petersen G-típusú kardjaihoz hasonlítja, a Geibig-tipológia szerint pedig a 10. kombinációs típushoz. HARAMZA 2022, 117-119.

[377] Szeretném megköszönni Haramza Márknak és egyúttal a Janus Pannonius Múzeumnak, hogy a kard vizsgálati eredményeit felhasználhattam a kutatásomhoz.

Az optikai mikroszkópos vizsgálat során felmerült, hogy a kard pengéjét hajtogatták, és ezt az elektronmikroszkópos vizsgálat alá is támasztotta. Bár a hajtás nyoma nem annyira látványos, a mintán keresztülfutó halvány fehér vonal és a karbontartalom heterogén eloszlása inkább ezt jelzi. Ezzel lehet magyarázni azt is, hogy a minta közepén egy nagyobb karbontartalmú sáv látható, ami a penge alapanyagául szolgáló buca egyenlőtlen karboneloszlásához köthető. Az elektronmikroszkópis felvételek alátámasztották a optikai mikroszkópos megfigyeléseket. A kard szövetéről készült SEM-képen szintén szépen kivehető a Widmanstätten-ferrit. **(VI. tábla 7-8.)**

Összegzés: A pengét valószínűleg egy darabból kovácsolták. Az alapanyagot a kovács egyszer biztosan meghajtotta. A pengén hőkezelésre utaló nyom nem volt, valószínűleg szabadlevegőn, lassabban hűlhetett le.

A himesházni lelet esetében külön kérdés volt a fegyver eredete. A mikroszkópos felvételeken nem találtunk modern vas- és acélfeldolgozásra utaló ötvözőket. A pengén alkalmazott készítéstechnika lényegében nem tér el a vizsgált korszakban használtaktól, anyagában modernkori vasfeldolgozásra utaló jeleket nem láttunk. A kard markolati jellegzetességei alapján a budapesti szórványlelettel (ltsz.:79.5.1) állították párhuzamban, azonban a két kard pengéjének szerkezeti felépítése nem hasonlít egymásra. Készítéstechnikai szempontból a két kard pengéje nem állítható párhuzamba.

6.1.7. Szablyamarkolatú kard/ ismeretlen lelőhelyű példány (őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.52.1.)

A kard előkerülésének körülményei ismeretlenek, sem Bakay, sem Kovács nem említi a fegyvert. Formai jellegzetességei alapján a kard szablyamarkolatú, a metallográfiai vizsgálatokhoz egy mintát vágtak ki a penge markolattüske felé eső részéről **(VII. tábla 1.)**.

A mintában elegendő mennyiségű fém volt a vizsgálatok elvégzéséhez, azonban az él és a pengelapok felé eső területek erősen korrodáltak. Szövetszerkezete alapvetően lágy, ferrites, néhol ferrit-perlites anyagból áll, ami kiterjed a penge alsó és felső lapjára is **(VII. tábla 3-6)**. Ezt alátámasztja a keménységmérés értékei is: a minta középső területén, a penge lapjai felé eső területek értékei: 144-161 HV1. A minta él felé eső területeken található sávok arra utalnak, hogy a mintát hajtogatással készítették **(VII. tábla 5-6.)**. A penge külön érdekessége, hogy a fémes szövet közepén egy nagy méretű zárvány húzódik, amiból arra lehet következtetni, hogy

a hajtogatásos technika alkalmazása nem sikerült tökéletesre, a zárványt nem sikerült a készítőnek kikovácsolni az anyagból **(VII. tábla 2.)**.

A SEM-vizsgálat során kiderült, hogy a pengét erőteljesen átkovácsolták, szövetszerkezete az alakítás során összetöredezett**.** A szövetben egyaránt megjelenik a szemcsés és a lemezes perlit is **(VII. tábla 7.)**. A pengénél mért keménységi érték: 181 HV1.

Összegzés: A pengét egy kisebb karbontartalmú anyagból alakították ki és hajtogatással próbálták homogenizálni az anyagot. A mintában lévő nagyméretű zárvány kovácsolás során keletkezhetett és inkább a folyamat végén, ugyanis a zárvány egyben maradt, nem aprózódott fel. A kovács nem tudta rendesen kidolgozni az anyagból. Azt nem lehet sajnos tudni, hogy a kardban mennyi ehhez hasonló zárvány van, ugyanis a metszet segítségével csak egy minimális képet alkothatunk a penge szerkezetéről. Viszont az biztos, hogy egy ilyen jellegű zárvány erősen befolyásolja a kard minőségét. A mintán nem volt hőkezelésre utaló nyom.

6.1.8. Kiskundorozsma - Vöröshomok-dűlő/ szablyamarkolatú kard / (őrzési hely: Móra Ferenc Múzeum, Szeged, ltsz.: n.a.)

1960-ban a kiskundorozsmai Vöröshomok-dűlőben ember- és lócsontok, valamint egy szablyamarkolatú kard, oldalszáras zabla és körte alakú kengyelpár került elő mezőgazdasági munkálatok közben.[378] A hitelesítő ásatást Dr. Bálint Alajos vezette, melynek során további apró leletek kerültek elő (ezüst lemez töredék, áttört bronz pityke, ruhadísz töredék), azonban a felsoroltakon kívül más tárgy, illetve újabb sír nem került elő a lelőhelyen.[379]

A kiskundorozsmai kardból összesen négy minta került kivágásra: egy a penge felső harmadából, egy a penge hegyéből, egy-egy a keresztvasból és a markolattüskéből (**VIII/A. tábla 1.)**. A mintáról készült optikai mikroszkópos mozaikfelvételen jól elkülöníthető a pengeszerkezet három része (**VIII/A. tábla 2.).** A penge magját vélhetően hajtogatással készítették, a felvételeken jól kivehető a mag kisebb-nagyobb kardbontartalmú sávos szerkezete (**VIII/A. tábla 4-5.)**. Ehhez a lágy, szívós, zömében ferrites maghoz kovácsolták hozzá a nagyobb karbontartalmú, keményebb élbetétet. Külön érdekessége a pengének, hogy az utóbbit két darabból alakították ki, a penge magja és az él közötti betét nagyon hasonlít a penge élében található szövetre.[380] A mikroszkópos felvételeken jól kivehetők azok a határvonalak (fehér

[378] BAKAY 1965, 10.
[379] BÁLINT 1963, 91.
[380] TÓTH-TÖRÖK 2023, 40.

vonalak), ahol a penge alapanyagait kovácshegesztéssel összedolgozták (**VIII/A. tábla 4-6.)**, sőt, az említett határvonalon egymás mellé rendeződött zárványsor is bizonyítja a penge több darabból történő kialakítását.[381]

Az él felé haladva megjelenik a finom perlit, a közvetlen élnél pedig a bainit és helyenként a martenzit is (**VIII/A. tábla 7; 10.)**. Ez utóbbi intenzívebb, de nem feltétlenül szándékosan elvégzett gyors hűtésre utal. Ebben az esetben azt sem szabad elfelejteni, hogy a penge anyagvastagsága az élnél a legkisebb, pont ott, ahol ezek a szövetelemek előfordulnak. A penge hegyéből vett mintában gyakorlatilag ugyanaz a finom perlites szövet található, mint a penge felső harmadáról vett minta él felé eső részénél. Az itt mért keménységi értékek: 442 HV1, a penge hegyéből vett mintán mértérték pedig: 390 HV1. A penge hegyénél megfigyelhető szövetszerkezet nagymértékben hasonlít a penge mintájának élénél megfigyelt perlites szövethez (**VIII/B. tábla 13-15.)**.

A keresztvasból kivett minta szöges ellentétje volt a penge és a markolattüske technikai összetettségének. A mintában szinte csak ferrit, bizonyos helyeken nagyméretű ferrit-szemcse, valamint elenyésző mennyiségű perlit található (**VIII/B. tábla 1-6.)**. A keresztvas anyagában nem találtunk hajtogatásra utaló nyomot, így ezt valószínűleg egyszerű módszerrel, ún. „telibe kovácsolással" alakították ki.[382]

A kard markolattüskéjéből kimetszett minta erős korrodáltsága ellenére is érdekes képet mutat, ugyanis a penge esetében megfigyelt hegedési vonalak a markolattüske mintáján is jól kivehetőek (**VIII/B. tábla 7-12).** A pengével ellentétben viszont itt csak két markánsan elkülöníthető rész figyelhető meg: egy perlites sáv, illetve egy ferrites terület. Az átmeneti résznél ferritháló és Widmanstätten-ferrit látható.

Összegzés: A penge megját kis karbontartalmú lágyvasból és hajtogatással készítették. Erre a szívós magra kovácsolták hozzá a nagy karbontartalmú élbetétet, ami lényegében két részből áll. A vizsgálatok alapján feltételezhető, hogy ez a két rész ugyanabból az anyagból készül. A szövet megjelenő bainit és martenzit alapján feltételezhető, hogy a pengét gyorsan hűtötték le. A markolattüske mintáján is felfedezhetők a kovácshegesztés nyomai, a keresztvasat viszont egyszerű kovácsolással alakították ki.[383] A penge kialakítása különösen érdekes, mind a hazai, mind a nemzetközi viszonylatban is, sőt önmagában a vizsgált szablyamarkolatú kardok között

[381] HOŠEK ET AL. 2021, 12.
[382] TÓTH-TÖRÖK 2023, 40.
[383] TÓTH-TÖRÖK 2023, 49.

is. Ahogy a leírásban szerepel, a kard pengeszerkezete nagyon összetett, de általánosan megfigyelhető rajta a szívós, lágyabb meg és a kemény él kialakítása. A cseh kutatók által kidolgozott technológiai alapú klasszifikációban külön csoportot (ún. E csoport) alkotnak azok a pengék, amelyeknél – hasonlóan a kiskundorozsmai kardhoz – több alapanyag felhasználásával és az említett módon alakították ki az éleket. Az E típus[384] egyik alcsoportjába sorolták az olyan kardokat, ahol a penge központi része és az él közé egy plusz réteget kovácsoltak csakúgy, mint a tanulmány fókuszában álló kard esetében. Ahogy mi is feltételeztük a Kárpát-medencei pengék vonatkozásában, úgy a cseh kutatók is kiemelik, hogy ez a pengeszerkezet ritkaságnak számít. Az általuk megvizsgált 60 kard közül csak két esetben találtak plusz éltoldással ellátott pengét.[385] Fontos azonban megjegyezni, hogy ez a két kard díszítő kovácshegesztéssel készült, míg a kiskundorozsmai kard esetében ilyen technológiát nem találtunk.

6.1.9. Kunágota bizánci eredetű kard/ Boldog Antal földje 1. sír (őrzési hely: Móra Ferenc Múzeum, Szeged/ ltsz.: 53.170.1.)

A kunágotai kard 1925-ben került elő egy 6 síros temetőből, amiből egyet napszámosok találták meg a további ötöt pedig Móra Ferenc. A fegyver a napszámosok által talált sírban került elő, csonkán és három darabra törve.[386] Keresztvasa, pontosabban markolatszereléke eltér a nyugati típusú kardokétól, ugyanis a kunágotai kard esetében bronzból készült. Ez alapján feltételezte Kiss Attila, hogy a fegyver bizánci eredetű.[387] A sírban továbbá előkerült még két darab nyitott aranykarika, szélesfülű, villásszárú, vállas kengyelek, aranylemezek, valamint két darab ezüst pénzérme is (I. Romanosz Lakapenosz, VII. Konsztantinosz érméi; 919-944).[388]

A kunágotai kard esetében mind a pengéből, mind a bronz markolatszerelékből vett mintán készült metallográfiai vizsgálat. A mintákat a könnyű restaurálás érdekében a már egyébként is sérült részekről metszették ki **(IX/A tábla 1-2. és IX/B tábla 1.)**.

[384] Az E csoportba sorolt pengék általános szerkezeti jellegzetessége a penge magjára kovácsolt kétoldali élbetét. Ez a konstrukció már a kora középkorban is széleskörben használatos volt és egészen a 12. század legelejéig domináns maradt. Számos variánsa (alcsoportjai) kerültek elő, melyek közt egyaránt találtak díszítő kovácshegesztéssel és anélkül készült darabokat is. HOŠEK ET AL. 2021, 29-30.
[385] V.ö.: 9. fejezet.
[386] MÓRA 1926, 5.
[387] KISS 1987, 193-207.
[388] BAKAY 1965. 10; KOVÁCS 1994-1995, 167.

A kunágotai kard pengéjéből egy mintát metszettünk ki, azonban az optikai mikroszkópos vizsgálatokból szinte azonnal kiderült, hogy a penge éle teljesen korrodált, így a vizsgálatra alkalmas területek csak a penge magjára korlátozódnak (**IX/A tábla 2.)**

A metallográfiai vizsgálat során a penge magjában (fémes terület) hajtogatásra utaló nyom nincs, a pengemag nem réteges szerkezetű. A minta legbelső részét finom perlites szövet alkotja, majd az él felé eső területeken megjelenik a bainites-martenzites szövet (**IX/A tábla 3-9.).** Sajnos a vizsgálat során azt nem tudtuk megállapítani, hogy ez a szövet ténylegesen meddig terjedhetett a kard keresztmetszetén, mivel az él teljesen elkorrodált. Azonban a bainit, illetve a martenzit jelenléte arra enged következtetni, hogy a penge edző hatású hűtésnek volt kitéve, azonban ez a penge magját már feltételezhetően nem érte el.[389]

A kora középkorban viszont még nem beszélhetünk klasszikus értelembe vett edzésről, ugyanis ez csak a 14-15. századra terjedt el.[390] Az archeometallurgiai szakirodalomban az ilyen jellegű hűtést „slack-quenchingnek" nevezik. A folyamat során a kard élénél keményebb szövet (bainit, martenzit) keletkezett, de mindezek mellett a kard magja lágy marad. Ebben az esetben a hűlés lassabban megy végbe, a penge kevésbé lesz kemény, de ezzel együtt a ridegsége is csökken.[391] A minta nagy karbontartalmát egyébként a keménységmérés is alátámasztotta, ugyanis a perlites területeken 429 HV1 értéket, az él felé eső részeknél pedig ettől jóval magasabb, 654HV1-es értéket mutatott a műszer. Külön érdekessége még a kardnak, hogy a penge egykori fából készült kardhüvelyének maradványairól is sikerült SEM-felvételt készíteni, azonban azt nem lehetett pontosan megállapítani, hogy lényegében milyen fából készült a kard tokja (**IX/A tábla 11-12.)**.[392]

Összegzés: A kunágotai kard pengéjéből kimetszett mintában csak a kard magjánál maradt meg vizsgálatra alkalmas terület. A terület pereménél nagyobb karbontartalmú, bainites-martenzites szövetet lehetett látni, ami feltételezhetően valamilyen „edző hatűsú hűtés" (slack-quenching) eredménye lehet. Azt pontosan nem sikerült eldönteni, hogy a kardpengét egy vagy több darabból készítették, azonban a vizsgálatok alapján inkább arra lehet következtetni, hogy a pengéd egy alapanyag felhasználásával kovácsolták. A kard markolatszerelékét biztos, hogy öntötték, külső alakítás nyoma nem látható rajta és a korabeli javítás egyedinek számít a megvizsgált darabok között.

[389] TÖRÖK ET AL. 2022, 285.
[390] WILLIAMS 2003, 12.
[391] WILLIAMS 2012, 22.
[392] TÖRÖK ET AL. 2022, 283.

A markolatszerelékből vett minta optikai mikroszkópos felvételén alapvetően öntött szövet képét lehet látni (**IX/B tábla 1-2.).** Erre utalnak a mikroszerkezetben megjelenő dendrites szerkezet (**IX/B tábla 2.; 4.; 5.),** ugyanakkor a minta középső vonalában egy markáns kristályosodási forma jelenik meg, ami szinte két részre osztja a vizsgált felületet. A kristályosodás az öntött forma falától indult meg a belseje felé, ahol utoljára szilárdul meg az olvadék, ami makrodúsulással járt. A minta falánál kisebb koncentrációval szilárdult meg az ötvözet, amíg az ötvözők a középvonalban dúsultak fel. A dendritágak között egy második fázis rajzolódik ki, ugyanis ott ólomcseppek figyelhetők meg (**IX/B tábla 5.)**. Ezek alapján tehát a markolatszerelék alapanyagát, vagyis a bronzlemezt öntötték, viszont további alakítás nyomai nem figyelhetők meg, ami a jelentős ólomtartalom miatt érthető is, ugyanis az ólomban dús bronzlemez tört volna.[393]

A mintáról készült SEM-képeken is jelentkezik az említett makrodúsulás (**IX/B tábla 3.)**. Az anyag belsején EDS-mérés is történt, a terület átlagos összetételében[394] nagy ólomtartalom, viszont heterogén eloszlásban. Érdekes, hogy az XRF-mérések (egy-egy pontban) a felszínen csak valamivel több ólmot mért, mint ón és a belső területeken mért ólomtartalom felét mutatta ki a felszínen. Ugyanakkor az óntartalom a belső részben megközelítőleg 2-4 tömeg% és ez mennyiségileg éppen az a határeset, ami alapján érkezhetett az ólomérccel együtt, de szándékos ötvözőként is kerülhetett a fémbe.[395]

A markolatszerelékről másodjára leválasztott minta SEM-EDS vizsgálata során érdekes, heterogén anyagrészletre lettünk figyelmese. A **IX/B tábla 7. képén** 1-es számmal jelölt 4.78 wt% óntartalmú rezet mutat, ólmot viszont nem detektált ezen a ponton az EDS. A 2-es számmal jelölt rész viszont már 25.94 wt% ón-tartalmú réz, szintén ólom nélkül, a 3-mal jelölt területen viszont már 10.62 tömeg% ólmot mért az EDS. Az összetételekből és a mikroszerkezetből bizonyos, hogy ónos forraszanyag jelenik meg a vizsgált részletben. Így a **IX/B tábla 7. képén** 1-es szám jelöli a pótlás anyagát, a 2-es szám a forraszanyagot és a 3-as szám pedig az alapfémet.[396] Egy másik SEM-felvételen (**IX/B tábla 8.)** és a területekről készült EDS-mérések alapján tökéletesen elkülöníthető a pótlás és a forraszanyag is. Ezek alapján feltételezhető, hogy

[393] Kevés ólom hozzáadásával növelhető az öntés minősége, de alkalmazásával az anyag rideggé válhat. RENFREW-BAHN 2005, 323; HAUPTMANN 2021, 384

[394] Az EDS által mért összetétel: Pb: 19,37 tömeg%; Sn: 2,88 tömeg%; Cu: 77,75 tömeg%. XRF felületen mért értékek: 1. pont Cu: 81,82 tömeg%; Sn: 7,90 tömeg%; Pb: 9,34 tömeg%. 2. pont: Cu: 78,94 tömeg%; Sn: 9,59 tömeg%; Pb: 10,42 tömeg%.

[395] DAVIS 2001, 14; TÖRÖK ET AL., 2022 285.

[396] TÖRÖK ET AL. 2022, 282.

ebben az esetben egy korabeli sérülés javításával találkozhattunk, egy nagyon kisméretű anyagpótlás lehet, amit forrasztással rögzítettek, pótoltak a markolatszereléken.[397]

Összegzés: A kard markolatszerelékét nagy ólomtartalmú bronzból öntötték, vélhetőleg egy kétrészes formában – aminek a harmadik része a belső mag lehetett – egy darabban. Ezen külső alakítás nyoma nem látható, viszont egy korabeli sérülés nyomait, illetve egy pótlást sikerült azonosítanunk a markolatszereléken.[398]

6.1.10. Budapest Mexikói úti kard (őrzési hely: BTM Aquincumi Múzeum Népvándorlás kori Gyűjtemény; ltsz: M55.157.2)

A kard 1934-ben került elő egy bolygatott sírból. A sírból egy zabla, két bronzcsat, lófej, lólábak és emberi koponya töredékei kerültek elő. A feltárásnál szakember nem volt jelen, Nagy Lajos ment ki utólag, aki az előkerült leleteket a Budapesti Történeti Múzeumba szállíttatta.[399] Fettich szerint a kard pengéje a szablyákéhoz hasonlóan ívelt.[400] Kovács László felveti azt is, hogy a penge görbületét annak meghajlítása, majd kiegyenlítése okozhatta.[401]

A mintáról készült mozaikfelvételen már ránézésre is feltűnik a pengemag és az él szövetszerkezetének különbségei **(X. tábla 2.)**. A penge élét keménye perlit alkotja, majd a mag felé haladva fokozatosan jelenik meg a lágy ferrit **(X. tábla 3-8.).** A kovácshegesztés nyomai, vagyis a mintán átívelő „fehér hegedési vonal" egyértelműen azonosíthatók a mikroszkópos felvételeken **(X. tábla 6-7.)**. A vonal mentén ívekbe rendeződött zárványsor látható, ami szintén alátámasztja a kovácshegesztés tényét **(X. tábla 7.).** Ez alapján feltételezhető, hogy a pengét két darabból kovácsolták, hajtogatásra utaló jellegzetességeket nem lehetett látni a mikroszkópos felvételeken.

A nagyobb karbontartalmú perlites mező egészen a minta széléig, vagyis a penge éléig húzódik. Azonban egészen a penge élénél egy másik szövet is megjelenik, feltehetőleg bainit, ami intenzívebb hűtésre is utalhat **(X. tábla 3-4.; 9.).** Azonban szem előtt kell tartani azt, hogy ez a szövet a penge élénél található, ahol az anyagvastagság a legvékonyabb.
A SEM-vizsgálat alátámasztotta, hogy a penge éle gyorsabban hűlt, erre utal a nagyobb karbontartalmú perlit (kb. 0,8 %) szerkezete is. A hűlési sebesség miatt finomabb és durvább

[397] TÖRÖK ET AL. 2022, 282.
[398] TÖRÖK ET AL. 2022, 285.
[399] BAKAY 1965, 7; KOVÁCS 1994-1995, 159. FETTICH 1937, 53.
[400] FETTICH 1934, 53.
[401] KOVÁCS 1994-1995, 159.

perlitmezők kerültek egymás mellé, és az is kiderült, hogy az éltoldás anyagában a bainit szigetek a cementit rögökkel valóban megtalálhatók **(X. tábla 9).**

Összegzés: A pengét két alapanyag felhasználásával készítették. A penge kis karbontartalmú magjára kovácsoltak rá egy nagyobb karbontartalmú élt, kialakítva így a kardok klasszikus szerkezetét a belső lágyabb pengemagot és a keményebb élt. A penge mintájában, a közvetlen élnél bainit-szigetek fordultak elő, ami utalhat az anyag gyorsabb hűlésére utal, de ez nem tekinthető szándékos hőkezelésnek, azért, mert bainit közvetlenül az él szélénél található, ahol az anyagvastagság a legkisebb.

6.1.11. Nagykálló-Romvár közelében előkerült kard (őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.51.1)

A kardot Újhelyi István tébolydai gépész találta meg és szolgáltatta be a múzeumnak 1914-ben, amit aztán Jósa András vett leltárba.[402] A Nagykálló-Romvár környékén előkerült kard törött, ennek megfelelően a minta a kardhegy töredékének széléből került levágásra **(XI. tábla 1.)** A kivágott darabról készült mozaikfelvételen látszik az erős korrodáltság, illetve az él felől a kard magja felé hosszan benyúló repedés.

A minta nagy részére jellemző a lágy, ferrites anyag **(XI. tábla 3-4.)**, ami szinte az egész keresztmetszeten megtalálható, így nem meglepő a keménységmérés során kapott értékek: a magtól az élig 117-149 HV1 értékeket mért a műszer. Ennek ellenére néhány helyen megjelenik a perlit is, főként a penge magja felé eső területeken **(XI. tábla 5.).** Ez inkább a penge alapanyagául szolgáló bucavas inhomogenitására utal. A penge mintájáról készült SEM-felvétel is megerősítette az OM-vizsgálatok eredményeit **(XI. tábla 7-10.)**.

Összegzés: A pengét egy darab közepesen nagy karbontartalmú anyagból kovácsolták ki, szövetét lényegében ferrit és perlit alkotja. A pengét nem hőkezelték, hajtogatásra utaló nyom sem volt a csiszolaton. Kialakítását egyszerű telibe kovácsolással végezték el.

[402] Szabolcsvármegye alispánjának 1914. I. félévi jelentése, JÓSA ANDRÁS MÚZEUM, 34.

6.1.12. Nyíregyháza-Felsőpázsitnál előkerült kard (Őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.53.1)

A kard Drucker Tibor földjén került elő 1930-ban egy nyújtott körte alakú kengyelpár, 2 két szíjvég, 2 zárt karika, csüngős korongok, fejes gyűrű és sodrott karperec kíséretében. A kard pengéje törött, keresztvasa rövid, markolatgombja pedig félkör alakú.[403] A leletegyüttesről eltérő vélemények vannak, egy sírnak is veszik az egészet, de kettős sírból vagy egy nagyobb temető két sírjából is származtatják a leleteket.[404] A kard törött állapotban van a múzeumban, ebből kifolyólag a minta a penge eleve törött részéről került kimetszésre **(XII. tábla 1.)**.

A mikroszkópos felvételekből rögtön szembetűnik a fehér hegedési vonalak hiánya, a metszet alapvetően egy homogén szerkezetet mutat, ami a penge magjától az élig perlitesszövetből áll **(XII. tábla 2.)**. Hajtogatásra utaló nyomok sem kerültek elő a vizsgálat során. Nincs benne lágyabb, kisebb karbontartalmú, szívós meg, sőt, hegedési vonal vagy arra utaló nyomok sincsenek. A pengét egy darabból, de nagyon intenzíven kovácsolták és valószínűleg gyorsan hűlt le. Ezt megerősíti a keménységmérés eredményei is: a penge élének közelében mért keménység: 323 HV1; minta közepénél mért érték: 362 HV1; a magnál mért érték: 312 HV1. A kard élénél a minta korrodált, de a vizsgálatra alkalmas területen végig nagyon finom, apró lemezes perlit jellemző, a mintáról készült SEM-felvételeken is ugyanez látható **(XII. tábla 3-9.)**

Összegzés: A penge szövetében szinte csak perlitet találtunk, amit nem hajtogattak, egy darab nagy karbontartalmú anyagból intenzíven kovácsolták. A penge mintájában nem volt hőkezelésre utaló nyom, viszont gyorsabban hűlt le. Az anyag nagy karbontartalmát a mért keménységérték is bizonyítja. Ennél a kardnál nem jellemző a lágy mag és kemény él konstrukció, anyagában rideg, de kemény fegyverről van szó.

[403] BAKAY 1965, 11.
[404] U.o.; Kiss 1985, 301.

6.1.13. Nyíregyháza-Polyákbokor, peres-dűlői kard (Őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.50.1.)

A kard megtalálásának körülményei bizonytalanok. Kovács László adattára alapján a fegyver előkerülésének pontos helye ismeretlen.[405] A kard markolatgombja kétrészes lehetett, de mára csak az alsó tagja maradt meg. Kovács U-típusú kardként azonosítja. Pengéje töredékes, de széles vércsatorna fedezhető fel rajta, ennek megfelelően a penge töredékes részén történt a mintavételezés **(XIII. tábla 1.)**.[406]

A vizsgálatok alapján elmondható, hogy a fegyvert több alapanyag felhasználásával kovácsolták. Ezt bizonyítják az optikai mikroszkóppal készített mozaikfelvételen, illetve a nagy nagyítású képeken látható fehér hegedési vonalak **(XIII. tábla 2.; 4-5.).** A penge magjánál nem sikerült pontosan eldönteni, hogy azt két anyagból dolgozták össze vagy esetleg hajtogatták, az viszont egyértelműen kivehető – elsősorban a SEM-felvételekből -, hogy a mag szövetszerkezete kisebb és nagyobb karbontartalmú anyagból áll **(XIII. tábla 6)**. Erre illesztették hozzá az egyértelműen nagyobb karbontartalmú anyagot, melynek szövetszerkezete alapvetően finom perlitből áll **(XIII. tábla 6-7; 9-10.)**. A keménységmérés értékei is mutatják az él felé növekvő karbontartalmat, mert a magnál mért érték csak 122 HV1, míg az él felé haladva 350-380 HV1-et is eléri. A kardot valószínűleg hajtogatott alapanyagból készítették, amire rákovácsoltak egy nagy karbontartalmú perlites élt. A kard mintáján edzésre utaló nyomokat nem találtunk, a penge szabad levegőn hűlt.

Összegzés: A vizsgálatok alapján a kard több, eltérő minőségű alapanyag felhasználásával készült, hajtogatott magra rákovácsolt, nagy karbontartalmú éllel. A mikroszerkezeti megfigyelések és a keménységmérések egyaránt a mag és az él anyagának tudatos elkülönítését igazolják, az él felé jelentősen növekvő karbontartalommal és keménységgel. A penge esetében edzésre utaló nyomokat nem sikerült kimutatni, így a hűlés feltehetően szabad levegőn történt. Mindez egy fejlett, de hőkezeléssel nem differenciált kovácstechnológia alkalmazására utal. Hasonló szerkezeti felépítésű a budapesti szórványlelet (79.5.1). Ennél a példánynál is kimutatható a kis karbontartalmú, lágy, de hajtogatott vasból készült mag és a nagy

[405] id. Simkó András pereshalmi földjének szántása közben nagyobb temetőt semmisített meg 1903-1904-ben. Elmondása szerint sok vaskardot talált, amiket aztán elásatott. 1909-ben Saáry Sándor orvos és régiséggyűjtő érdeklődött a kardok holléte után, de a gazda már nem tudta megmutatni a helyét. Elbeszélését alátámasztja a padlásán őrzött szablya és kétélű kard (a disszertációban vizsgált kard), amit aztán átadott Saárynak. KOVÁCS 1994-1995, 172.
[406] U.o.

karbontartalmú pengeél. Mindkét kardra jó készítéstechnikai párhuzam a Mikulčice-i lelőhely 425. számú sírjából előkerült kard.[407]

6.1.14. Sóstó (Vízművek) 1. sír-ban talált kard (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.: 56.92.1)

A kard 1956-ban a Székesfehérvár-Vízművek sóstói telepének északi szélén lévő homokbányából kitermelés közben egy 10. századra datált sírból került elő. A megtalálók egy jó megtartású kétélű egyenes kardot és két ezüstberakásos kengyelt szolgáltattak be. A kard keresztvasa enyhén lefelé hajló, markolatgombja nyereg alakú.[408]

A vizsgálathoz szükséges mintát a kard hegyétől mintegy 10 cm-re metszették ki **(XIV. tábla 1.)**. A kard pengéje biztosan egy alapanyag felhasználásával készült (**XIV. tábla 2.).** A penge magjánál perlites szövet található Widmanstätten-ferrittel, amit a perlit szemcsék határánál keletkező ferrit-tűk és ferritháló jellemez (**XIV. tábla 3-4.),** ami lassabb hűlés során keletkezik. Az itt mért keménységi érték 173-245 HV1.

A penge magjától kifelé haladva a ferrites területeket fokozatosan váltja fel a tisztán perlites szövet (**XIV. tábla 5-8.)**. A kard éle ugyan kemény (287 HV1), köszönthetően a perlit jelenlétének, de hőkezelésre, illetve hajtogatásra utaló nyom nem volt a mintában.

Összegzés: Annak ellenére, hogy a kardot egy darabból kovácsolták tökéletesen megtartotta a lágy szívós mag és a keményebb él szerkezetét. A pengében nem volt konkrétan hőkezelésre utaló nyom, a penge a kovácsolás után lassan hűlt le. Annak ellenére, hogy a penge egyetlen alapanyagból készült, a „lágy mag – keményebb él" szerkezet kialakulása magyarázható az alapanyag inhomogén karbontartalmával, a kovácsolás során lejátszódó diffúziós folyamatokkal, valamint a penge geometriai adottságaiból fakadó eltérő lehűlési viszonyokkal. Mindez lehetővé tette funkcionálisan differenciált pengeszerkezet kialakulását célzott hőkezelés alkalmazása nélkül.

[407] 425. sírban előkerült kardot a szerzők a N-típusú kardként értelmezik a Petersen tipológia alapján. KOŠTA – HOŠEK 2014, 115 – 116.
[408] BAKAY 1965, 14; KOVÁCS 1994-1995, 175.

6.1.15. Sóstó (Vízművek) 1971. évi szórványlelet (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.: 73.4.1)

A kard előkerülésének helye szintén a Sóstó-Vízműveknél található homokbánya volt.[409] 1971-ben Kralovánszky Alán tovább ásott a lelőhelyen. 12 sírt tárt fel és ekkor találta meg a disszertációban vizsgált szórványleletet is. Kovács László szerint a kard a Petersen-tipológia szerinti X típusba tartozik. Markolatgombja lapos félkör alakú, markolatvasa lefelé hajlik.[410] A kard jó megtartású, szinte teljesen ép. A vizsgálathoz szükséges mintát a penge hegyétől kb. 10 cm-re metszettük ki **(XV. tábla 1.)**.

A mozaikfelvételen tökéletesen elkülönül a penge lágy, kis karbontartalmú ferrit-perlites magja és a nagyobb karbontartalmú perlites él **(XV. tábla 2.)**. A penge és a mag között van egy nagyon vékony átmeneti zóna, ami alapján feltételezhető, hogy a kardot több darabból kovácsolhatták össze, valószínűleg kovácshegesztették. Viszont azt ki kell emelni, hogy az érintkezés konkrét nyoma kevésbé látható, nehezen kivehető, habár a mag és az él között megfigyelhető a szakirodalomban oly gyakran említett fehér hegedési vonal **(XV. tábla 4-6.)**. Ugyanakkor, kizárólag csak a kardél karbontartalmának növelése nehezen kivitelezhető, hosszú időbe telik és biztosan nyoma maradna a mag felé eső területeken is. A ferrit-perlites és tisztán perlites részek határán futó sáv két oldalán sok zárvány található, csakúgy, mint a ferrit-perlites részen.

A SEM-felvételeken is csak nagyon halványan vehető ki az átmeneti zóna. A penge közvetlen élében már tisztán perlites, durva szövetszerkezet figyelhető meg. Ez azt jelenti, hogy a penge sokáig volt tűzben magasabb hőmérsékleten és valószínűleg faszenes közegben, amiből az anyag felvette a karbont, így tudott kialakulni a durva, perlites szövet **(XV. tábla 7-10.)**. A minta és egyben a penge erős korrodáltsága miatt azt lehet megállapítani, hogy az a kemény nagy karbontartalmú szövet elérte-e a penge lapjának közepét.

Összegzés: A mikroszkópos felvételek alapján egyértelműen megállapítható, hogy a penge magja egy kis karbontartalmú lágyabb ferrit-perlites anyagból áll, éle pedig nagy karbontartalmú, durva perlites anyagból. A keménységmérés eredményei is tükrözik a leírtakat, vagyis a magnál mért értek 158 HV1, a minta közepén 132 HV1, a perlites közegben mértérték pedig 383 HV1. A pengét több darabból kovácsolták, azonban hőkezelésre, illetve hajtogatásra utaló nyom nem volt a csiszolatban.

[409] BAKAY 1965, 14.
[410] KRALOVÁNSZKY 1971, 63-64; 1972, 264. KOVÁCS 1994-1995, 175.

6.1.16. Székesfehérvár – Rádiótelep I. A sír kardja (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.: 5859.)

1923-ban az urhidai út közelében dolgozó két sírt találtak, amely egymástól megközelítőleg 5-6 méterre feküdt.[411] Az egyik sírból (A sír) gazdag leletanyag került elő, a másik viszont mellékletnélküli volt. Az A sírban nyugvó férfit a rádiótelepi temető nagyobb részétől 100-150m-re temették el. A sírból előkerült tárgyak között volt a megvizsgált kétélű egyenes kard, kisebb aranylemez-darabok, egy vas abroncsos faveder, 2db bronzberakásos villásszárú kengyel, nyéltámaszos balta, csikózabla, egy csonttárgy, illetve lókoponya és lábszárcsontok is.[412]

Az előkerült kard a hazai leletanyagban egyedülállónak tekinthető, díszítésétechnikáját Kalmár János[413] vizsgálta, az ő megfigyeléseit Kovács László egészítette ki és foglalta össze.[414] Kovács László az 1995-ben megjelent tanulmányában külön foglalkozik az A sírral és mellékleteivel. A leletek részletes vizsgálatából azt a következtetést vonta le, hogy a sírban egy előkelő rusz harcos feküdt, akit a magyar temetkezési szokásoknak megfelelően hantoltak el.[415] Ezt a felvetést támasztja alá az is, hogy a kard egyik párhuzama a Dnyeper legnagyobb szigete, a Hortica mellett került elő, illetve a sírból előkerült nyéltámaszos balta is.[416] A sírmellékletek alapján Kovács a 10. század második felére datálja a kardot.[417] Bakay Kornél a kardot a Petersen-tipológia szerinte E csoportba határozta meg, Kovács László viszont T-1 típusnak gondolja, pontos besorolása azonban még mindig bizonytalan.[418]

A kard rossz megtartású, erősen korrodált, a pengéje pedig törött. Ennek megfelelően a minta a penge eleve törött részéről került kimetszésre **(XVI. tábla 1.)**. Már a penge általános szövetszerkezetén **(XVI. tábla 2.)** látható, hogy a penge több anyag felhasználásával készült. A penge magja lényegében ferrites-perlites szövetből áll, a lágyabb ferritszemcsék között

---

411 MAROSI 1923, 246.
412 BAKAY 1965, 12; KOVÁCS 1994-1995, 175.
413 MAROSI 1938, 49-55.
414 *„A kétélű kard egyenes markolatvasára húzták fel a vaslemezből kovácsolt, domború testű, felülnézetben csónak alakú keresztvasat, melynek mindkét oldalába, azt át nem lyukasztva, még hevített állapotban lyukasztóvassal három sorban 8-9-8 kerek lyukat mélyítettek, majd a keresztvas felületét simára csiszolták. A kerek lyukakat ferdén a keresztvas testébe fúrt csatornákkal kötötték össze, amelyen keresztül ezüsthuzalt vezettek. […] A markolatot minden bizonnyal alkalmasan megfaragott, két részből összeillesztett fahengerkével takarták, s ezt „kalászszerű mintát adó", két egymással ellentétesen felcsavart, kettős sodratú ezüsthuzallal tekerték be, majd a két végén három összecsavart kettős ezüsthuzalsodrattal kötötték le. […] Ezután szerelték fel a markolatvas végére az üregesen kovácsolt markolatgombot."* KOVÁCS 1995, 296-297.
415 KOVÁCS 1995, 304.
416 A Hortica mellett előkerült lelet közreadója Anatolij Nikolaevic Kirpicnikov volt, aki a kardot T-1 típusként determinálta. KOVÁCS 1995, 298.
417 KOVÁCS 1995, 301.
418 KOVÁCS 1994-1995, 175.

perlitszigetek alakultak ki a hűlés során. A penge magjában kisebb-nagyobb karbontartalmú sávok képződtek alakítás során, amely egyértelműen a hajtogatásos technika ismertetőjele. Ezt támasztja alá a zárványok elhelyezkedése is. **(XVI. tábla 3-6.).** A kard magjában van perlit is, de lényegében a ferrit dominál. Az él felé haladva fokozatosan nő a szövet karbontartalma, fokozatosan jelenik meg a kilágyult perlit és a cementitháló **(XVI. tábla 7.)**. A magnál mért keménységi érték 146 HV1 és ahogy az él felé növekszik a karbontartalom, úgy nő a keménysége is, így az él felé eső területekn mért értékek: 215-267 HV1. Az OM és a SEM képeken is tisztán kivehetők azok a hegedési vonalak, ahol a penge egyes részeit kovácshegesztéssel dolgozták össze.

Összegzés: a kardot biztosan több darabból kovácsolták. Ebben az esetben is érvényesül a lágy mag + keményebb él szerkezet, de az sem kizárható, hogy ennél a kardnál is alkalmaztak egy köztes élbetétet, ami a kard magja és az él között helyezkedik el, csakúgy, mint a kiskundorozsmai kard esetében is**.** A penge és egyben a minta korrodált állapotának tükrében a fentebbi megfigyelés inkább csak felvetésként, mintsem biztos tényként kezelendő. Azonban a metszetből egyértelműen látható a penge összetett szerkezete, ami az alapanyagok tudatos használatára utal. A kard élénél ugyan megnő a karbontartalom, de hőkezelésre utaló nyom nem volt a minta szövetszerkezetében.

6.1.17. Székesfehérvár – Rádiótelep II. (Bikasziget) 36. sír (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.:5988)

A fentebb említett két sírtól megközelítőleg 150 m-re tárták fel a tényleges rádiótelepi temetőt. 1923-ban 5 sírt, majd 1924-ben 68 sírt találtak meg. A temető 36. sorszámú sírjából szintén előkerült egy kétélű egyenes kard is.[419] A 36. sír 110 cm mélyen volt, a benne nyugvó harcos mellé úgy helyezték el a kardot, hogy a markolata a kézfejénél, hegye pedig a vállcsontnál volt.[420] A temető korát Bakay Kornél a 10. század második fele és a 11. század első fele közé helyezi, ezt Kovács László is megerősítette.[421] A kard alapvetően jó megtartású, a vizsgálatokhoz szükséges, mint a penge középső zónájából került kimetszésre **(XVII. tábla 1.)**.

A pengéből kimetszett mintán kevés korrózió van, éppen emiatt keresztmetszete jól vizsgálható. A minta közepe, vagyis a penge magja zömében ferrites, néhol megjelenik a perlit is de nagyon

[419] BAKAY 1965, 13.
[420] U.o.
[421] KOVÁCS 1994-1995, 175.

kis mennyiségben **(XVII. tábla 5.)**. Ez a ferrites terület az él felé haladva fokozatosan eltűnik, majd megjelenik egy nagyobb karbontartalmú, cementithálós szövet, ami a minta élénél és a lapjánál is egyaránt megtalálható – egyfajta kérget alkot a kard magja körül **(XVII. tábla 2; 3-4.)**. A keménységmérés során a kard magját körülvevő kéreg egységesen 241-241 HV1-es értéket mutatott, míg a magnál 136 HV1-et mért a keménységmérő, az élénél pedig 244 HV1-et. Ez tisztán kivehető a pengéről készült mozaikfelvételen is **(XVII. tábla 2.),** ahol a penge éle felé eső részen markánsan megjelenik a kovácshegesztésre utaló fehér vonal **(XVII. tábla 4.).** Ebből arra lehet következtetni, hogy a kardot két külön alapanyag felhasználásával kovácsolták.

A minta anyagában hajtogatásra utaló nyomok is felfedezhetőek. A készítés során valószínűleg több hajtás is történt, de csak néhány látszik markánsan, ugyanis a karbondiffúzió valószínűleg elmosta a hajtogatás nyomait **(XVII. tábla 4.; 7.)**. A minta közepén keresztirányban hosszú, nyújtott zárványsor látható, ami az alakítás során záródott a fémbe.

A nagyobb nagyítású elektronmikroszkópos felvételeken szépen kivehető a szemcsés perlit, ami az alakítás során töredezett össze, a szemcsehatárokon pedig megjelenik a cementitháló. A penge magjáról készült SEM-felvételeken szintén ferrit-perlites szövet található. A penge élében is a lapok felé eső területekre jellemző cementithálós-szferoidos perlit jellemző **(XVII. tábla 6.)**. Ezeken túlmenően, az éllel kapcsolatban feltűnt, hogy a zárványok ívben rendeződtek el a szövetben, Ebből az következtethető, hogy nem csak a penge magját, hanem a penge élét is hajtogatásos technikával készítették **(XVII. tábla 10.)**. Ez már önmagában is különlegesnek számít, a megvizsgált kardpengék között – a 36. sírban talált fegyveren kívül – nem talált olyan szerkezetű pengét, ahol mind a magot, mind a pengét hajtogatták volna.

Összegzés: A mintában „slack-quenchingre" utaló jelenségek nem voltak kimutathatók, ugyanakkor a vizsgálatok során felmerült a penge esetleges cementálásának lehetősége. Ennek egyértelmű igazolására azonban nem volt mód, mivel nem dönthető el, hogy a kardmagot körülvevő nagy karbontartalmú kéreg tudatos technológiai beavatkozás eredménye, vagy csupán a kovácsolási folyamat során, faszenes közegben és magas hőmérsékleten kialakult másodlagos karburizáció következménye.

Az ilyen jellegű értelmezési bizonytalanság nem egyedi a kora középkori kardpengék vizsgálatában. Jó párhuzamot kínál a norvégiai Telemark tartományban (Brokkében) előkerült kard esete, ahol az él mentén megfigyelt megnövekedett karbontartalmat a szerzők szintén

másodlagos szenítéssel magyarázták, miközben szándékos edzésre utaló nyomokat nem találtak.[422]

Mindez arra utal, hogy az él menti karbondúsulás nem minden esetben értelmezhető egyértelműen tudatos technológiai beavatkozásként, hanem bizonyos esetekben a kovácsolási környezet és a hőmérsékleti viszonyok mellékhatásaként is létrejöhetett. A jelen vizsgálatban szereplő penge kialakítása mindezek ellenére technológiailag különlegesnek tekinthető, mivel a szakirodalomban nem ismert olyan példa, ahol a penge magját és élét egyaránt hajtogatással alakították volna ki.

6.1.18. Újfehértó-Micskepusztánál előkerült kard (Őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.47.1)

Bakay Kornél és Kovács László írásában is olvashatunk a kardról. Bakay szerint a pengetöredék Micskepuszta (Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye) hátárnál került elő 1869-ben.[423] A szakirodalom szerint, a kard keresztvasán tausírozás nyomai láthatók és a töredékes kardhoz még egy további pengetöredéket azonosítottak.[424] A vizsgálathoz szükséges minta a penge eleve töredékes részének pereméről került kimetszésre **(XVIII. tábla 1.)**.

Az optikai mikroszkópos felvételen látható, hogy a minta széle, illetve sok helyen a minta közepe is erősen korrodált **(XVII. tábla 2.).** A minta anyagában a nagy szemcsés, lágy ferriten kívül más szövetelem nem található meg **(XVII. tábla 3-6.)** a minta magjánál és élénél mért keménységi értékek pedig 110-120-124 HV1. Zárványok viszont bőséggel megtalálhatóak benne, de nem kizárt az sem, hogy ezek csak az erős korrózió eredménye. A penge feltételezhetően egy darabból készült, amin semmilyen hőkezelést nem végeztek el. Az anyag rossz megtartása miatt, sajnos az elektronmikroszkópos vizsgálat során sem tudtunk meg többet a kard pengéjéről **(XVII. tábla 6-7.)**. A gyors korrózió miatt a minta felületén szinte semmit nem lehetett látni, annak ellenére, hogy a darabot többször csiszolták, előkészítették.

Összegzés: Sajnos a minta roppant korrodált állapota miatt nehezen lehetett a pengéről készítéstechnológiai megfigyeléseket tenni. A vizsgálható részek alapján az feltételezhető, hogy

[422] MARTENS-ASTRUP 2021, 105.
[423] BAKAY 1965, 16.
[424] KOVÁCS 1994-1995, 178.

a pengét egy darabból kovácsolták ki, hőkezelésre és hajtogatásra utaló nyomok nem voltak kivehetők a csiszolaton.

6.1.19. Veszprém – ismeretlen lelőhelyű kard (őrzési hely: Laczkó Dezső Múzeum, Veszprém; ltsz.: n.a.)

A veszprémi kardról megtalálásáról, illetve múzeumba való bekerülésének körülményeiről nincsenek adataim. A kard alapvetően jó megtartású, a vizsgálatok elvégzéséhez elegendő mennyiségű fémet tartalmazott a penge. A minta a penge középső részéről került kivágásra **(XIX. tábla 1.)**.

Az optikai mikroszkópos vizsgálat során készített mozaikfelvételen jól látszik, hogy a penge magjának és élének anyagszerkezete különbözik egymástól **(XIX. tábla 2.).** Ez alapján feltételezhető, hogy a kardot kovácshegesztéssel két részből állították össze.

A penge magja lényegében kis karbontartalmú lágyvas, szövetszerkezete nagy szemcseméretű ferritből áll. Az él felé haladva relatíve széles diffúziós zóna következik, vagyis az a terület, ahol a penge lágy magja találkozik az él alapanyagával és ennek megfelelően itt már fokozatosan növekszik a karbontartalom is **(XIX. tábla 3-6.)**. A penge élében perlit található, ami a szél felé haladva egyre finomodik **(XIX. tábla 6; 8.)**. Ez a terület gyorsabb hűlésének köszönhető, kialakulásában a kovácsolás során bekövetkezett erősebb mechanikai hatás is közrejátszhatott. Míg a penge belső részében található lágy szövet a penge szívósságát, addig a perlites mikroszerkezet a kard keménységét adja. A két szövetelem között kialakult diffúziós zónában - ahogy az egyik területből haladunk a másikba - eltérő mennyiségben jelenik meg egymás mellett a ferrit és a perlit. Az elektronmikroszkópos felvételek is igazolták, hogy a penge éle és magja teljesen más anyagból készült. Az élben a perlit mellett cementitháló is található **(XIX. tábla 9.).** A keménységmérés során kapott értékek tükrözik a lágy mag és kemény él konstrukciót, így a magnál mért értékek: 117-126 HV1, míg az él keménységértékei: 347-464 HV1.

Összegzés: Az biztos, hogy a pengét több darabból kovácsolták, majd a penge magját és nagyobb karbontartalmú élét kovácshegesztéssel illesztették össze. A mintában nem voltak hajtogatásra utaló nyomok, ahogy hőkezelésre utaló nyomok sem. Ennél a kardnál is megjelenik a klasszikus lágy mag + keményebb él szerkezet.

6.1.20. Vörs-Papkert B temetőjéből előkerült kard (őrzési hely: Rippl-Rónai Múzeum, Kaposvár; ltsz.: 1957.02.01)

A Vörstől nyugatra található Papkert (Vörs-Papkert B) elnevezésű határrészen ásatások kezdődtek meg 1983-ban, mely során a kutatók mintegy 7000 m^2 területet tártak fel.[425] Az itt előkerült kora középkori leletanyag alapján megállapították, hogy az avar kor végén kezdtek ide temetkezni és a terület – temetkezési célra – egészen az Árpád-kor elejéig használatban volt.[426] A temető 167. számú sírjából egy kétélű kard is előkerült, amit a kutatásom keretein belül sikerült készítési szempontból is megvizsgálni. [427] A sírból előkerült továbbá még egy ovális karikákból álló bronzcsat, egy állatfejdíszes bronzbújtató és egy vaskés. A temetőben előkerült sírok keltezésével kapcsolatosan számos kérdés felmerült, azonban az egyik legfrissebb kutatás felveti azt az elméletet, hogy a 167-es sír, annak kardja és mellékletei inkább a 9. századra keltezhető.[428] A kard markolatformája alapján a Petersen-féle tipológia H típusába sorolható.[429]

A kard jó állapotban került elő, a mikroszkópos felvételeken ugyan látszik a mintát borító korróziós réteg, de így is elégendő fémes rész volt a benne. A vizsgálatokhoz szükséges minta a penge középső részéről került kimetszésre **(XX. tábla 1.)**. A penge magjának szövetszerkezete zömében ferritből áll **(XX. tábla 2-3.)**, az él felé haladva viszont fokozatosan növekszik a karbontartalom és ezzel együtt pedig megjelenik a perlit, főként szemcsés, de néhol lemezes formában **(XX. tábla 4-7.)**. A perlit mennyisége az él irányában folyamatosan növekszik **(XX. tábla 9-11.)**. A magnál mért keménységi érték, vagyis a 138 HV1, alátámasztja, hogy lágy anyagból kovácsolták, az él felé mért keménység viszont valamivel több, ott 148 HV1. A minta középső részének mikroszerkezetében sok deformált, hajlított alakú zárvány látható **(XIX. tábla 13.)**. Ezeket a formákat a penge formázásához szükséges kovácsolás eredményezte. A zárványok elhelyezkedése alapján valószínű, hogy az anyagot hajtogatták, sőt az sem kizárt, hogy a kovács ugyanazon alapanyag két rétegét kovácsolta egymásra. Azonban ennek ténye még a mikroszkópos vizsgálatok alapján is bizonytalan.[430]

Összegzés: A csiszolatban nem volt kovácshegesztés nyoma, nem találtuk meg az erre utaló hegedési vonalakat. Ezek alapján inkább az feltételezhető, hogy a kardot egy darabból

[425] KÖLTŐ-SZENTPÉTERI 1996, 101.
[426] KÖLTŐ-SZENTPÉTERI 2014a, 31.
[427] Köszönettel tartozom Költő Lászlónak és Szentpéteri Józsefnek, akik szívességéből lehetőség adódott a 167. sír kétélű kardjának archeometriai-archeometallurgiai vizsgálatára.
[428] LANGÓ ET AL. 2023, 166.
[429] LANGÓ ET AL. 2023. 157.
[430] LANGÓ ET AL. 2023, 159-160.

kovácsolták, valószínűleg az anyagot homogenizálás céljából hajtogatták, azonban az erre jellemző réteges-sávos szerkezet nem jelenik meg a penge szövetében. A penge általános szerkezetére jellemző a lágy, kis karbontartalmú mag és a keményebb él.

7. A kardpengékben talált salakzárványok vizsgálata

7.1. A salakzárványokról – definíció, kutatástörténet, módszertan

Salakzárványoknak nevezzük azokat a fémbe záródott apró szennyeződéseket, melyek a vasérc kohósítása, vagy a vas feldolgozása során kerültek bele az anyagba. Ezek a zárványok szinte kivétel nélkül megtalálhatók a régészeti vastárgyakban, legyen az egy vasbuca, félkésztermék vagy késztermék.[431]

A kora középkorban használt bucakemencés eljárás, vagy másnéven „direkt eljárás", során a vas-oxid tartalmú ércekből, agyagból és homokból készített kemencékben faszén adagolásával alakítható, kisebb-nagyobb karbontartalmú, erősen heterogén bucavasat kohósítottak.[432]

A kohósítás legjellemzőbb melléktermé a vas-oxidban, valamint az ércből visszamaradt szennyeződésekben dús salak, ami a faszénnel együtt sokszor a redukálódott fémbe is belekerül. A bucasalakok morfológiájáról, kémiai összetételének jellegzetességeiről számos tanulmányt írtak, amiket a szakirodalom alapján különböző csoportokba lehet sorolni. Ezek lehetnek folyósalakok, kemencesalakok vagy átmeneti salakok, de van olyan csoportosítás is, ami az egyes munkafolyamatokhoz kötik a különböző salaktípusokat. Ennek megfelelően a salakokat lehet kötni a kohósításhoz, a salaktalanító tömörítéshez vagy a későbbi kovácsoláshoz is[433] A szakirodalom külön kezeli a kovácssalakot, ugyanis a kovácsolás technológiai szempontból más területhez tartozik és az így keletkezett salak összetételben és morfológiai szempontból is különbözik a kohósítás salakjától.

Amikor a bucavasat kiemelik a kohóból, egyfajta tisztító kalapálásnak vetik alá, hogy homogenizálják a fémet és megtisztítsák a különböző szennyeződésektől (pl.: salaktapadványoktól, salak és faszén zárványoktól).[434] Az így kialakított bucát tovább tömörítik félkésztermékké (kocka, cipó vagy rúd alakúra), majd ebből kovácsolják ki a kívánt késztárgyat. Azonban a vasból szinte sosem tudták teljes mértékben kikovácsolni a salakot, ezért ezek maradványai rendszerint megtalálhatóak a fémben, melyek származhatnak a kohósításból, de a készítési folyamat későbbi fázisaiban is belekerülhettek az anyagba.[435]

[431] TÓTH ET AL. 2024, 1154.
[432] TÖRÖK 2011, 14.
[433] BUCHWALD 2005, 96-97,100, 138; BLACKELOCK ET AL. 2009, 1745-1746.
[434] BUCHWALD 2005, 73-96.
[435] BLACKELOCK ET AL. 2009, 1746.

Ennek tükrében, a különböző fémtárgyakban nagyon változatos típusú, eredetű, formájú és kémiai összetételű zárványokat lehet találni a csiszolatokban, melyek fontos információértékkel bírhatnak.

A régészeti vagy kísérleti vastárgyak zárványain, vagy a kohósításból származó salakokon végzett archeometallurgiai vizsgálatok fontos célja – a kohósítás fizikai-kémiai folyamatainak megismerése mellett – a vastárgy előállításához használt érc, vagy az adott vastárgy provenienciájának kutatása.[436] Számos tanulmány veszi alapul ehhez a zárványok kémiai, ásványi összetételét, vagy éppen a vas különböző izotópjait. Azonban az ilyen jellegű vizsgálatokhoz nagyon széles adatbázisra van szükség, az adatokkal nagyon körültekintően kell bánni, ugyanis nagyon sok esetben félrevezető vagy általános eredményeket lehet kapni. Ennek okaként megemlíthetők a zárványok erős heterogenitása, ugyanis kialakulásukat az előállítás összes lépése befolyásolhatja, ahogy a kovácsolás is, valamint az aközben használt faszén, vagy folyósító-salakképző adalékok is (pl. homok).[437] Mégis a zárványvizsgálatokkal kapcsolatban született néhány olyan tanulmány, amik elvitathatatlan eredményeket tudott prezentálni, melyek a kardokhoz kapcsolódó zárványvizsgálatoknál is igen hasznosnak bizonyultak.[438] Az egyik ilyen Buchwald és Wivel 1998-as tanulmánya, melyben 900 minta metallográfiai és kémiai vizsgálatát végezték el. A vizsgálati eredményeikből következtetni tudtak a zárványok jellegzetességeire, például arra, hogy a ferrites szövetben inkább wüstitben gazdag zárványok találhatók, míg perlites közegben fayalitos-üveges zárványokat lehet találni. alakjuk szempontjából, a ferritben talált zárványok zömökebbek, robosztusabbak, a perlit (nagyobb karbontartalmú anyag) zárványai pedig inkább nyújtott formájúak és laposabbak, esetleg kovácsolás hatására töredezettek is lehetnek. Megfigyelték továbbá, hogy a direkt eljárással kohósított bucákban, valamint az abból kovácsolt termékekben talált zárványok kémiai összetételét komolyan befolyásolja az olvasztáshoz használt érc összetétele.[439]

A fémtárgyakban megmaradt zárványok összetétele nagyon eltérő lehet, amit befolyásolhatott az érc, a kohósítás során fellépő fizikai-kémiai folyamatok, a faszén, a kemence falazata és később a kovácsolás is. Azonban a zárványokban megtalálhatók olyan kémiai komponensek, amik többé-kevésbé mindig jelen vannak a zárványban és konstans közeli értéket mutatnak, amik akár egy-egy zárvány jellegzetességét is adhatják. Ezeket a szakirodalom „nem redukált

[436] PERNICKA 2014, 261.
[437] BLACKELOCK ET AL. 2009.
[438] DESAI 2018, 928-932.
[439] BUCHWALD-WIVEL 1998, 94-95.

elemeknek" (non reduced compound) nevezi és ide tartozik. [440] Ezek az összetevők a következők lehetnek: MgO, Al_2O_3, SiO_2, K_2O, CaO, TiO_2, és MnO, ha az értéke eléri és meghaladja a 0,1 %-ot.[441] Ezeket az összetevőket mind megtaláltuk az általunk vizsgált kardok pengéinek zárványaiban is. A sort azonban még ki lehet egészíteni a vas-oxiddal és a foszforral is, melyek szintén megtalálhatók a zárványokban és legfőképpen metallurgiai eredetűek. A korábbi tanulmányok a felsorolt elemek tömegszázalékos összetételét elemezték, válaszokat keresve a vizsgált tárgyak eredetére. Kiemelték viszont azt is, hogy az ilyen jellegű zárványvizsgálatok sikeres kivitelezéséhez a tárgy valamennyi zárványát célszerű lenne elemezni.[442]

Kémiai összetétel szempontjából fontos megállapítás az is, hogy a zárványokban előforduló TiO_2 és MnO inkább az ércből származhat, míg K_2O, MgO, és a CaO a faszénből, esetleg kemencefalból eredeztethető.[443]

Külön kell említeni a kovácssalakokat, valamint az ehhez kapcsolódó kutatást is. A kovácssalakok, valamint a reve technológiai szempontból elkülönül a metallurgiai eredetű salakoktól (zárványok szintjén is). Selskiené tanulmányában litvániai salakokat vizsgált és kimutatta, hogy a kovácssalakoknak kisebb P- és Mn-tartalma volt, ezzel szemben több K-t tartalmaztak, mint az olvasztásból származó salakok.[444]

Ásványi szerkezet (fázisok) szempontjából is lehet különbséget tenni a zárványok között. A fémtárgyakban talált zárványok általánosan lehetnek üvegesek, fayalitos-üveges szerkezetűek, vagy ezek keverékei, amit a szakirodalom többfázisú zárványnak nevez. Az ilyen jellegű zárványokban egyszerre van jelen az üveg, a fayalit és a wüsztit is.[445]

A hazai szakirodalomban esettanulmány jelleggel jelentek meg kardokhoz kapcsolódó zárványvizsgálati eredmények. Az egyik fontos példa erre a 6. századi gepida kard (lelőhely: Pusztataskony-Ledence, 1. sz. sír) anyagvizsgálata, melynek mintájában talált zárványokban magas SiO_2 tartalmat mértek, amit a szerzők a kovácsoláshoz használt mesterséges salakképzőhöz kötöttek.[446]

[440] DILLMANN – L'HÉRITIER 2007, 1821.
[441] BLACKELOCK 2009, 1748.
[442] DILLMANN – L'HÉRITIER 2007, 1821
[443] BLACKELOCK 2009, 1756.
[444] SELSKIENÉ 2007, 27.
[445] SCHWAB ET AL. 2006, 439-441.
[446] TÖRÖK-KOVÁCS 2011, 340.

A hazai zárványvizsgálatok fókuszában kiemelendő továbbá Haramza Márk kutatása, ugyanis honfoglaláskori szablyák mintáin elvégzett zárványvizsgálat segítségével próbálta meg kideríteni a 9-10. századi vaskohászat kihozatalára vonatkozó összefüggéseket. Ezen felül a salakzárványok alapján olyan nyomokat keresett, melyek a 9-10. századi vasművességre jellemző biogén gyepvasérc kohósítását feltételezik.[447]

A Kárpát-medencei kétélű egyenes kardokkal kapcsolatban is jelent meg néhány adat a pengékben talált zárványokról, de ezeket csak esettanulmány jelleggel publikáltam.[448] Átfogó, a kardok zárványait részletekbe menően tárgyaló tanulmány pedig még előkészületben van.

Az itt bemutatott összefüggések és kutatási eredmények nagyon jól reprezentálják, hogy mennyire sokféle zárvány található meg egy-egy vastárgy csiszolatában. Amennyiben a cél az adott vastárgy származásának meghatározása, akkor a zárványvizsgálat mellett izotópvizsgálatokat is célszerű elvégezni. Jean Milot és munkatársai bizonyították, hogy a próbakohósítás során felhasznált érc vas izotópjai nem különböznek azoktól, amik a félkész, illetve a késztermékben találtak. Éppen emiatt az izotópvizsgálat hasznosnak bizonyulhat a különböző régészeti vastárgyak vizsgálatánál.[449] Ezt a módszert alkalmazva vizsgálták meg a Bojna-Brekinjova Kosánál (Horvátország) előkerült kétélű egyenes kard izotópjait is, csak ebben az esetben nem vas izotópokat néztek meg, hanem ozmium izotópokat.[450]

A kutatásomban nem történt izotópvizsgálat, zárványvizsgálat viszont igen, azonban ennek nem az volt a célja, hogy a kardok provenienciáját állapítsam meg, hanem hogy felhasználjam a zárványok morfológiai és kémiai-ásványi összetételi jellegzetességeit a pengén alkalmazott készítési technikák megállapításához. Úgy vélem, hogy a zárványvizsgálat egyfajta „mankóként” szolgálhat a kutatás során, melynek szerves részét képzi ugyan, mégis külön vizsgálati fázisként tekinthetünk rá. Különösen fontosnak bizonyult a zárványvizsgálat azoknál a pengéknél, ahol összetettebb szerkezetet figyeltem meg. Ennek megfelelően a fejezet keretein belül be kívánom mutatni a kardpengékben megfigyelt zárványok kémiai-ásványi összetételét, morfológiai jellegzetességeit, elhelyezkedésüket, illetve az ebből levont következtetések fontosságát a pengén alkalmazott készítéstechnika fókuszában.

[447] HARAMZA 2019, 125-130.
448 TÖRÖK ET AL. 2022, 285; TÓTH-TÖRÖK 2023, 34.
[449] MILOT ET AL. 2016, 9-20.
[450] A vizsgálatról bővebben az 1. fejezetben írtam. DORAČIĆ ET AL 2022, 203.

7.2. A pengékben talált zárványok formája és elhelyezkedése

A pengék zárványai morfológiai szempontból igen különbözőek. Nagyon gyakori volt a nyújtott, erősen ellapított zárvány, amit sokszor az egyes rétegek között lehetett megtalálni. Sok esetben ezek a zárványok a kovácsolás hatására széttöredeztek, ez főleg ott volt jellemző, ahol a zárványt körülvevő fémes alapmátrix nagy karbontartalmú volt (pl. perlites szövet). A kis karbontartalmú, ferrites zónákban talált zárványok sokszor nagy és kerekded formájúak voltak. Külön érdekesek volt azok a zárványok, melyek az alakítás irányába hajlottak el, vagy éppen a kovácshegesztés vonala mellé rendeződtek. Ennek fényében jelen alfejezetben a pengékben talált egyedi, illetve „séma-szerű" zárvány-alakzatokat kívánom bemutatni előre meghatározott példákon keresztül.

A nyíregyházi Jósa András Múzeumban őrzött ismeretlen eredetű szablyamarkolatú kard (ltsz.: 66.52.1.) pengéjében egy igen nagy méretű és érdekes elhelyezkedésű, szinte az egész csiszolaton áthúzódó zárványra lettem figyelmes. A zárvány valószínűleg a penge egyik hajtása során keletkezhetett, amit aztán a kovács nem tudott kidolgozni a fémből **(VII. tábla 2.)** Ezt a feltételezést alátámasztja a zárvány összetétele is, ugyanis a meglehetősen magas SiO_2 tartalom inkább arra utal, hogy a zárvány a kovácsolás során képződött, de az is lehet, hogy folyamat során salakképzőként használt anyag maradványaként záródott a fémbe. A zárvány méretéből, jellegéből pedig az is feltételezhető, hogy ez a kovácsolási folyamat végén keletkezhetett, ugyanis, ha egy anyagot alaposan átdolgoztak, akkor a zárványok rendszerint összetöredeztek, de legalábbis erősen nyújtottá váltak, viszont ez a tárgyalt penge zárványára nem teljesen igaz. Egyébként a hosszú, ellaposodott, valamint az erősen töredezett zárványokra majdnem minden csiszolatban volt példa.

Néhány mintában olyan zárványt is megfigyeltem, amelyek a kovácsolás, illetve az anyag hajtásának irányába deformálódtak. Ezek általában egységes, de elvékonyodott zárványok, amik ívekként jelennek meg a szövetben, de olyan is előfordult, hogy íves jellegét megtartotta, de erősen töredezetté vált a kovácsolásnak köszönhetően. Az első típusra az egri kard (ltsz: 54.84.1.; **IV. tábla 10-12.)** mintájában találtam szemléletes példát, az utóbbi kapcsán pedig a Beszterec-Gyalap-tanyánál talált kard (ltsz.: 66.46.1.; **II. tábla 10.**) íves, de töredezett zárványa említhető**,** ami penge élének szövetében található. Mindkét kardot több alapanyag felhasználásával készítették, sőt az egri kardnak jóval összetettebb a szerkezete, mint a gyalap-tanyai kardénak, mégis a két említett zárvány a pengében található hegedési vonalak közelében alakult ki. Formai szempontból a két zárvány között annyi a különbség, hogy az egyik az

biztosan hajtogatás eredménye (egri kard), míg a másik (Beszterec-Gyalaptanya) inkább a kovácshegesztéshez köthető.

Az egri kard zárványaival kapcsolatban még egy érdekes területet érdemes kiemelni. A penge magjának alsó részénél **(IV. tábla 2.; 11.)** a zárványok szinte már körkörös ívekben helyezkednek el, ami alátámasztja azt a feltételezést, hogy az itt bekovácsolt anyagot csavarhatták, ráadásul úgy, hogy két anyagot, egy kisebb és egy nagyobb karbontartalmú anyagot dolgoztak össze, majd díszítés céljából csavarhattak. Ez eredményezhette a kisebb-nagyobb karbontartalmú sávok egymásmellé kerülését, illetve a zárványok erősen íves elhelyezkedését **(IV. tábla 3.; 6.; 11.).**

Hasonlóan íves elhelyezkedésű zárványokat figyeltem meg a Székesfehérvár Rádiótelep II. 36. sírjában talált kard élének szövetében is. Ennél az esetnél azonban inkább csak egyszerű hajtogatásról lehet szó, viszont pontosan ez adja a kard egyik különlegességét, ugyanis más kard pengéjében ilyen íves zárványsorokat nem figyeltem meg. Így a pengében talált zárványok alapján megerősítést nyert az a feltételezés, hogy a penge magját és az élét is hajtogatásos technikával készítették **(XVII. tábla 7-10.)**

A vizsgálati eredményekből kiderül, hogy a hajtogatás mellett a kovácshegesztés a másik leggyakoribb készítéstechnika a kardpengék vonatkozásában. Nem csak a hajtogatás során kialakult rétegek esetében jelent alapvető mesterfogást, hanem az élkialakításnál is. A folyamat során nélkülözhetetlen, hogy a hegesztendő felületek salakmentesek és tiszták legyenek, amikor a forrasztóhőre való hevítés után összekovácsolják őket.[451] A kovácshegesztés egyik mutatója a szövetben található hegedési vonalak, melyek a maratás után fehér vonalként jelennek meg a szövetben.[452] Azonban ezek a vonalak nem minden esetben egyértelműen kivehetők, ilyenkor érdemes a zárványokra hagyatkozni. Szinte az összes olyan pengénél, amit biztosan több darabból kovácsoltak, megfigyelhető volt olyan zárványlánc vagy két anyag közé szorult zárvány, ami a hegedési vonal mentén/környékén helyezkedett el. Fontos azt is szem előtt tartani, hogy ehhez hasonló felaprózódott zárványsor alakulhat ki akkor is, amikor a félkészterméket hajtogatják, hiszen ebben az esetben is kialakul egyfajta hegedési vonal. Számos példát találtunk ilyen zárványokra, melyek közül az egyik leglátványosabb a Nyíregyháza-Polyákbokor (ltsz.:66.50.1;) környékén előkerült kard, amit biztosan több

[451] HALMÁGYI - RIEDEL 1986, 37-38.
[452] HOŠEK ET AL 2021, 12.

darabból kovácsoltak és a penge magja, illetve az él között futó hegedési vonalban tisztán kivehető a kovácshegesztés során az anyagba záródott zárvány **(XIII. tábla 5.).**

Hasonló sorokba-láncokba rendeződött zárványokat találtam a kiskundorozsmai szablyamarkolatú kard szövetében is **(VIII/A tábla 6.)**, amik szintén a hegedési vonalak mentén helyezkedtek el[453], de ugyanez figyelhető meg az egri kard hegedési vonalainál is és gyakorlatilag bármelyik olyan pengénél előfordulhatnak, amit több anyag felhasználásával készítettek.

Mindezeken túl, a zárványláncok jelenléte akkor is kovácshegesztésre utalhatnak, ha éppenséggel a már említett fehér hegedési vonal nem látható, vagy nehezen kivehető. Érdekes zárvány-elrendeződést figyeltem meg a balsai kardnál (ltsz.:66.36.1), ugyanis mind a minta OM-mozaikfelvételén, mind a SEM-képeken egyértelműen láható, hogy a zárványok nagy része a penge egyik lapja felé rendeződtek. Ez a látványos zárványsűrűsödés alátámasztja azt a feltételezést, hogy a kovács egyszer biztosan hajtott a penge alapanyagán, ami valószínűleg alapvetően salakzárványokban dús, gyengébb minőségű félkésztermék lehetett. Hasonló esetként hozható fel a Nyíregyháza-Polyákbokornál előkerült kard magja, aminek SEM-felvételén látható, hosszan elnyúlt zárványsor is hajtogatásos technika alkalmazására utal **(XIII. tábla 11.).**

A vizsgálat során egyszer találtam meg olyan pengét, aminek mintájában nagyon kevés zárvány volt és azok is inkább a penge lapja vagy éle felé helyezkedtek el. A Nyíregyháza-Felsőpázsitnál előkerült kard (ltsz.: 66.53.1) pengéjét annyira erősen átkovácsolták, hogy a fémben lévő zárvány valószínűleg összetöredezett és kipergett az alakítás során **(XII. tábla 7-9.)**. A SEM-felvételeken látható zárvány pedig a penge lapja felé található és inkább a kovácsolás során alakulhatott ki **(XII. tábla 10.)**. Ugyanakkor megjegyzendő az is, hogy a nagyobb karbontartalmú területeken sokkal kevesebb zárvány figyelhető meg. A már sokat említett egri kard mintájában, a perlites-cementithálós területeken kis mennyiségben találtunk zárványt és ez általánosan jellemző az összes olyan pengére, ahol nagyobb karbontartalmú területek detektálhatók.

Az alfejezetben bemutatott példák egyedi eseteket reprezentáltak. A zárványok elhelyezkedése és formai tulajdonságai alapján összességében elmondható, hogy az elnyújtott, laposabb vagy töredezett zárványok szinte minden kard mintájában megtalálhatók. Ezek főként ott helyezkednek el, ahol két réteg került egymásra és kovács ugyan átdolgozta az anyagot, de a

[453] TÓTH-TÖRÖK 2023 31-54.

salakzárványt nem tudta teljesen kikalapálni anyagból. Az ívekbe deformálódott zárvány egyértelműen a hajtogatásos technika jelzője és az olyan ívek, amelyek nem aprózódtak fel a kovácsolás során, inkább a karbonban szegény, ferrites területeken találhatók. A kovácshegesztés egyértelmű jelzője pedig a hegedési vonal mentén kialakult zárványláncok, amit szinte kivétel nélkül minden olyan kardban megfigyeltem, amiket több darabból kovácsoltak.

7.3. A pengékben talált zárványok ásványi és kémiai összetétele

A pengékben talált zárványok vizsgálati folyamata úgy lett kidolgozva, hogy igazodjon a penge általános felépítéséhez, vagyis minden penge esetében készült EDS-elemzés a penge magjánál és élénél is, de ha egy komplexebb szerkezetű pengéről van szó, akkor lehetőség szerint a pengén belüli összes elkülöníthető területről igyekeztem begyűjteni a zárványok adatait. Ez viszont nem úgy értendő, hogy a mintán belül megtalálható összes zárvány elemzése megtörtént. A cél itt az volt, hogy olyan nyomokat keressek a zárványok kémiai összetételének segítségével, amit fel lehet használni a pengék készítéstechnikai vizsgálatának eredményességéhez, különösen azokban az esetekben, ahol a pengét több darabból kovácsolták. A pengékben, valamint a markolatokban talált zárványok kémiai összetételeit a **3. melléklet** foglalja össze.

Ásványi szempontból a pengékben – a szakirodalomban említetteknek megfelelően – három típusú zárványt figyeltem meg. A leggyakoribb a SiO_2-ban dús, egyfázisú üveges zárvány volt, de sok esetben találtam faylitos-wüstites zárványt is, illetve ezek kombinációját (összetett, többfázisú zárványok). Ezek a zárványtípusok persze egy mintán belül is előfordulhatnak, kémiai összetételük pedig igen változatos lehet.[454] A megvizsgált zárványok összességében a következő elemeket tartalmazták: Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Ba, Mn, Fe. Ezek közül az ércből származhat a szilícium, a mangán, a vas, az alumínium, a bárium és a foszfor; a kalcium, a kálium, a magnézium és a titán pedig inkább a faszénből, esetleg a kemencefalazatból.[455]

A kevésbé redukált salakok nagyobb vastartalmúak és nagyon kevés benne az üveges fázis. Ezek azok a salakok, amik inkább wüstitből, fajalitból és minimális mennyiségű üveges fázisból állnak.[456] Az erősebben redukálódott salakokban kevesebb vas van és a faszénhamuból, illetve

[454] SCHWAB ET AL.2006, 439-441.
[455] BUCHWALD-WIVEL 1998, 79.
[456] BUCHWALD-WIVEL 1998, 83.

a kemencéből származtatható komponensek mennyisége sokkal nagyobb. Ezek a zárványok üvegesebbek, wüstitben szegények és inkább fayalitosak.[457] Az üveges zárványok vastartalma – a szakirodalom alapján – kisebb, viszont szilícium és alumínium tartalma magasabb.[458]

Kutatások bizonyították, zárványok vizsgálatával be lehet azonosítani azok kialakulásának körülményeit, illetve meg lehet állapítani, hogy melyik munkafolyamatból származhatnak (metallurgiai eredetű vagy kovácsolás során alakult ki). Megfigyeléseim, illetve a szakirodalom alapján arra következtettem, hogy a pengékben talált összetett zárványok, vagyis a wüstites-fayalitos-üveges zárványok inkább metallurgiai eredetűek lehetnek. Látványos példa erre a Beszterec-gyalaptanyánál előkerült kard (ltsz.:66.46.1) pengéjében talált zárvány, melyben egyaránt megtalálható a wüstites, fayalitos és kis mennyiségben az üveges fázis is **(II. tábla 9; 11.;).**

Az üveges zárványok kialakulásában fontos szerepet játszhatott a mesterséges folyató vagy másnéven salakképző használata.[459] A Blakelock és kollégái által elvégzett kísérletben azt állapították meg, hogy a szilícium sokkal magasabb volt a zárványokban, mint az olvasztásból származó salakokban. Ők ezt a kovácsolás során használt szilikátos folyatóval hozták kapcsolatba.[460] Viszont Paynter és munkatársai kísérletében az előző megállapítással ellentétes eredmény jött ki: a vizsgált pródarabok zárványaiban kevesebb volt a szilícium, mint az olvasztás során keletkezett salakban, ráadásul úgy, hogy ők nem is használtak salakképzőt a kísérletük során. Ők ezt viszont a kemence falazatával hozzák összefüggésbe.[461] Tehát nem kizárható az sem, hogy a kohósítás során keletkeztek és nem csak kizárólag a kovácsoláshoz köthetők. Azt azonban ki kell emelni, hogy a bucától a késztermékig hosszú az út, az anyag sok alakításon esik át, különösen akkor, ha egy kardról van szó. Így nem véletlen az sem, hogy a nagyobb karbontartalmú, erősen átkovácsolt területeken kevesebb és kisebb zárványok figyelhetők meg. Tehát a kovácsolás hatására csökkent a zárványok száma, nem pedig növekedett.[462] Ugyanakkor a mesterséges, nagy szilíciumtartalmú salakképzők használata (pl. homok) szükséges volt annak érdekében, hogy a kovácshegesztés sikeres legyen. Ezek összegezve, illetve figyelembe véve a kardpengék összetettségét, a pengékben talált üveges zárványok nagyobb valószínűséggel a kovácsolás során alakulhattak ki. A vizsgálat során szinte minden kard szövetében kimutatható volt ez a fajta zárvány, amelyek Si tartalma meglehetősen

[457] BICHWALD-WIVEL 1998, 83.
[458] BUCHWALD-WIVEL 1998, 77.
[459] SERNEELS-PERRET 2003, 476.
[460] BLACKELOCK ET AL 2009, 1755.
[461] PAYNTER ET AL. 2015, 14-15.
[462] HEDGES-SALTER 1979, 173.

nagy volt, Fe tartalma viszont jóval kevesebb. A Si tartalomhoz általában nagy káliumtartalom társult, ami a faszénhez köthető.

Ahogy az alfejezet elején leírtam, igyekeztem a kardpengék szerkezetének megfelelően a lehető legtöbb területről, de minimum a penge magjában és élében lévő zárványokról adatot gyűjteni. Ennek az volt a célja, hogy a zárványok összetétele is megerősítse azt, hogy a penge egy vagy több darabból készült. Ezekben az esetekben általában a foszfor jelenléte volt a fő jelző elem. Az egri kard mikroszkópos vizsgálatából kiderült, hogy a penge szerkezete összetett, több darabból készült. Zárványai közt egyaránt voltak metallurgiai eredetű és kovácsolásból visszamaradt, üveges zárványok is. Azonban az él és mag közötti területen lévő éltoldás zárványaiban, valamint a csavarással kialakított betoldás zárványaiban foszfort detektált az EDS, ami azért különleges mert a többi terület zárványaiban ez az elem nem jelent meg. Az éltoldás esetében ez különösen fontos volt, hiszen a mikroszkópos felvételen nem lehetett tökéletesen megállapítani, hogy ez a rész mennyire különül el a többitől. Az él és az éltoldás között sajnos nem lehetett tökéletes kivenni a hegedési vonalat. Viszont az egyértelmű volt, hogy a két területen teljesen más szövetszerkezet található, illetve az átmeneti zónában voltak láncokba rendeződött zárványok is. Ezek alapján már bizonyítható, hogy a pengéhez egy köztes éltoldást rakta. A feltételezést a zárványvizsgálat, pontosabban a foszfor jelenléte is megerősítette, hiszen a tárgyalt területen 3,42-3,88 tömeg% P tratalmat mért az EDS, a csavart berakásnál talált zárványban 1,64 tömeg% P tartalmat mutatott az EDS (**3. melléklet/IV tábla)**.

Több kardnál előfordult egyébként az, hogy mondjuk a penge magjában nagyobb foszfortartalmú zárványokat találtam, mint mondjuk a pengéjében (vagy fordítva). Jó példa erre még a Székesfehérvár Rádiótelep II. 36. sírjában talált pengéje (ltsz.: 5988) is, ahol csak az él zárványaiban mutatott ki foszfort (6,07 tömeg%) az EDS. A rádiótelepi I/A sírjában előkerült kard (ltsz.: 5859) zárványai – az előzővel ellentétesen – pont a penge magjánál tartalmaztak foszfort (1,10-2,72 tömeg%), míg a penge élénél csak elhanyagolható mennyiséget lehetett megfigyelni.

Nagyon érdekes eredményt mutatott a himesházi kard pengéjének és markolatának zárványai. A pengéjét egy darabból kovácsolták ki, a metszetben vizsgált zárványok elsősorban kovácsoláshoz köthetők, viszont az éle felé összetett zárványok is voltak, ahol 3,13 tömeg% P tartalmat mért az EDS. Ehhez hasonló zárvány volt a kard markolatában is, morfológiai tulajdonságaikban is hasonlítanak. A markolat mintájában talált zárványokban viszont a pengéhez képes sokkal több foszfor van, 1,71 – 4,10 tömeg% közötti értékeket mért az EDS. Ahhoz sokkal több zárványvizsgálat kellene, hogy meg lehessen állapítani, hogy a pengét és a

markolat ugyanabból az anyagból készült-e, de véleményem szerint ezek az értékek árulkodók és a későbbiek során talán lehetőség nyílik a fegyvert alaposabban megvizsgálni.

Három kardpenge zárványaiban báriumot is mutatott az EDS. Az újfehértó-micskepusztai kard (ltsz.:66-47-1) pengéjében vizsgált zárvány metallurgiai eredetű, 2,68-3,92 tömeg%-os Ba tartalommal, valamint 11,61-12,15 tömeg% mangántartalommal. A Nyíregyháza-Polyákbokornál előkerült kard (ltsz.: 66.50.1) zárványaiban 1,13-1,50 tömeg% Ba-t mért az EDS és ezzel együtt a mangántartalom elérte a 6,94-19,91tömeg %-ot. A legnagyobb báriumtartalmat – 10,18 tömeg% – pedig a Nyíregyháza-Felsőpázsitnál előkerült kard zárványában mért az EDS, amihez 4,21 tömeg% mangántartalom társult. A szakirodalom szerint a zárványban található mangán és bárium összefüggésbe hozható, az előbbit egyébként a wüstites-fayalitos területeken mutatták ki, míg az utóbbit inkább az üveges zárványokban találtak.[463] Azonban mindkét elem az ércből származhat és a későbbi proveniencia-kutatásokhoz felhasználhatók lehetnek, amihez egyébként elsősorban az adatok bővítése szükséges és nem csak a bekezdésben kiemelt kardokra vonatkozólag.

7.4. Összegzés

A zárványvizsgálat során bebizonyosodott, hogy a zárványok elhelyezkedésének, illetve morfológiai jellegzetességének elemzése alátámasztja a pengékkel kapcsolatos készítéstechnikai megfigyeléseket. Az alfejezetben felsorolt reprezentatív példákon keresztül bemutattam azokat a „séma-szerű" zárványalakzatokat, amelyek szinte minden pengében előfordultak. Ezek a következők voltak: elnyújtott, laposabb zárványok, amik esetlegesen két réteg között helyezkednek; kovácsolás során széttöredezett zárványok; ívekbe rendeződött zárványok, amik utalhatnak hajtogatásra; hegedési vonal mentén felsorakozott zárvány-láncok, utalva arra, hogy az adott pengét több darabból kovácsolták.

A zárványok ásványi jellegzetességei alapján három típust lehetett megkülönböztetni: az üveges zárványokat, a fayalitos-wüstites zárványokat, illetve ezek keveréket. A pengékben az összes típusú zárványt megtalálható. Kémiai összetételük a pengéken belül megtalálható különböző területek vizsgálatánál fontos, azért, hogy alátámasszák azt, hogy a pengét több darabból vagy egy darabból kovácsolták, különösen akkor volt ez hasznos, amikor a hegedési vonalat nem lehetett tisztán kivenni a mikroszkópos felvételeken.

[463] BUCHWALD-WIVEL 1998, 82.

Mindezek mellett, a zárványvizsgálatokkal nem csak annak módszertani hasznosságát lehetett bizonyítani, hanem ezáltal egy alap adatbázis is elkészült, mely ugyan további bővítésre szorul, de nélkülözhetetlen a későbbi esetleges proveniencia-kutatásokhoz.

8. Elmélet és gyakorlat – tömörített vastuskókon végzett kovácsolási kísérlet a kétélű egyenes kardpengék készítésének tükrében

Az előző fejezetekben bemutatott metallográfiai vizsgálatok olyan technikai fogásokra világítottak rá, amelyek megértését kísérleti módszerekkel lehet tovább mélyíteni. Jelen fejezet ennek tükrében a hajtogatásos technikát vizsgáló rekonstrukciós kísérlet folyamatát és eredményeit mutatja be, amely a megvizsgált kardpengék több, mint a felében megtalálható volt. A hajtogatás során a kovácsolandó anyagot – elsősorban az alapanyag homogenizálása céljából – többször egymásra hajtják és összekovácsolják.[464] A folyamat szerves része a kovácshegesztés is, hiszen az egymásra hajtott rétegek a kovácsolás hatására hegednek össze.[465] Ehhez azonban nélkülözhetetlen a megfelelő hőmérséklet és a tiszta felület.[466]

A kísérlet során a hajtogatás mellett két további eljárást is kipróbáltam: a cementálási kísérletet és az ún. „telibe kovácsolást". A cementálás olyan hőkezelési eljárás, amelynek során magas hőmérsékleten a vas felületi rétege szénben gazdag közegből szenet vesz fel, így keményebb, nagyobb széntartalmú kéreg alakulhat ki, miközben a mag szívós marad.[467] A minta a kísérlet során megközelítőleg 6 órán keresztül volt faszenes közegben, azonban a vizsgálatok csak igen csekély mértékű felületi karbonfelvételt mutattak. A cementált réteg vastagsága minimális maradt, így a kívánt mértékű acélosodás nem következett be.

A telibe kovácsolást a Miskolci Egyetem Anyag- és Vegyészmérnöki Karának egyik műhelyében végeztük. Az alapanyagot 950 °C-ra hevítették, majd egyszerű, ún. telibe kovácsolással alakították, hajtogatás alkalmazása nélkül. A második próbatest elkészítése lehetőséget teremtett arra, hogy a két technika – vagyis a hajtogatás és a telibe kovácsolás – közvetlenül összehasonlítható legyen.

Úgy vélem, hogy a hatogatásos technika kísérleti kipróbálása olyan többletinformációval járulhat hozzá a kutatáshoz, amely pusztán a régészeti leletek archeometriai és archeometallurgiai vizsgálatából nem nyerhető ki. Ennek megfelelően a kísérleti kovácsolás célja annak vizsgálata volt, miként valósulhatott meg a gyakorlatban a kétélű kardpengéken oly gyakran kimutatható hajtogatás, illetve milyen tapasztalatokat nyújthat egy, kifejezetten a kovácsolási technikára összpontosító próba. A hajtogatás részletesebb megértése nem csupán a

[464] PLEINER 2006, 55.
[465] PLEINER 2006, 58-60.
[466] HALMÁGYI-RIEDEL 1986, 37.
[467] PLEINER 2006, 66-67.

korabeli vasfeldolgozási gyakorlat rekonstrukciója szempontjából fontos, hanem jelentős mértékben hozzájárul a régészeti leleteken végzett mikroszerkezeti vizsgálatok értelmezéséhez is. Az ilyen kísérletek lehetővé teszik a mikroszkópos vizsgálatok során megfigyelhető rétegek, hegesztési vonalak és inhomogenitások technikai hátterének pontosabb azonosítását, így a hajtogatás gyakorlati rekonstrukciója a vaskohászati és kovácsolási eljárások történeti-technológiai értelmezésének nélkülözhetetlen eszközét jelenti.

8.1. A kísérlethez felhasznált alapanyag: a vasbuca

A régészeti feltárások során előkerülő vasbucák, valamint a különböző vastárgyak a korai vaskohászat és fémmegmunkálás tárgyi emlékei, amelyek kulcsszerepet játszanak a vasfeldolgozás technológiai rekonstrukciójában. A bucavas-eljárás a vaskortól egészen a 14. század első feléig Európában kizárólagosan alkalmazott, technológiailag viszonylag állandó vaskohászati eljárás, amelynek lényege, hogy felszínközeli vasoxid-tartalmú ércekből – agyag és homok keverékéből épített bucakemencékben, faszén tüzelőanyag használatával – direkt módon, redukciós eljárással az ércből közvetlenül alacsony karbontartalmú, jól alakítható bucavasat állítottak elő.[468] Ezek a primer fémes termékek, alakítási nyersanyagként használt alapanyagok közvetlenül őrzik a korabeli kohósítás technológiai sajátosságait, így mikroszerkezeti és kémiai elemzésük révén fontos információt nyújtanak a fémes vas előállításának (kohósításának) és felhasználásának (kovácsolásának) rekonstruálásához.[469] A történeti vasbucák vizsgálata nem csupán a kohósítási technológiáról, hanem az anyag belső szerkezetéről és ezzel együtt annak felhasználhatóságáról is képet ad[470], ezért alkalmazásuk kísérleti archeometallurgiai kontextusban különösen indokolt.

Az elmúlt évtizedekben a történeti vasbucák vizsgálata több tudományterület határán mozgó kutatások középpontjába került, különösen a leletek technológiai hátterének feltárása, valamint a korabeli vasfeldolgozási eljárások kísérleti úton történő rekonstruálása kapcsán. A hazai és nemzetközi kutatások egyaránt arra törekedtek, hogy bucák anyagszerkezeti jellemzőinek feltérképezésével következtetéseket vonjanak le a kohósítás[471] és az azt követő kovácsolás során alkalmazott technikákra.[472]

[468] TÖRÖK 2011, 14.
[469] TÖRÖK 2014, 123-124.
[470] GÖMÖRI 2000, 257-286.
[471] TÖRÖK-KOVÁCS 2010, 455-456.
[472] THIELE ET AL. 2019, 195-196.

Az elmúlt évtizedekben Magyarországon is egyre nagyobb figyelem irányult a vasbucák, a belőlük készült köztes termékek és a kész vastárgyak archeometriai-archeometallurgiai vizsgálatára. A kutatások egyik fontos irányát a vasbucák mikroszerkezeti vizsgálata jelentette, amelynek célja a bucák anyagi tulajdonságainak, salakzárványainak, illetve az előállítási folyamathoz kapcsolható metallurgiai jellemzők vizsgálata volt.[473] A témában számos tanulmány született, amelyek közül érdemes kiemelni a Zalavár–Vársziget és Lábod-Petesmalom lelőhelyeken előkerült, 8-9. századi vasbucák összehasonlító archeometriai vizsgálatát. A vizsgálatokból kiderült, hogy a zalavári buca karbontartalma a felülete felé növekszik, szerkezete tömör, és valószínűleg újraizzításon, illetve tömörítésen is átesett[474]. Ezzel szemben a petes-malmi bucán tömörítésre utaló nyomokat nem találtak. A vizsgált vasbucák súlya megközelíti a 10 kg-ot, ugyanakkor a korai vaskortól a korai középkorig leginkább az 1–3 kg-os súlyú bucák a jellemzőek.[475] A somogyfajszon fel-tárt 10. századi vaskohászati műhelycentrumban 1.6 és 3.6 kg közötti tömegű vasbucákat találtak.[476]

Hasonlóan érdekes leletnek számítanak a Keszthely-Fenékpuszta késő római kori erődítmény lelőhelyén előkerült extrém nagy súlyú (kb. 60 kg), öt darab ékelt vasbuca, melyből kettőn archeometriai vizsgálatokat végeztek. A vizsgálat eredményei alapján arra következtettek, hogy a vasbuca a kohósítást követően nem esett át utólagos alakításon. A mintákban nagyszámú gázpórus volt megfigyelhető, a széntartalom pedig rendkívül magasnak bizonyult. A salakzárványok száma feltűnően alacsony volt, kizárólag olvasztási eredetű zárványokat azonosítottak. A vizsgálat eredményei alapján azt feltételezték, hogy kisebb vasbucákat vagy korábbi kohósítások során keletkezett salaktartalmú bucadarabokat adagoltak vissza a kemencébe és ezek összeolvasztásával állították elő az adott darabot.[477]

A vasbucák vizsgálata önmagában is fontos információkkal szolgál a korabeli kohósítási technológiákról, azonban a bucavasból készült tárgyak archeometriai és archeometallurgiai elemzése révén a nyersanyagok feldolgozási módjaira is fény derülhet. A vasbucák és a belőlük készült tárgyak technológiai vizsgálata tehát nem választható el élesen egymástól, hiszen az elsődleges kohósítás jellemzői – például a salaktartalom, karbontartalom vagy a szennyeződések jelenléte – közvetlen hatással vannak a végtermék szerkezetére és minőségére. Éppen ezért a különböző korszakokhoz köthető vastárgyak archeometriai vizsgálata –

[473] TÖRÖK ET AL. 2018, 418.
[474] TÖRÖK ET AL. 2018, 2.
[475] PLEINER 2000, 230.
[476] GÖMÖRI 2007, 190.
[477] TÖRÖK – BARKÓCZY 2023, 177-190.

különösen, ha ismert vagy valószínűsíthető, hogy bucavasból készültek – kiegészíti és árnyalja a vasbucákra vonatkozó ismereteinket is.

Jó példát szolgáltatnak erre az Ordacsehi–Csereföld lelőhelyen, a Balaton déli partvidékén feltárt közép- és késő-La Tène kori településről származó leleteken végzett archeometallurgiai vizsgálatok, melyek során tíz salakmintát, kilenc vaseszközt és egy vasbucát elemeztek.[478] A salakok többsége a bucavas újraizzítását követő salaktalanító kalapálás oxidáló körülményei között keletkezett. A tárgyak jellemzően ferrites vagy ferrit–perlites, inhomogén szerkezetű vasból készültek, de előfordult martenzites szövetelemet tartalmazó darab is. A szemcseméret, a zárványok elrendeződése és a perlitben gazdag rétegek alapján kimutatták, hogy a tárgyak ugyanabból a vasbucából készültek, a kovácsok azonban a bucavas heterogenitását kihasználva a szövetszerkezet célzott módosításával igazították a karboneloszlást az eszköz funkciójához (pl. élek, hegyek kialakításánál).[479] Szintén a La Tène korhoz köthető a Szilvásvárad-Lovaspálya lelőhelyen feltárt településrészlet, ahol a kerámiatöredékek mellett jelentős mennyiségű vassalak és a vas feldolgozásához kapcsolódó lelet került elő. A kiválasztott leletek archeometriai vizsgálatából az derült ki, hogy a településhez egy kovácsműhely is tartozott (Kr.e. III. század), amely a magyarországi régészeti leletanyagban kiemelkedő ritkaságnak számít**.**[480] A korábbi példák jól mutatják, milyen következtetések vonhatók le komplex archeometriai-archeometallurgiai elemzések révén, függetlenül attól, hogy ezeket a vizsgálatokat vasbucákon vagy tárgyakon végezték el. Jelen kutatás fókuszában azonban nem a késztermékek, hanem a vasfeldolgozás korai fázisát képviselő vasbuca, pontosabban annak egyik továbbdolgozott változata (tömörített vastuskó) áll.

A kísérleti kovácsolás során felhasznált darab származási helyének ismertetése nemcsak az alapanyag eredetének dokumentálása szempontjából fontos, hanem a régészeti összefüggések jobb megértéséhez is hozzájárul. A vasdarab a Dédestapolcsány–Verebce-bérc lelőhelyről került elő, ahol az Eötvös Loránd Tudományegyetem Régészeti Intézetének kutatói 2008[481] óta végeznek régészeti feltárásokat.[482] Az Északkelet-Magyarországon található, kora vaskori erődített település a Kr. e. 7. század végén pusztult el, feltehetően ostrom következtében, amit a feltárt leégett épületek, valamint a több száz szkíta típusú nyílhegy egyértelműen alátámaszt.

[478] TÖRÖK ET AL. 2013, 24.
[479] TÖRÖK ET AL. 2013, 31.
[480] TANKÓ ET AL. 2019, 389-392.
[481] V. SZABÓ ET AL. 2014, 1-2.
[482] V. SZABÓ ET AL. 2022, 296-297.

A kerámia- és fémtárgyak, valamint a gazdag fémleletanyag tanúsága szerint a település a korai vaskor idején kultúrájához (Kr. e. 7. század vége – 6. század eleje) élte virágkorát.[483]

A feltárás során kiemelkedő mennyiségű vas- és bronztárgy, illetve fémnyersanyag került elő. Több mint harminc olyan objektumot dokumentáltak, a teljes területen összesen több mint 600 vaskohászati eredetű leletet gyűjtöttek össze. A Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja három kiválasztott darabon végzett részletes archeometriai vizsgálatot, amelyek célja az anyagszerkezeti jellemzők feltárása, valamint a leletek feldolgozottsági szintjének, technológiai hátterének meghatározása volt.[484] A vizsgálatok alapján a vasdarabok enyhén heterogén, pórusos szerkezetűek, tömörített bucavasból származnak, de nem több darab egybeolvasztásával, hanem egyetlen buca részeiként jöttek létre. A vizsgálathoz kiválasztott darabok hasonlóságot mutatnak, mégis eltérések figyelhetők meg a karbontartalom és az alakítás mértéke alapján. Ezek a darabok nem sorolhatók egyértelműen sem a nyers vasbuca, sem a kész tuskó kategóriájába – átmeneti állapotot képviselnek a vasfeldolgozás technológiai sorában.[485]

A kovácspróbához egy olyan tömörített bucavasdarabot választottam ki, ami az előbbiekben említett dédestapolcsányi lelőhelyen folyt kutatás keretein belül, Kovács András által felfedezett nagy vasbucadepóból származik és amelyen előzetesen archeometriai vizsgálatokat is végeztek. A vizsgálati eredmények alapján lehetőség nyílt arra, hogy tudatosan, a szerkezeti sajátosságokat figyelembe véve válasszam ki a megmunkálásra legalkalmasabb darabot. Ez a körülmény különösen értékessé teszi a kísérletet, mivel lehetőséget biztosított egy már ismert szerkezetű alapanyag gyakorlati megmunkálására. A következő fejezetben a kovácsolás menetét, körülményeit, valamint az így kialakított próbatestek mikroszerkezeti vizsgálatának eredményeit ismertetem.

8.2. A próbakovácsolás

Az előzetes archeometriai vizsgálatok eredményeit figyelembe véve a dédestapolcsányi lelőhely 9. számú depójából származó, 27-es leltári számú bucavasat választottam ki a kovácsolási kísérlet alapanyagául **(2. kép)**. A darabról korábban végzett vizsgálatok részletes információt nyújtottak a szövetszerkezetről és a karboneloszlásról, ami lehetőséget biztosított

[483] V. SZABÓ ET AL. 2023, 614-617.
[484] TÖRÖK ET AL. 2024, 287.
[485] TÖRÖK ET AL. 2024, 292-293.

arra, hogy a kovácsolás utáni eredményeket összevethessük az eredeti állapottal. Mivel a vizsgálatok céljából a bucát korábban kettévágták, a kovácspróbához annak csak nagyobbik használtam fel.

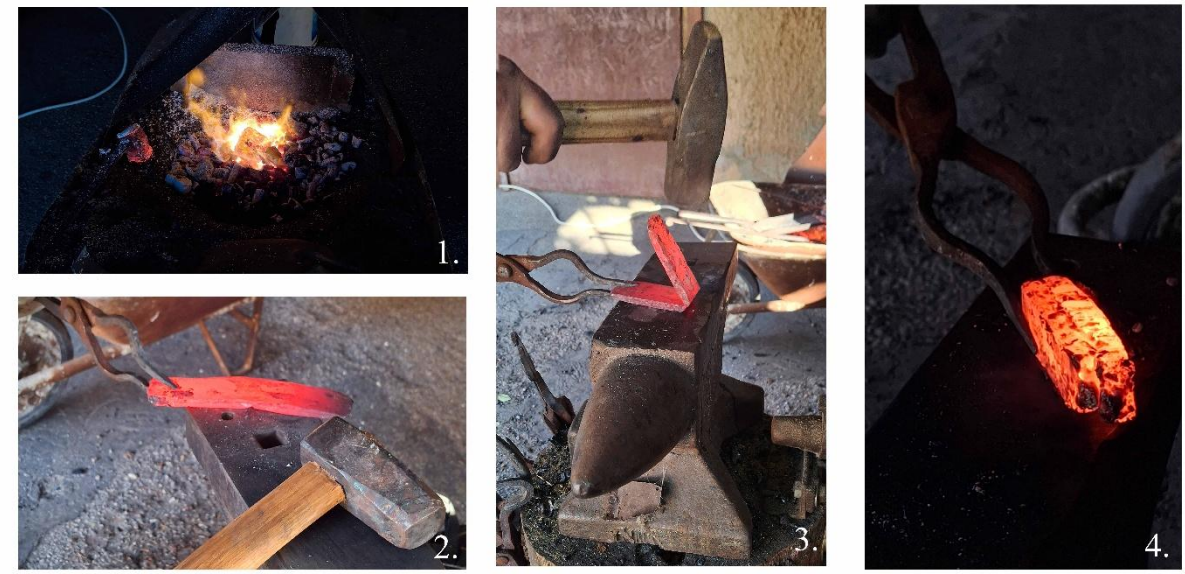


2. kép: Dédestapolcsány – Verebce-bérc lelőhely 9. számú depójából származó 27- es leltári számú tömörített vastuskó, amit a kísérlethez használtam fel alapanyagként

A próbakovácsolás Tóth Zoltán Henrik segítségével került kivitelezésre, az ő saját, hagyományos eszközökkel felszerelt kovácsműhelyében. A kiválasztott bucadarabot faszenes kemencében hevítettük, és amikor az anyag hőmérséklete elérte a hozzávetőlegesen 950–1000 °C-ot, megkezdtük annak tömörítését. Ezt a műveletet körülbelül 15 percenként megismételtük. Mintegy két óra hevítés után került sor az első hajtásra: a darabot kézi kovácsolással elnyújtottuk és félbehajtottuk, miközben gondosan ügyeltünk arra, hogy a kontaktfelületek kellően tiszták legyenek. A felületek tisztántartásához folyatóként egyszerű kvarchomokot használtunk.

A hajtást és kovácshegesztést követően további tömörítést és nyújtást végeztünk, majd a bucadarabot ismételten félbehajtottuk. A különféle kovácsolási lépések – beleértve az előkészítést, a tömörítést, a hajtásokat, valamint a végső formázást – összesen mintegy hat órát vettek igénybe, ez idő alatt négyszer hajtottuk meg az anyagot **(3. kép)**. A teljes alapanyag eredeti tömege 1535 gramm volt, amelyből a kísérlethez 846 grammos darabot használtunk fel. A második hajtást követően a munkadarab súlya 486 grammra csökkent, míg a kovácsolási folyamat végén készült próbatest tömege mindössze 207 gramm volt.

A kísérlet során egy rétegzett szerkezetű félkész próbadarab készült, amely jól vizsgálhatóvá teszi a hajtogatás anyagszerkezetre gyakorolt hatásait **(4. kép)**. A következőkben a próbatest archeometriai vizsgálatának eredményeit mutatom be.



3. kép: A próbakovácsolás során az első lépés az alapanyag hevítése és tömörítése (1.) volt, ezt a formázás és nyújtás követte (2.), majd a hajtás (3.), végül pedig a hajtást követő kovácshegesztés (4.). A teljes folyamatot összesen négyszer ismételtük meg.

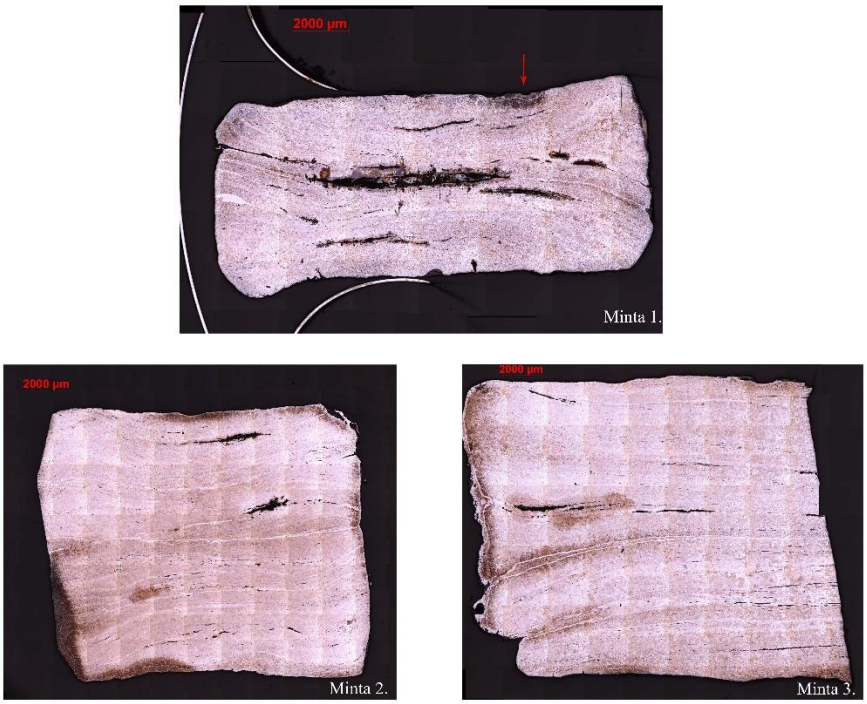
8.3. A próbatest archeometriai vizsgálata

A kovácsműhelyben kialakított próbatestből összesen három minta (Minta 1-3.) került kimetszésre archeometriai vizsgálatok elvégzésének céljából. A mintákat a Miskolci Egyetem Anyag- és Vegyészmérnöki Karának egyik műhelyében vágták ki úgy, hogy a próbatestből a lehető legtöbb információ nyerhető legyen. A próbatest kialakítása során egy elvékonyított, elnyújtott oldal, valamint egy tömörebb, masszívabb, szögletes oldal jött létre. Mind az elvékonyított, mind a tömörebb oldalból egy-egy mintát vágtak ki, utóbbit pedig a műhelyben még egyszer kettévágták **(4. kép)**. A vágást követően a mintákat hidegen szilárduló műgyantába ágyazták, majd csiszolás, polírozás és maratás után a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának munkatársai (ARGUM) elvégezték a mikroszkópos vizsgálatokat.



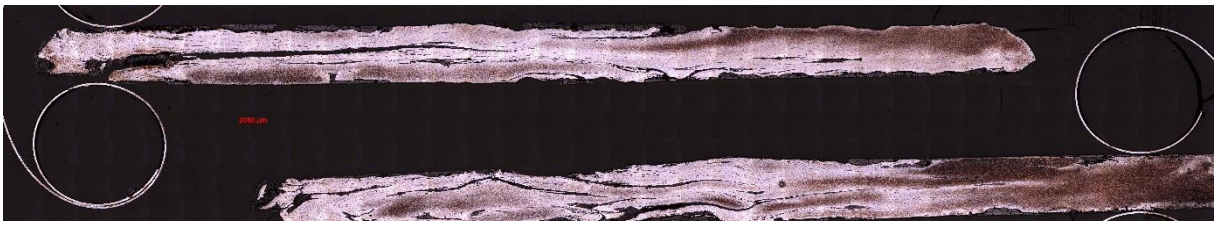
4. kép: A kísérlet során kialakított próbatest. amelyből három minta került kimetszésre

A hajtogatott próbadarab optikai mikroszkópos felvételei jól prezentálják a kovácsolás során kialakult rétegződéseket, valamint a kovácshegesztési vonalak szerkezeti sajátosságait. A próbatest anyagszerkezete a többszöri tömörítés és hajtogatás következtében nagymértékben homogenizálódott, vagyis a korábbi szennyeződések, zárványok és a kisebb-nagyobb karbontartartalom jelentős része eltűnt, az anyag egységesebbé vált. Ugyanakkor néhány területen továbbra is kimutatható volt az anyag inhomogenitása, ami a bucavas eredeti tulajdonságaira, illetve a kovácsolás során bekövetkező lokális eltérésekre vezethető vissza **(5. kép).** A mikroszerkezetben ferrit és perlit egyaránt megfigyelhető, a próbatest pereménél megjelenik a Widmanstätten-ferrit jellegzetes tűs szerkezete is.



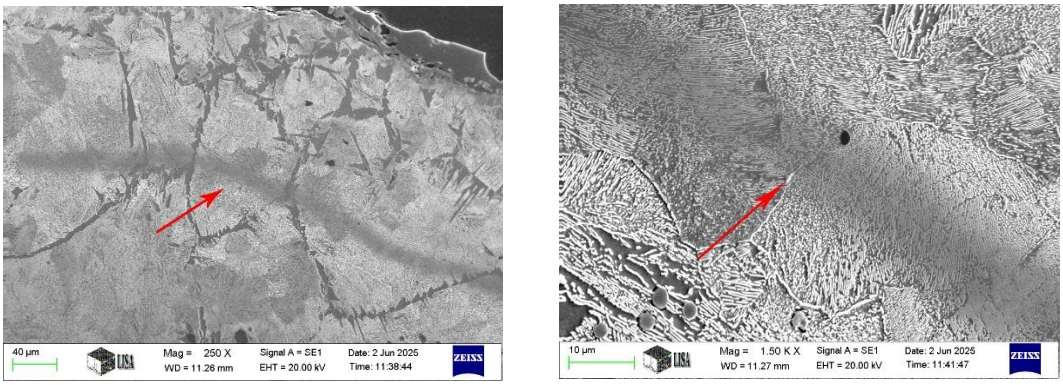
5. kép: A minták optikai mikroszkópos mozaikfelvételei. A felvételeken jól kivehetők a kovácshegesztés jellegzetességei, köztük a kisebb-nagyobb karbontartalmú rétegek is.

A mikroszkópos felvételek különösen jól szemléltetik a hajtogatott alapanyag réteges jellegét. A párhuzamosan futó sávok a kovácsolási rétegződés tipikus nyomai, amelyek a többszöri hajtogatás és tömörítés eredményeként alakultak ki. Ezek a rétegek jól követhetők, és bizonyítják, hogy a hajtogatás technikája hatékonyan érvényesült a próbadarab elkészítése során. A metszet középső részén látható nagyméretű vízszintes zárványokat viszont mégsem sikerült teljesen kikovácsolni az anyagból **(5. kép, Minta 1.).** Az összehasonlítás során a hajtogatással készült darabok és az egyszerű telibe kovácsolással előállított minták felvételei egyértelműen kimutatják a hajtogatás hatékonyságát. A telibe kovácsolt darabokon a zárványok nem tűntek el; csupán elnyúltak vagy felaprózódtak, de nagyobb méretüket megtartották és teljesen az anyagban maradtak. Bár az anyag megnyúlt, inhomogenitása változatlan maradt (6. kép**)**.

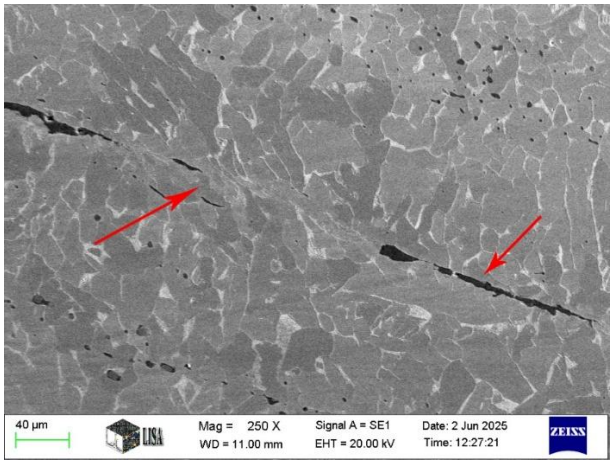


6. kép: Az ún. telibe kovácsolással készült próbatest.

A vizsgált metszet optikai mikroszkópos felvételein világosabb, fehéres sávok is jól megfigyelhetők, amely első ránézésre kovácsolási-hajtogatási vonalnak tűnhetnek. Az elektronmikroszkópos vizsgálatok alapján viszont arra lehet következtetni, hogy az említett sávok nem feltétlenül a hajtogatás során keletkezhettek. A zónában a perlit jelentősen finomabb, miközben a szemcsék, illetve a lemezes perlit folyamatosan követhetők, ami ellentmond a hajtogatott szerkezet egyik legtipikusabb jellegzetességének. A jelenség értelmezése szerint a területen magasabb széntartalmú zóna alakult ki, amely a bucavas tömörítéséből és a nyersanyag eredeti inhomogenitásából származhat, vagy bizonyos maradványelemek magasabb koncentrációjára utalnak, amik az előkészítéshez használt marószerre másképpen reagálnak. A lassabb hűlés következtében a perlit részben kilágyult **(7. kép)**.



7. kép: Elektronmikroszkópos felvételek a penge egyik fehér sávjáról, ahol a finomabb perlites szerkezet inkább a bucavas inhomogenitására vagy maradványelemek feldúsulására utal, mint hajtogatásra.



8. kép: Mikroszerkezet a hajtogatás és kovácshegesztés egyértelmű nyomaival: a réteghatárok mentén erősen deformált, nagy szemcsék és szemcseméret-különbségek figyelhetők meg.

A vizsgált jelenség egyértelműen megkülönböztethető attól az esettől, amikor a kovácsolási folyamat eredményeként alakulnak ki az anyagban a különböző rétegek. Amikor a hajtogatás egyértelmű nyomáról van szó, a réteghatárok mentén a szemcsék erőteljes alakváltozása, szemcseméret-különbségek figyelhetők meg. Az ilyen hegesztési zónákban nagy méretű, de erősen deformálódott szemcsék jelennek meg, amelyek ellentétben állnak az előbbi bekezdésben leírt szövetszerkezettel **(8. kép)**.

A vizsgálat során a zárványok összetételében is különbségek mutatkoztak: a felső zónában főként kalciumos salakzárványok, az alsóban nagyobb foszfortartalmú zárványok fordultak elő. A felső részben jelentősen nagyobb volt a salakzárványok mennyisége, ami visszamaradhatott

a bucadarabból, de egyaránt keletkezhetett a kovácsolás során is. Ugyanakkor a salakzárványok mérete, töredezettsége, illetve elhelyezkedése alapján az is elmondható, hogy ezeket a szennyeződéseket kézi kovácsolással nagyon nehezen lehet tökéletesen eltávolítani az anyagból.

8.4. Összehasonlítás és konklúzió

A 9–11. századi kétélű kardpengék technológiai vizsgálata nem csupán a korszak fegyverzetének jobb megértését teszi lehetővé, hanem a kovácsmesterségben alkalmazott anyagismeret és technikai tudás szintjére is rávilágít. A korszakban készült kardok a legmagasabb presztízsű fegyverek közé tartoztak, amelyek előállítása igen nagy szakértelmet igényelt.

A nemzetközi szakirodalom alapján kiderül, hogy a kétélű kardpengék mikroszkópos vizsgálata során a kovácshegesztési vonalak gyakran világosabb maratási sávként jelennek meg, amelyekben a környező mátrixhoz képest magasabb koncentrációban fordulnak elő bizonyos maradványelemek (pl. Ni, Co, As).[486] Ezeknek az elemeknek a feldúsulása a bucavas- és acéldarabok rétegeiben, az ismételt hevítések során, a tűzben lezajló oxidáció következményeként jöhet létre. A kovácshegesztési vonalak maratás után azért válnak különösen jól láthatóvá, mert az ilyen, maradványelemekben gazdag zónák ellenállóbbnak bizonyulnak a maratással szemben, mint a pengét alkotó általában ferrites–perlites mátrix.[487]

A kísérleti kovácsolás során megfigyelt jelenségek több ponton is párhuzamba állíthatók a 10. századi kardpengék hegesztési zónáinak mikroszkópos felvételeivel. A hajtogatás, valamint az ezt követő kovácshegesztés nyomai és a fent említett világos maratási vonalak mind a kísérleti próbatest, mind a kardpengék mikroszkópos felvételein markánsan megjelennek. A próbatest mintájának EDS-vizsgálata során azonban az egyik feltételezett hegesztési vonalnál 1,49 tömeg% arzént[488] detektált a műszer, ami inkább elemdúsulásként értelmezhető, semmint

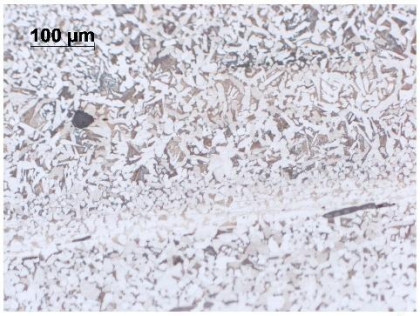
[486] HOŠEK ET AL. 2021, 11
[487] HOŠEK ET AL. 2021, 12.
[488] A kora középkori angolszász és viking kések vizsgálata során kétféle hegesztési vonalat sikerült azonosítani: az éles, fehér és a halványabb, sárgás típusokat, amelyek korábban nem kerültek leírásra. A kémiai elemzések ugyan nem mutattak egyértelmű mintázatot, de általában a fehér vonalak több arzént, míg a sárgásak inkább nikkelt tartalmaztak, bizonyos esetekben pedig réz- és foszfordúsulás is megfigyelhető volt. A vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy ezek a jelenségek a felhasznált fémek és ércnyersanyagok összetételével állhatnak kapcsolatban. BLAKELOCK 2012, 175-179.

tényleges hegedési határként. Ezt a megfigyelést alátámasztja az is, hogy az elektronmikroszkópos felvételeken látható finom perlites szövetszerkezetben nem azonosítható réteghatár és nincs szövetszerkezeti deformáció sem. A hajtogatás következtében mind a próbadarab, mind a pengék felvételein jól elkülöníthetők a különböző karbontartalmú zónák rétegződései, a szemcseméretbeli eltérések, valamint a réteghatárok mentén megfigyelhető összetört, deformált szemcsék. Emellett mindkét esetben azonosíthatók voltak a bucavas alapvető inhomogenitásai, a különböző típusú és formájú salakzárványok és a karbontartalom változásai, amelyek a hajtogatás sajátosságaira utalnak; ezekre a jelenségekre a 9. kép is szemléletes példákat mutat a kétélű egyenes kardpengék vizsgálati eredményei közül.

A kísérleti kovácsolás és a régészeti leletek vizsgálata közötti párhuzamok nemcsak az egyes technikai megoldások hiteles rekonstruálását tették lehetővé, hanem a korszak technikai-technológiai szintjének szélesebb körű értelmezését is. A hajtogatás, újrakovácsolás és az ezzel együtt járó tömörítés célja mindenekelőtt az alapanyag belső szerkezetének homogenizálása volt, különösen a heterogén, salakzárványokban és üregekben gazdag bucavas esetében. A hajtogatás és az ezzel összefüggő kovácshegesztés révén az anyagban található szennyeződések részben eltávolíthatók voltak, ami elősegítette a mechanikailag stabilabb, egységesebb szövetszerkezet kialakítását.[489]

A kísérleti kovácsolás során hajtogatással előállított vasanyag mikroszerkezeti vizsgálata igazolta, hogy a többszöri hajtogatás nyomán a nagy kiterjedésű inhomogenitások jelentősen csökkennek, a zárványok feldarabolódnak és megnyúlnak. Ezzel szemben a telibe kovácsolással készült próbadarab esetében a nagyobb méretű zárványok nem voltak kikovácsolhatók, ami a mikroszerkezeti vizsgálatokban is jól megfigyelhető maradt. A két eljárás eredményeinek összevetése így egyértelműen jelzi a hajtogatás szerepét a zárványeloszlás finomításában és az anyag homogenizálásában. Ez arra mutat rá, hogy a hajtogatás egyszerre járulhat hozzá a szövetszerkezet javításához, de egyben új hibaforrások megjelenéséhez is, vagyis a technológia alkalmazása bizonyos kockázatot is jelentett.[490]

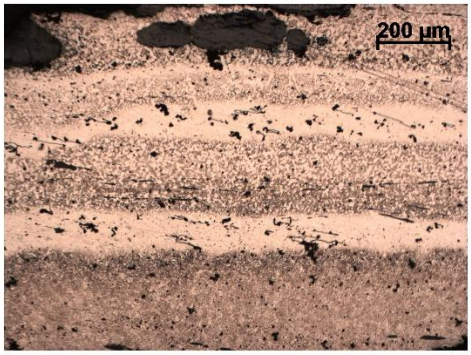
[489] TÓTH 2025, 15.
[490] TÓTH 2025, 16.



1.



2.



3.

9. kép: A kétélű egyenes kardpengék mikroszkópos felvételein látható inhomogenitások, salakzárványok és karbontartalom-változások, amelyek a hajtogatás technikájának jellegzetességeire utalnak. 1.: Budapesti szórványlelet (ltsz.: 79.5.1.; BTM Aquincumi Múzeum Népvándorlás kori Gyűjteménye). 2.: Egri kard/ismeretlen lelőhely (ltsz.: 54.84.1.; Dobó István Vármúzeum, Eger. 3.: Fülöp Gyula kard/ismeretlen lelőhely (ltsz.: n.a.; Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár).

A kardpengékben megfigyelhető világos vonalak értelmezésekor különösen fontos az elektronmikroszkópos vizsgálatok alkalmazása. Amint jelen tanulmány is rávilágít, nem minden fehér/világos vonal tekinthető a hajtogatás vagy kovácshegesztés egyértelmű bizonyítékának. Ilyen jelenségek kialakulhatnak a metallográfiai előkészítés során alkalmazott marószerek használata által és értelmezhető bizonyos elemek lokális dúsulásaként is. A technika alkalmazását ezért elsősorban a szemcsedeformációk, zárványláncok elhelyezkedése, illetve a réteghatárok megfigyelése támaszthatja alá, amelyek megbízhatóbban utalnak a hajtogatás/kovácshegesztés tényleges használatára.[491]

[491] TÓTH 2025, 18.

9. A kardpengék tanúsága – készítéstechnika és tipológia a vizsgált kardanyag alapján

A fejezet célja a disszertáció keretében elvégzett archeometallurgiai vizsgálatok eredményeinek összegzése és értelmezése a kardpengék készítéstechnikájának szempontjából. A korábbi fejezetekben bemutatott egyedi megfigyelések alapján itt már nem egyes tárgyak részletes leírása, hanem az ezekből kirajzolódó készítési mintázatok és összefüggések kerülnek előtérbe.

A fejezet központi eleme egy technikai alapú tipológia felállítása, amely a pengék szerkezeti felépítésére, a kovácsolási technikák alkalmazására, a karboneloszlás jellegére és a hőkezelés kérdésére épül. Ez a megközelítés lehetőséget ad arra, hogy a vizsgált kardanyag ne pusztán leíró módon, hanem összehasonlítható és rendszerezhető formában legyen értelmezhető.

A készítéstechnikai sajátosságok vizsgálata egyúttal felveti a fegyverek előállításának minőségi és mennyiségi vonatkozásait is, vagyis azt, hogy a megfigyelhető készítési megoldások milyen mértékben utalnak egyedi, magas színvonalú darabokra, illetve nagyobb mennyiségben előállított, funkcionális fegyverekre. A fejezet emellett kitér a Kárpát-medencei kardkészítés európai összefüggéseire, valamint arra is, hogy a technológiai jegyek mennyiben járulhatnak hozzá az egyes darabok eredetének értelmezéséhez.

9.1. Készítéstechnikai mintázatok – hajtogatás, kovácshegesztés, hőkezelés

A vizsgált kardpengék készítéstechnikai jellemzői közül a hajtogatás tekinthető a leggyakrabban megfigyelhető technológiai megoldásnak. A metallográfiai vizsgálatok eredményei alapján a hajtogatás nem elszigetelt, alkalomszerű jelenségként jelenik meg, hanem több esetben a pengék anyagszerkezetét alapvetően meghatározó eljárásként értelmezhető. A hajtogatás nyomai nem csupán egyes mikroszerkezeti részletekben ragadhatók meg, hanem a penge teljes keresztmetszetének felépítésére, az anyag heterogenitására és a szerkezeti tagoltság kialakulására is hatással vannak. Ennek megfelelően a készítéstechnikai mintázatok bemutatását indokolt e technika tárgyalásával kezdeni.

A jelen fejezetben hajtogatás alatt azt a tudatosan alkalmazott kovácsolási eljárást értem, amely során a felhasználni kívánt alapanyagot a kovács kinyújtja, majd félbehajtja, és kovácshegesztéssel egyesíti. Az eljárás célja az anyag szerkezeti minőségének javítása, a

zárványtartalom csökkentése, valamint a karboneloszlás kiegyenlítése volt. A hajtogatás a vasfeldolgozás egyik alapvető technológiai eszközének tekinthető, amelyet a kovácsok az eltérő minőségű, gyakran inhomogén alapanyagok tulajdonságainak célzott befolyásolására alkalmaztak.

A hajtogatás vizsgálata a jelen dolgozatban nem pusztán egy technikai részlet rekonstruálását jelenti, hanem olyan mikroszerkezeti jelenségek értelmezését is magában foglalja, amelyek a nyersanyag minőségére, az anyag-előkészítés és az alakítás intenzitására, valamint a technológiai kontroll mértékére utalhatnak. A vizsgált kardokon a hajtogatás bizonyos esetekben közvetlenül, réteges vagy sávos szerkezet formájában azonosítható, míg más példányoknál csak közvetettebb jelek alapján valószínűsíthető. Ezek közé tartozik a zárványok rendeződése, a karbonban eltérő összetételű sávok megjelenése, illetve a halvány, részben elmosódott hegedési vonalak jelenléte.[492]

A következőkben a tárgyalt technika empirikusan alátámasztható megjelenési formáit a vizsgált kardanyag konkrét példáin keresztül, egységes szempontrendszer szerint mutatom be. A vizsgált kardanyagban a hajtogatás több esetben egyértelműen azonosítható készítéstechnikai eljárásként jelenik meg, amelynek nyomai a mikroszerkezeti vizsgálatok alapján kétséget kizáróan a kovácsolási folyamat során kialakult szerkezeti jelenségekre vezethetők vissza. Ezekben az esetekben a hajtogatás jelenlétét nem csupán egyetlen megfigyelési elem, hanem több, egymást megerősítő mikroszerkezeti jellegzetesség támasztja alá. Ebbe a körbe sorolható mindenekelőtt a budapesti szórványlelet pengéje (ltsz. 79.5.1.), amelynek magjában jól elkülöníthető, eltérő karbontartalmú perlites sávok figyelhetők meg. Ezek a sávok nem esetleges inhomogenitásként, hanem a hajtogatás során kialakult rétegzettségként értelmezhetők, amit a minta közepén megjelenő, feltételezhetően a hajtogatási folyamat során keletkezett repedés is alátámaszt. Hasonlóképpen egyértelmű a hajtogatás jelenléte a Fülöp Gyula-kard (ltsz.: n.a.) esetében, ahol a penge magjában váltakozó karbontartalmú sávok figyelhetők meg, és ahol mind az optikai, mind az elektronmikroszkópos vizsgálatok a többszöri átkovácsolásra utaló, töredezett, részben szemcsés perlites szerkezetet mutattak ki. Ezeknél a kardoknál a hajtogatás nem egyszeri technológiai lépésként, hanem intenzívebb anyag-előkészítési eljárásként értelmezhető.

[492] TÓTH 2025, 3.

Egyértelmű hajtogatásos technika alkalmazása figyelhető meg az ismeretlen lelőhelyű szablyamarkolatú kardnál is (ltsz.: 66.52.1.), ahol az él felé eső területeken megjelenő sávos szerkezet, valamint a nagyméretű, a kovácsolás során nem kellően feldolgozott zárvány egyaránt a hajtogatásos homogenizálási kísérletre utal. A kiskundorozsmai szablyamarkolatú kard (ltsz.: n.a.) pengemagjánál szintén egyértelműen bizonyítható a hajtogatás. A pengemag sávos, eltérő karbontartalmú szerkezete itt egyértelműen többszöri hajtogatás eredményeként értelmezhető, amely a penge összetett technológiai felépítésének egyik alapvető eleme.

A Székesfehérvár–Rádiótelep I. A sírból származó kard (ltsz.: 5859.) esetében a hajtogatás jelenlétét a pengemagban kialakult kisebb-nagyobb karbontartalmú sávok, valamint a zárványok elhelyezkedése egyértelműen alátámasztja. Itt a hajtogatás intenzitása közepesnek tekinthető: bár nem alakult ki erőteljesen rétegzett szerkezet, a mikroszerkezeti jelenségek egyértelműen kizárják az egyszerű, telibe kovácsolt pengeszerkezet lehetőségét. A Székesfehérvár–Rádiótelep II./36. sír kardjánál (ltsz.: 5988) a hajtogatás még összetettebb formában jelenik meg, mivel nemcsak a pengemagban, hanem az él anyagában is kimutathatók a technikára utaló jelenségek. Ez a megoldás a vizsgált kardanyagban kivételesnek tekinthető, és a hajtogatás intenzív, többszöri alkalmazására utal.

A kutatás során több olyan penge is előkerült, ahol az eljárás jelenléte csak közvetett mikroszerkezeti jelek alapján valószínűsíthető. Ezeknél a példányoknál nem figyelhető meg markáns réteges vagy sávos szerkezet, ugyanakkor az anyagszerkezet több olyan sajátosságot mutat, amelyek egyszeri vagy korlátozott számú hajtás alkalmazására utalnak. A balsai kard (ltsz.: 66.36.1.) esetében például a pengemagban futó, hosszanti irányú karbondús sáv, valamint a zárványok egyoldali rendeződése arra utal, hogy az alapanyagot legalább egyszer meghajtották, feltehetően homogenizálási céllal. Hasonló megfigyelések tehetők a himesházi kard (ltsz.: n.a.) esetében is, ahol a karboneloszlás heterogenitása és a mintán keresztülfutó halvány hegedési vonal egy egyszeri hajtás lehetőségét veti fel, anélkül azonban, hogy többszöri hajtogatásra utaló, markáns szerkezeti elemek megjelennének.

A vizsgált húsz kardpenge készítéstechnikai elemzése alapján a hajtogatás tizenkét esetben volt kimutatható vagy megalapozottan valószínűsíthető, míg nyolc kardnál sem közvetlen, sem közvetett mikroszerkezeti jel nem utalt e technológia alkalmazására. Ez azt jelenti, hogy a hajtogatás a vizsgált kardanyag 60%-ában jelen van, vagyis általánosan elterjedt, de nem kizárólagos készítéstechnikai megoldásként értelmezhető.

A hajtogatás intenzitása kiegyenlített megoszlást mutat: négy kardnál alacsony intenzitású, feltehetően egyszeri hajtás alkalmazása valószínűsíthető, további négy példánynál közepes intenzitású hajtogatás figyelhető meg, míg négy kard esetében a mikroszerkezeti jelenségek többszöri, intenzív hajtogatásra utalnak.

A hajtogatás térbeli elhelyezkedése tekintetében egyértelmű mintázat rajzolódik ki. A hajtogatással érintett mind a tizenkét kard esetében a technikára utaló mikroszerkezeti jelenségek elsősorban a pengemaghoz köthetők. Az él anyagában hajtogatásra utaló nyom csupán egyetlen esetben, a Székesfehérvár–Rádiótelep II./36. sír (ltsz.:5988) kardjánál volt azonosítható, ami a vizsgált anyagban kivételes megoldásnak tekinthető. Az egri kard összetett szerkezete ellenére szintén ebbe az általános mintázatba illeszkedik, mivel a hajtogatásra utaló jelenségek döntő többsége ott is a pengemagban koncentrálódik. Mindez arra utal, hogy a hajtogatás elsődleges funkciója a kis karbontartalmú pengemag anyagának előkészítése és homogenizálása volt.

Összességében megállapítható, hogy a hajtogatás a vizsgált kardanyagban általánosan elterjedt és széles körben alkalmazott készítéstechnikai eljárás volt. A technika alkalmazása ugyan nem minden esetben azonos módon és intenzitással történt, azonban a vizsgált példányok jelentős részénél kimutatható jelenléte arra utal, hogy a hajtogatás a kora középkori kardkészítés alapvető anyag-előkészítési eszköztárához tartozott. A hajtogatás döntően a pengemaghoz kötődik, intenzitása az alapanyag minőségéhez és a penge szerkezeti koncepciójához igazodott, és gyakran más készítéstechnikai megoldásokkal – elsősorban kovácshegesztéssel – kombinálva jelent meg. Mindez azt mutatja, hogy a hajtogatás nem esetleges vagy kivételes technológiai lépés volt, hanem tudatosan alkalmazott, rugalmasan variált eljárás, amely hőkezelés nélkül is lehetővé tette a funkcionálisan differenciált pengeszerkezetek kialakítását.[493] A vizsgált kardpengék készítéstechnikai megoldásai közül a kovácshegesztés a hajtogatás mellett a második legjelentősebb, ugyanakkor funkcionálisan eltérő szerepet betöltő technológiai eljárásnak tekinthető. Míg a hajtogatás elsődlegesen az alapanyag minőségének javítását és homogenizálását szolgálta, addig a kovácshegesztés a pengék szerkezeti felépítésének és funkcionális tagolásának egyik alapvető eszközeként jelenik meg a vizsgált kardanyagban.

[493] A hajtogatással kapcsolatos kísérleti régészeti eredményeket lásd: 8. fejezet.

Sorszám	Kard	Hajtogatás	Hajtogatás helye	Hajtogatás intenzitása
1	Balsa (ltsz.: 66.63.1)	igen (nehezen azonosítható)	penge egésze	alacsony (vélehtően egyszeri hajtás)
2	Budapesti szórványlelet (ltsz.: 79.5.1)	igen (egyértelmű)	pengemag	magas (többszöri)
3	Eger, ismeretlen lelőhelyű kard (ltsz.:54.84.1.)	igen (egyértelmű)	pengemag	közepes
4	Fülöp Gyula kard (ltsz.: n.a.)	igen (egyértelmű)	pengemag	magas (többszöri)
5	Himesházán előkerült kard (ltsz: n.a.)	igen (nehezen azonosítható)	pengemag	alacsony (vélhatően egyszeri hajtás)
6	Szablyamarkolatú kard (Nyíregyháza, ltsz.: 66.52.1)	igen (egyértelmű)	pengemag	közepes
7	Kiskundorozsma - Vöröshomok-dűlő (ltsz.: n.a.)	igen (egyértelmű)	pengemag	magas (többszöri)
8	Budapest Mexikói úti kard (ltsz.: M55.157.2)	igen (nehezen azonosítható)	pengemag	alacsony
9	Nyíregyháza–Polyákbokor, Peres-dűlő (ltsz.:66.50.1)	igen (nehezen azonosítható)	pengemag	közepes
10	Székesfehérvár – Rádiótelep I., A sír (ltsz.: 5859)	igen (egyértelmű)	pengemag	közepes
11	Székesfehérvár – Rádiótelep II/36. sír (ltsz.: 5988)	igen (egyértelmű)	pengemag és él	magas (többszöri)
12	Vörs–Papkert B, 167. sír (ltsz.: 1957.02.01.)	igen (valószínű)	pengemag	alacsony

2. táblázat: A hajtogatásos technikával készült kardpengék összefoglaló táblázata.

A metallográfiai vizsgálatok alapján a kovácshegesztés nem elszigetelt jelenségként, hanem – hasonlóan a hajtogatáshoz – ismétlődő, jól felismerhető készítéstechnikai mintázatként azonosítható, amely a pengeszerkezet kialakításában meghatározó szerepet játszott. A jelen fejezetben kovácshegesztés alatt azt az eljárást értem, amelynek során a kovács két vagy több, eltérő tulajdonságú alapanyagot magas hőmérsékleten, képlékeny állapotban egyesít annak érdekében, hogy a penge különböző részei eltérő mechanikai tulajdonságokkal rendelkezzenek.[494] A technika alkalmazása lehetővé tette a lágyabb, szívós pengemag és a nagyobb karbontartalmú, keményebb él tudatos elkülönítését, illetve ezek kombinálását egyetlen pengeszerkezeten belül. A kovácshegesztés alkalmazása különösen azokban az esetekben válhatott indokolttá, amikor az alapanyag minősége vagy mennyisége nem tette lehetővé egyetlen homogén anyagból a kívánt tulajdonságú penge kialakítását.

A kovácshegesztés vizsgálata egyaránt lehetővé teszi az élbetétes szerkezet azonosítását és a penge szerkezeti felépítésének – egy- vagy többdarabos jellegének – empirikus megalapozását. A hajtogatással ellentétben – amely önmagában nem dönt a pengeszerkezet darabszámáról – a kovácshegesztés anyaghatárokat hoz létre, amelyek a mikroszerkezetben hegedési vonalak, zárványok íves rendeződése, valamint eltérő karbontartalmú szövetek találkozása formájában azonosíthatók. Ennek következtében a kovácshegesztés jelenléte vagy hiánya alapvető jelentőségű a pengék szerkezeti felépítésének értelmezésében.

A vizsgált kardokon a kovácshegesztés nyomai elsősorban a pengemag és az él határán megjelenő hegedési vonalak mentén ragadhatók meg, ugyanakkor egyes példányoknál a pengeszerkezet ennél összetettebb megoldásokat is mutat. Előfordulnak olyan kardok, ahol a pengemag és az él közé további betéteket illesztettek. Ezek az összetett szerkezeti megoldások a készítési folyamat tudatos megtervezésére és a technológiai lépések magas fokú kontrolljára utalnak. A kovácshegesztés empirikus azonosítása ugyanakkor nem minden esetben problémamentes: erősen korrodált minták esetében a hegedési vonalak részben elmosódhatnak, illetve a karbondiffúzió következtében az eredetileg éles anyaghatárok feloldódása is megfigyelhető. Ennek ellenére a hegedési zónákhoz kötődő mikroszerkezeti jelenségek – különösen a zárványok rendeződése és az eltérő szövetek találkozása – a legtöbb esetben lehetővé teszik a kovácshegesztés megalapozott azonosítását.

[494] Halmágyi-Riedel 1986, 37.

A kovácshegesztés megjelenési formái a vizsgált kardanyagban jól elkülöníthető technológiai mintázatok mentén értelmezhetők, a legegyszerűbb szerkezeti megoldásoktól a komplex, több lépcsőben kialakított pengeszerkezetekig. A legegyértelműbb esetek azok a kardok, ahol a penge két jól elkülöníthető alapanyagból készült, és a pengemag és az él határán markáns hegedési vonal figyelhető meg. Ilyen szerkezet figyelhető meg a Beszterec–Gyalap-tanyai kard (ltsz.: 66.46.1.) esetében, ahol a lágy, ferrites pengemagra kovácsolt, nagyobb karbontartalmú, perlites él a csiszolatokon jól elkülöníthető, és ahol a zárványok íves elrendeződése, valamint a keménységértékek ugrásszerű növekedése egyértelműen igazolja a kovácshegesztés alkalmazását. Hasonlóan jól értelmezhető szerkezet figyelhető meg a Mexikói úti kardnál (ltsz.: M55.57.2.) is, ahol a pengemag ferrites–perlites szövete és az él nagyobb karbontartalmú perlites anyaga között határozott hegedési vonal húzódik, amely önmagában is bizonyítja a több darabból történő kialakítást.

Összetettebb megoldásként értelmezhetők azok az esetek, ahol a pengemag és az él mellett átmeneti vagy köztes zónák is azonosíthatók. A Nyíregyháza–Polyákbokor, Peres-dűlői kard (ltsz.:66.50.1.) esetében a pengemag eltérő karbontartalmú anyagból áll, amelyre nagyobb karbontartalmú, finom perlites él került rákovácsolásra; a hegedési vonalak ugyan nem mindenhol rajzolódnak ki élesen, azonban a mikroszerkezeti eltérések és a keménységmérések együttese megalapozottan igazolja a több darabból történő kialakítást. A kovácshegesztés és a hajtogatás együttes alkalmazása figyelhető meg a budapesti szórványlelet esetében, ahol a hajtogatással homogenizált pengemagra külön élbetét került, és ahol a magban megfigyelhető perlites sávok, valamint az él és a mag közötti hegedési vonal együttesen tanúskodnak a két technológia kombinált alkalmazásáról.

A kovácshegesztés különösen összetett formában jelenik meg a kiskundorozsmai szablyamarkolatú kard pengéjén, ahol a hajtogatással készült pengemagra nemcsak egyetlen élbetétet kovácsoltak rá, hanem a mag és az él közé további betétet is beillesztettek. A csiszolatokon több, egymástól jól elkülöníthető hegedési vonal figyelhető meg, amelyeket zárványsorok kísérnek, egyértelműen bizonyítva a több lépcsőben összeállított pengeszerkezetet. Az egri, ismeretlen lelőhelyű kard (ltsz.: 54.84.1.) esetében a kovácshegesztés szintén igazolható, azonban a penge összetett szerkezete miatt az eljárás értelmezése nagyobb körültekintést igényel: a hegedési vonalak elsősorban a pengemaghoz köthetők, ahol a hajtogatásra utaló jelenségek is koncentrálódnak, míg a penge további részei részben más technológiai megoldásokhoz kapcsolódnak.

A vizsgált húsz kardpenge metallográfiai elemzése alapján megállapítható, hogy a kovácshegesztés tíz esetben volt egyértelműen kimutatható. Ezeknél a példányoknál a hegedési vonalak, az anyaghatárok mentén rendeződő zárványsorok, valamint az eltérő karbontartalmú szövetek találkozása közvetlen bizonyítékot szolgáltat arra, hogy a pengéket több darabból kovácsolták össze. A kovácshegesztett pengék túlnyomó többségénél a technológiai megoldás a lágyabb, szívós pengemag és a nagyobb karbontartalmú, keményebb él elkülönítését szolgálta, amely a legtöbb esetben jól értelmezhető funkcionális logikát követ. A pengemag és az él közötti anyaghatár egyes példányoknál éles hegedési vonalként, más esetekben szélesebb diffúziós zónában jelenik meg; utóbbira különösen jó példa a veszprémi kard, ahol a fokozatos átmenet a kovácshegesztést követő karbondiffúzióra és intenzív átkovácsolásra utal.

Kovácshegesztési megoldás	**Szerkezeti jellemzők**	**Vizsgált példák**
Egyszerű mag–él kovácshegesztés	Lágy, kis karbontartalmú magra kovácsolt keményebb él	Beszterec–Gyalaptanya kardja (ltsz.:66.46.1); Mexikói úti kard (ltsz.: M55.157.2)
Mag–él kovácshegesztés hajtogatott maggal	Hajtogatással homogenizált mag, arra kovácsolt él	Budapesti szórványlelet (ltsz.: 79.5.1)
Mag–él kovácshegesztés diffúz átmenettel	Elmosódó anyaghatár, széles diffúz zóna a mag és az él között	Sóstó (Vízművek) 1971 számú kard (ltsz.: 73.4.1); veszprémi kard (ltsz.: n.a.)
Hajtogatott mag + kovácshegesztett él	Anyagminőség szerint elkülönülő, hajtogatott mag és külön élbetét	Nyíregyháza–Polyákbokornál előkerült kard (ltsz.: 66.50.1.); Székesfehérvár – Rádiótelep I. A és II. 36. sírban talált kardok (ltsz.: 5859; 5988)
Többszörös kovácshegesztés	Összetett pengeszerkezet, köztes betétek, több hegesztési felület	kiskundorozsmai kard (ltsz.: n.a.); egri szórványlelet (ltsz.: 54.84.1)

3. táblázat: A vizsgált kardpengék kovácshegesztési megoldásainak és szerkezeti jellemzőinek összefoglalása.

Összességében megállapítható, hogy a kovácshegesztés a vizsgált kardanyag felében (10/20) kimutatható készítéstechnikai megoldás, amely megbízhatóan igazolja a több darabból történő

penge-előállítást. A technika alkalmazása döntően a pengék funkcionális differenciálásához kapcsolódik, különösen a lágy mag és a kemény él elkülönítése formájában, miközben mikroszerkezeti megjelenése az alkalmazott technológiai megoldások változatosságát és intenzitását tükrözi. A kovácshegesztés ily módon a vizsgált kardanyag egyik legfontosabb értelmezési kulcsa, amely szorosan kapcsolódik a hajtogatáshoz, és együtt alkotják a kora középkori kardkészítés alapvető technológiai keretrendszerét. Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a kovácshegesztések vizsgálata különösen alkalmas a penge szerkezetének feltárására.

A hőkezelés szempontjából a vizsgált kardpengék technológiai értelmezése alapvetően eltér a hajtogatás és a kovácshegesztés elemzésétől. Míg utóbbiak esetében a mikroszerkezeti jelenségek túlnyomó többsége egyértelműen visszavezethető tudatos, ismétlődő kovácsolási eljárásokra, addig a hőkezelés olyan technológiai beavatkozást jelent, amely a vizsgált anyagban ritkábban, kevésbé egységes formában, ugyanakkor potenciálisan kiemelkedő funkcionális jelentőséggel jelenik meg. Ennek megfelelően a hőkezelés a vizsgált kardanyag egyik legösszetettebb és legóvatosabban értelmezhető készítéstechnikai eleme.
A hőkezelés alkalmazása a kardkészítés során nem tekinthető általános gyakorlatnak, ugyanakkor minden olyan eset, ahol annak nyomai kimutathatók vagy akár csak valószínűsíthetők, kiemelt figyelmet érdemel. A metallográfiai vizsgálatok tanúsága szerint a hőkezeléshez köthető mikroszerkezeti jelenségek nem a pengék egészére kiterjedően, hanem elsősorban a funkcionálisan kritikus zónákhoz, mindenekelőtt a penge éléhez kapcsolódva jelennek meg. Ez a megfigyelés összhangban áll azzal a feltételezéssel, hogy a hőkezelés – amennyiben alkalmazták – célzott, részleges technológiai beavatkozásként szolgálta a penge vágóképességének és tartósságának javítását.

A szakirodalom szerint a kardpengék edzésének történeti értelmezése több bizonytalansággal jár, mivel a fennmaradt példányok állapota és a mintavétel helye jelentősen befolyásolja az edzésre utaló jelek azonosíthatóságát. A pengéket bizonyos esetekben teljes keresztmetszetükben, máskor csupán meghatározott zónákban, elsősorban a vágóél mentén edzették, ami a metallográfiai vizsgálatok során eltérő módon jelenik meg. Az edzés alkalmazásának alapfeltétele a nagyobb karbontartalmú él jelenléte volt, azonban a 6–8. századi kardpengék esetében az élek csak körülbelül az esetek felében tartalmaztak acélt, ami magyarázza, hogy ebben az időszakban a kardok kisebb hányada esett át hőkezelésen. A 8. század második felétől az acéllal erősített pengék gyakoribbá válásával párhuzamosan az edzett

kardok száma is növekedett, és a kora karoling időszakban megfigyelhetővé vált az élre korlátozott szelektív edzés elterjedése. A keményebb éllel ellátott pengék arányának növekedését a kutatás azokkal a társadalmi, katonai és technológiai változásokkal hozza összefüggésbe, amelyek a kardok funkcionális tulajdonságainak javulását kísérték. A részlegesen edzett pengék alkalmazása a 9. század közepétől visszaszorult, majd a 10–11. század folyamán tovább csökkent, ami részben a hipereutektoidos acél élbetétek megjelenésével magyarázható, mivel ezek az anyagok edzés nélkül is megfelelő keménységet és kopásállóságot biztosíthattak.[495]

Éppen kivételes jellege miatt a hőkezelés értelmezése különösen körültekintő megközelítést igényel, amelyben nemcsak a nagyobb biztonsággal azonosítható eseteket, hanem azokat a példányokat is figyelembe kell venni, ahol a megfigyelt jelenségek csupán feltételezik, de nem bizonyítják egyértelműen a tudatos hőkezelési gyakorlat jelenlétét. Ennek megfelelően a vizsgált kardpengék hőkezelés szempontjából két csoportba sorolhatók: egyrészt azok, ahol a hőkezelés alkalmazása nagyobb biztonsággal igazolható; másrészt azok, ahol a hőkezelés lehetősége felmerül, de nem támasztható alá egyértelműen, illetve a hőkezeléshez köthető jelenségek nagy valószínűséggel nem tudatos technológiai lépés eredményei.

Az első csoportba azok a kardok tartoznak, amelyek esetében a hőkezelés alkalmazása a mikroszerkezeti megfigyelések alapján nagyobb biztonsággal igazolható. Ezeknél a példányoknál a penge élének környezetében bainites, illetve martenzites szövetelemek jelennek meg, amelyek nem elszigetelten, hanem funkcionálisan értelmezhető módon fordulnak elő. Ilyen jelenségek figyelhetők meg a kiskundorozsmai szablyamarkolatú kard esetében, ahol az élzónában bainit és helyenként martenzit is azonosítható, valamint a kunágotai kardnál, ahol a megmaradt élközeli területeken bainites–martenzites szövet figyelhető meg. Ezekben az esetekben hangsúlyozandó, hogy a megfigyelt mikroszerkezet nem teljes értékű, modern értelemben vett edzésre, hanem inkább mérsékelt, ún. *slack quenching* jellegű hűtési eljárásra utal, amelynek során a keménység növekedése nem jár együtt szélsőséges ridegséggel.[496]

A második csoportba azok a kardpengék sorolhatók, ahol a hőkezelés alkalmazása csupán feltételezhető, de nem igazolható egyértelműen. Ezeknél a példányoknál a gyorsabb lehűlésre utaló szövetelemek – például bainites jellegű mezők – kis kiterjedésben, elszórtan jelennek

[495] KOŠTA ET AL. 2021, 38-39.
[496] WILLIAMS 2003, 12; WILLIAMS 2012, 22.

meg, jellemzően a penge közvetlen élzónájában. Ide sorolható a Mexikói úti kard, ahol az él közelében bainites szigetek fordulnak elő, valamint a Nyíregyháza–Felsőpázsitnál előkerült kard, ahol a mikroszerkezet és a keménységi értékek gyorsabb lehűlés lehetőségét vetik fel, ugyanakkor a jelenségek nem alkotnak következetes, egyértelmű mintázatot. Ezekben az esetekben a megfigyelések inkább értelmezési lehetőséget kínálnak, semmint bizonyított technológiai beavatkozást.

Kard	**Megfigyelt mikroszerkezeti jelenség**	**Érintett penge-zóna**	**Jellemző keménységértékek**	**Értelmezés**
kunágotai kard (ltsz.: 53.170.1))	Bainit és martenzit jelenléte	Élhez közeli zóna (a mag nem érintett)	perlites terület: ~429 HV1; él felé: ~654 HV1	Tudatos, edzésszerű hűtés (*slack quenching*)
kiskundorozsmai kard (ltsz.: n.a.)	Bainit, helyenként martenzit	Él és pengehegy	él: ~442 HV1; pengehegy: ~390 HV1	Tudatos, edzésszerű hűtés (*slack quenching*)
Mexikói úti kard (ltsz.: M55.157.2)	Bainites szövetelemek kis kiterjedésben	Közvetlen élzóna	él közelében nagyobb keménység (≈300 HV1 felett)	Nem feltétlenül tudatos, geometriai adottságokból fakadó jelenség
Nyíregyháza–Felsőpázsitnál előkerült kard (ltsz.: 66.53.1)	Finom lemezes perlit, homogén szövet	Teljes keresztmetszet	mag: ~312 HV1; él: ~323 HV1	Gyorsabb lehűlés, szándékos edzés nem igazolható

4. táblázat: A vizsgált kardpengéken megfigyelt hőkezelésre utaló mikroszerkezeti jelenségek és keménységi értékek.

A vizsgált húsz kardpengéből négy esetben merül fel a hőkezelés alkalmazásának lehetősége. Ezek közül két kardnál – a kunágotai és a kiskundorozsmai példánynál – a mikroszerkezeti megfigyelések és a kiugró keménységértékek alapján tudatos, edzésszerű hűtés (*slack quenching*) alkalmazása nagy biztonsággal feltételezhető. Mindkét esetben a gyors lehűlés hatására kialakuló bainites, illetve martenzites szövetelemek jól körülhatárolható zónákban, elsősorban az él és a pengehegy térségében jelentkeznek, miközben a penge magja megőrzi

szívósabb szerkezetét. Ezzel szemben a Mexikói úti kard és a nyíregyháza–felsőpázsiti kard esetében a gyorsabb lehűlésre utaló mikroszerkezeti jelenségek kizárólag lokálisan, kisméretű, szigetszerű formában jelennek meg, és sem kiterjedésük, sem a keménységértékek eloszlása nem támasztja alá egyértelműen a tudatos hőkezelés alkalmazását.

A fenti adatok alapján megállapítható, hogy a hőkezelés a vizsgált kardanyagban ritka és kivételes technológiai megoldás, amely mindössze a minták egytizedénél (2/20) azonosítható nagyobb biztonsággal tudatos eljárásként.[497] Ez az arány jól mutatja, hogy a kora középkori kardkovácsok a pengék mechanikai tulajdonságait elsősorban anyagválasztással, hajtogatással és kovácshegesztett szerkezeti megoldásokkal szabályozták, míg a hőkezelés alkalmazása csak speciális esetekben vált indokolttá vagy technológiailag kivitelezhetővé.

Összegzés

A kardpengéken végzett metallográfiai vizsgálatok alapján egyértelműen megállapítható, hogy a vizsgált kora középkori kardkészítés technológiai súlypontja nem a hőkezelésben, hanem az anyagszerkezeti felépítés tudatos kialakításában és a kovácsolási eljárások kombinált alkalmazásában keresendő. A pengék mechanikai tulajdonságainak szabályozása elsősorban nem utólagos hőkezelési beavatkozások révén történt, hanem már a nyersanyag megválasztásának, előkészítésének és a kovácsolási folyamat során hozott technológiai döntések szintjén. A kovácsok a rendelkezésre álló alapanyag minőségét, annak belső szerkezetét, valamint az alakítás intenzitását és módját használták fel arra, hogy a pengék funkcionális tulajdonságait célzottan alakítsák.

Ez a szelélet legmarkánsabban a hajtogatás alkalmazásában ragadható meg, amely a vizsgált anyagban a leggyakrabban előforduló és technológiailag legjelentősebb eljárásként jelenik meg. A hajtogatás elsősorban a penge magjához köthető, ahol a bucavas inhomogén karboneloszlásának kiegyenlítését és a zárványtartalom csökkentését szolgálta. Bár intenzitása és mikroszerkezeti felismerhetősége változó, jelenléte számos példán egyértelműen igazolható, ami arra utal, hogy a hajtogatás a korszak kardkovácsai számára nem kivételes megoldás,

[497] Továbbá a martenzit előfordulása a Kárpát-medence kora középkori vágó- és hajítófegyverein nem tekinthető gyakorinak, amit a 9–10. századi magyar szablyák archaeometallurgiai vizsgálatainak eredményei is megerősítenek. A négy vizsgált szablya közül mindössze egy esetben figyelték meg martenzit jelenlétét (Szablya, ismeretlen lelőhely, ltsz.: 58.193.1, Herman Ottó Múzeum, Miskolc). HARAMZA-TÖRÖK 2021.

hanem széles körben ismert és rutinszerűen alkalmazott anyag-előkészítési és -finomítási technika volt.

A hajtogatással szoros technológiai összefüggésben jelenik meg a kovácshegesztés, amely a vizsgált pengék jelentős részénél kimutatható, és alapvető szerepet játszott a pengék szerkezeti és funkcionális differenciálásában. A kovácshegesztés elsősorban eltérő minőségű alapanyagok tudatos kombinálását tette lehetővé, különösen a lágyabb, szívós mag és a nagyobb karbontartalmú, keményebb él elkülönítése formájában. A klasszikus „lágy mag – kemény él" konstrukció több esetben is azonosítható, és jól mutatja, hogy a kívánt mechanikai tulajdonságokat a kovácsok hőkezelés alkalmazása nélkül is képesek voltak elérni. Egyes példányok ennél összetettebb szerkezeti megoldásokat mutatnak, ami a technológiai döntések tudatosságára és a nyersanyaggal való differenciált bánásmódra utal.

A vizsgált anyagban ugyanakkor olyan pengék is előfordulnak, amelyeknél sem hajtogatás, sem kovácshegesztés nem mutatható ki. Ezeket a kardokat egyetlen alapanyagból, ún. telibe kovácsolással alakították ki. Esetükben a megfelelő mechanikai tulajdonságokat a viszonylag magas karbontartalmú alapanyag, az intenzív kovácsolás, valamint a lehűlés módja biztosította. A telibe kovácsolt pengék jelenléte világosan jelzi, hogy a kora középkori kardkészítésben nem létezett egységes technológiai „recept": a készítési módokat az elérhető nyersanyag, a kovács tapasztalata és a fegyverrel szemben támasztott funkcionális elvárások egyaránt alakították.

A hőkezelés a jelen kutatás keretében vizsgált kardanyag alapján marginális és kivételes technológiai elemként értelmezhető. Tudatos, edzésszerű hűtés mindössze két esetben azonosítható nagyobb biztonsággal, míg további példányoknál a gyorsabb lehűlésre utaló mikroszerkezeti jelenségek kizárólag a penge legvékonyabb élzónájára korlátozódnak, és nagy valószínűséggel nem tudatos technológiai beavatkozás, hanem a penge geometriai adottságaiból és a kovácsolási folyamat során fellépő hőhatások mellékhatásaiként értelmezhetők.

Összességében a vizsgált kardok elemzése azt mutatja, hogy a kora középkori kardkészítés komplex és rugalmas gyakorlat volt, amelyben a pengék mechanikai tulajdonságainak kialakítása elsősorban az anyagszerkezeti felépítés tudatos alakításán alapult. A hajtogatás és a kovácshegesztés széles körben alkalmazott, egymással gyakran kombinált eljárásokként jelentek meg, és lehetővé tették az eltérő minőségű alapanyagok funkcionális differenciálását, mindenekelőtt a szívós pengemag és a keményebb él elkülönítését.

A telibe kovácsolt pengék jelenléte ugyanakkor azt is jelzi, hogy a korszakban nem létezett egységes technológiai recept: a készítési megoldásokat feltételezhetően az elérhető nyersanyag, a kovács tapasztalata és a fegyverrel szemben támasztott funkcionális elvárások egyaránt befolyásolták. A hőkezelés ezzel szemben a vizsgált anyagban marginális és kivételes technológiai elemként jelenik meg; tudatos alkalmazása mindössze elszórt esetekben igazolható, míg más példányoknál a gyorsabb lehűlésre utaló mikroszerkezeti jelenségek inkább a penge geometriai adottságainak és a kovácsolási folyamat mellékhatásainak tulajdoníthatók.

A vizsgált kardanyag összképe alapján megállapítható, hogy a kora középkori kardkovácsok a pengék funkcionális tulajdonságait elsősorban strukturális és kovácstechnológiai eszközökkel szabályozták, nem pedig kontrollált hőkezelési eljárásokkal. Ez az értelmezés nem általános modellként, hanem kifejezetten a jelen kutatás keretében vizsgált leletanyag tükrében érvényes.

9.2. A kardpengék készítéstechnikai klasszifikációja

A 9.1. alfejezet a vizsgált kardpengék készítéstechnikai jelenségeit és azok megjelenési mintázatait mutatta be, különös tekintettel a hajtogatásra, a kovácshegesztésre és az edző hatású hűlés mikroszerkezeti jeleire. A bemutatott példák rávilágítottak arra, hogy az egyes technológiai megoldások milyen formában jelennek meg a metallográfiai vizsgálatok során, valamint arra is, hogy a megfigyelhető jelenségek miként kapcsolódnak a pengék szerkezeti felépítéséhez.

A jelen alfejezet ezekre az eredményekre építve egy készítéstechnikai klasszifikációs rendszert vezet be. A cél nem a korábban tárgyalt jelenségek újbóli, példákon alapuló ismertetése, hanem azok következetes, egységes szempontrendszer szerinti rendszerezése. A klasszifikáció alapját kizárólag olyan megfigyelések képezik, amelyek a metallográfiai vizsgálatokkal közvetlenül azonosíthatók, illetve a pengék szerkezeti felépítésével egyértelműen összefüggésbe hozhatók.

A fejezet logikája a pengék szerkezeti kialakításából indul ki. Elsődleges csoportosítási szempontként elkülöníti azokat a pengéket, amelyek egyetlen alapanyag felhasználásával készültek, azoktól, amelyek esetében eltérő anyagminőségű részeket kovácshegesztéssel egyesítettek. A két fő csoporton belül további alcsoportok különülnek el az anyag-előkészítés módja – különösen a hajtogatás szerepe –, valamint a pengemag és az él viszonya alapján.

Fontos hangsúlyozni, hogy a bemutatott klasszifikáció nem kronológiai és nem morfológiai, továbbá nem törekszik technológiai fejlődési sor felállítására. A kategóriák nem hierarchikusak, és nem értékítéletet fejeznek ki, hanem kizárólag a vizsgált kardpengéken megfigyelhető készítéstechnikai megoldások strukturált bemutatását szolgálják. A rendszer célja az egyes pengék közötti technológiai különbségek áttekinthető összevetése, valamint a készítési megoldások sokféleségének egységes keretben történő értelmezése.

A klasszifikáció áttekinthetőségét a fejezetben alkalmazott sémás ábrázolás segíti, amely a készítéstechnikai szempontokat logikus rendbe szervezve jeleníti meg. A fejezet további része ezt a struktúrát követve mutatja be az egyes csoportokat és alcsoportokat, valamint azok jellegzetes szerkezeti sajátosságait.

I. főcsoport – Egy darabból készült pengék

Az I. főcsoportba azok a kardpengék tartoznak, amelyek a metallográfiai vizsgálatok alapján egyetlen alapanyag felhasználásával készültek, és amelyek szerkezetében nem mutathatók ki olyan anyaghatárok vagy hegedési zónák, amelyek eltérő funkciójú vagy minőségű elemek kovácshegesztett egyesítésére utalnának. Ezeknél a pengéknél egységes alapanyagról beszélhetünk, még akkor is, ha annak karbontartalma vagy mikroszerkezeti megjelenése helyenként változatos.

A csoport meghatározása nem a pengék homogenitására, hanem azok szerkezeti egységességére épül. Az ide sorolt kardok esetében a megfigyelt mikroszerkezeti különbségek – például a karbontartalom fokozatos változása vagy a perlit és ferrit arányának eltérései – nem különálló elemek összekapcsolásának eredményei, hanem az alapanyag inhomogenitásából, az alakítás intenzitásából, illetve a hűlési viszonyokból fakadó jelenségek. Ennek megfelelően az I. főcsoportba tartozó pengék készítéstechnikai értelmezése alapvetően eltér a több darabból összeállított pengeszerkezetekétől.

Az egy darabból készült pengék két alcsoportba sorolhatók az anyag-előkészítés módja alapján: a telibe kovácsolással kialakított pengék és a hajtogatással előkészített, de szerkezetileg továbbra is egységes pengék csoportjába.

I/A alcsoport - Telibe kovácsolással készült pengék

Az I/A alcsoportba azok a kardpengék tartoznak, amelyek esetében a metallográfiai vizsgálatok nem mutattak ki hajtogatásra vagy kovácshegesztésre utaló mikroszerkezeti nyomokat. Ezeknél a pengéknél a szerkezet egyetlen alapanyagból épül fel, amelyet a kovács a kívánt forma eléréséig alakított, külön anyag-előkészítési lépések – például hajtogatás – alkalmazása nélkül.

A telibe kovácsolt pengék mikroszerkezetére jellemző, hogy a keresztmetszetben nem jelennek meg hegedési vonalak, illetve olyan réteges vagy sávos szerkezeti elemek, amelyek ismétlődő anyag-összedolgozásra utalnának. A karbontartalom eloszlása ezeknél a pengéknél lehet viszonylag homogén, de gyakran megfigyelhető fokozatos változás a mag és az él irányában. Ez a jelenség azonban nem külön kialakított szerkezeti elemek eredménye, hanem az alapanyag eredendő inhomogenitásával, valamint a penge geometriai adottságaiból következő eltérő lehűlési viszonyokkal magyarázható.

A telibe kovácsolt pengék között több olyan példány is található, amelyek esetében a mikroszerkezet túlnyomórészt ferrites–perlites jellegű, és a keménységértékek a keresztmetszeten belül viszonylag szűk tartományban mozognak. Ezeknél a kardoknál sem hajtogatásra, sem edző hatású gyors hűtésre utaló jelenségek nem voltak kimutathatók. Más esetekben ugyanakkor a teljes keresztmetszeten magasabb karbontartalmú, finom perlites szövet figyelhető meg, amely intenzív kovácsolásra és gyorsabb lehűlésre utal, anélkül azonban, hogy ez tudatos hőkezelési eljárásként értelmezhető lenne.

I/B alcsoport - Hajtogatással előkészített, de egy darabból kovácsolt pengék

Az I/B alcsoportba azok a kardpengék sorolhatók, amelyek esetében a metallográfiai vizsgálatok hajtogatásra utaló mikroszerkezeti jelenségeket tártak fel, ugyanakkor a penge szerkezete továbbra is egységesnek tekinthető, vagyis nem különíthetők el egymástól funkcionálisan eltérő, kovácshegesztéssel egyesített elemek.

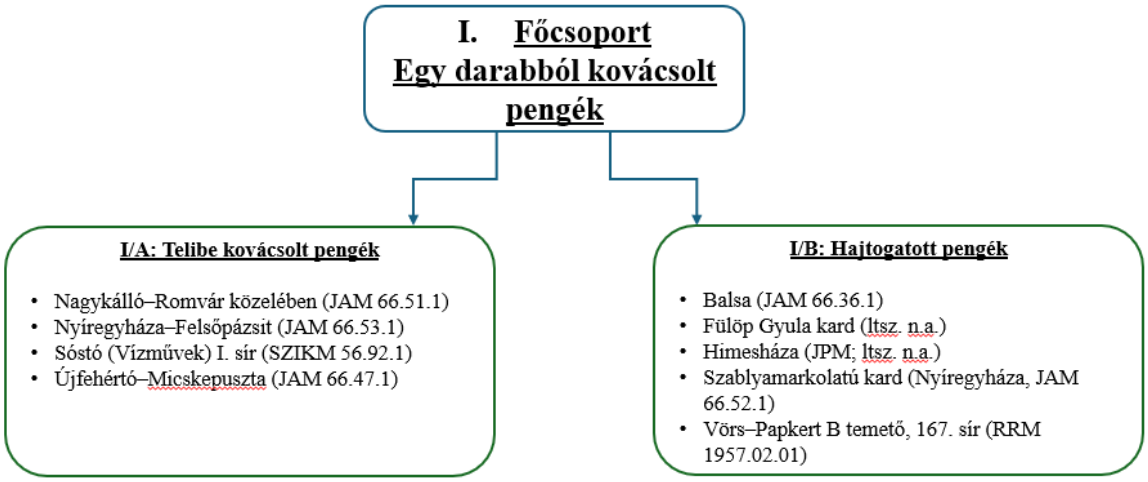
Ezeknél a pengéknél a hajtogatás az alapanyag előkészítését és homogenizálását szolgálta. A mikroszerkezeti vizsgálatok során a hajtogatás jelenlétére utalhatnak az eltérő karbontartalmú sávok váltakozása, a zárványok rendezett elhelyezkedése, valamint a részben elmosódott, de következetes irányultságot mutató szerkezeti elemek. Ugyanakkor ezek a jelenségek nem alkotnak olyan éles anyaghatárokat, amelyek külön kialakított pengemagra vagy élbetétre utalnának.

A hajtogatással előkészített pengék esetében a karbontartalom eloszlása gyakran heterogénebb képet mutat, mint a telibe kovácsolt pengéknél. Ez a heterogenitás azonban nem szerkezeti tagoltságként, hanem az alapanyag minőségének javítását célzó kovácsolási folyamat eredményeként értelmezhető.

Az I/B alcsoport pengéinél a hajtogatás ellenére sem figyelhetők meg olyan mikroszerkezeti jelenségek, amelyek külön kialakított él vagy pengemag jelenlétét igazolnák. A penge egészének funkcionális viselkedése így továbbra is egyetlen alapanyag tulajdonságain alapul, még akkor is, ha azok a hajtogatás révén kedvezőbbé váltak.

Az egy darabból készült pengék csoportja jól mutatja, hogy a kora középkori kardkészítésben a megfelelő mechanikai tulajdonságok kialakítása nem kizárólag több elemből összeállított szerkezeti megoldásokhoz kötődött. A telibe kovácsolt és a hajtogatással előkészített pengék egyaránt alkalmasak voltak funkcionálisan hatékony fegyverek létrehozására, amennyiben az alapanyag minősége és a kovácsolás technológiai kontrollja ezt lehetővé tette.

Az I. főcsoportba sorolt pengék ezért fontos viszonyítási alapot jelentenek a következő alfejezetben tárgyalt, több darabból készült pengeszerkezetek értelmezéséhez, mivel világosan elkülönítik azokat a technológiai megoldásokat, amelyek az anyag-előkészítésen belül maradnak, azoktól, amelyek már a penge szerkezeti tagolására épülnek. Az egy darabból kovácsolt pengék I/A és I/B alcsoportba sorolása a 10. képen áttekinthető módon kerül bemutatásra.



10.kép: Az I. főcsoportba sorolt, egy darabból kovácsolt kardpengék alcsoportjai (I/A–I/B) a metallográfiai megfigyelések alapján.

II. főcsoport – Több darabból kovácsolt pengék

A II. főcsoportba azok a kardpengék tartoznak, amelyek esetében a metallográfiai vizsgálatok egyértelműen igazolták, hogy a penge több, egymástól elkülöníthető anyagrész kovácshegesztésével jött létre. Ezeknél a kardoknál a penge szerkezeti felépítése nem értelmezhető egyetlen alapanyag változataként, hanem csak úgy ragadható meg, ha a kardot egységként kezelve, azon belül elkülönítjük a pengemagot és az élt, valamint ezek kialakítási módjait (11.kép).

Fontos hangsúlyozni, hogy a II. főcsoport klasszifikációs alapegysége minden esetben a teljes kardpenge. A pengemag és az él elkülönítése nem önálló tárgyak vagy technológiai egységek leválasztását jelenti, hanem elemzési szempontot, amely lehetővé teszi a több darabból kovácsolt szerkezetek technológiai értelmezését.

A vizsgált kardanyagban előfordulnak olyan példányok is, amelyeknél az él több, egymáshoz kovácshegesztett elemből áll. Ezek az esetek szerkezeti szempontból összetettebb megoldást képviselnek, ugyanakkor az él anyag-előkészítési módja ezeknél a kardoknál is besorolható a telibe kovácsolt vagy a hajtogatott él kategóriájába. Ennek megfelelően az él több darabból történő kialakítása nem önálló alcsoportként, hanem a II/B/1 vagy II/B/2 alcsoporton belüli sajátos szerkezeti megoldásként értelmezhető.

A II. főcsoporton belüli tagolás nem egymást kizáró pengetípusokat jelöl, hanem a több darabból kovácsolt pengék két szerkezeti komponensének – a pengemagnak és az élnek – feldolgozási módját írja le. Ennek megfelelően a II/A és II/B alcsoportok nem alternatív besorolások, hanem ugyanazon pengeszerkezet eltérő elemzési nézőpontjai.

II/A alcsoport - A több darabból kovácsolt pengék magja

A II/A alcsoportba azok a kardpengék tartoznak, amelyeknél a pengemag önállóan kialakított szerkezeti elemként azonosítható, és amelyhez az él kovácshegesztéssel kapcsolódik. Ezekben az esetekben a pengemag nem pusztán a penge belső része, hanem olyan meghatározó technológiai komponens, amely a kard mechanikai viselkedését alapvetően befolyásolja. A II/A alcsoporton belül a pengemag kialakításának módja alapján további alcsoportok különíthetők el.

II/A/1 alcsoport - Telibe kovácsolt pengemaggal készült kardok

Ebbe az alcsoportba azok a kardok tartoznak, amelyeknél a pengemag anyagszerkezete viszonylag homogén, rétegzettség vagy sávos karboneloszlás nélkül. A metallográfiai megfigyelések alapján ezekben az esetekben a pengemagot telibe kovácsolással alakították ki, hajtogatásra utaló egyértelmű mikroszerkezeti nyomok nélkül. A pengemag szívósságát és teherbírását elsősorban az alapanyag minősége és a kovácsolás intenzitása határozta meg.

II/A/2 alcsoport - Hajtogatott pengemaggal készült kardok

Ide sorolhatók azok a kardok, amelyeknél a pengemag anyagában eltérő karbontartalmú sávok, rendezett zárványsorok, illetve részben elmosódott hegedési vonalak figyelhetők meg. Ezek a jelenségek a pengemag hajtogatással történő homogenizálására utalnak. A hajtogatás ebben az alcsoportban a pengemag anyagminőségének javítását és kiegyenlítését szolgálta, miközben az él külön kialakítása révén a penge funkcionális differenciálása is megvalósult

II/B alcsoport - Több darabból kovácsolt kardok éle

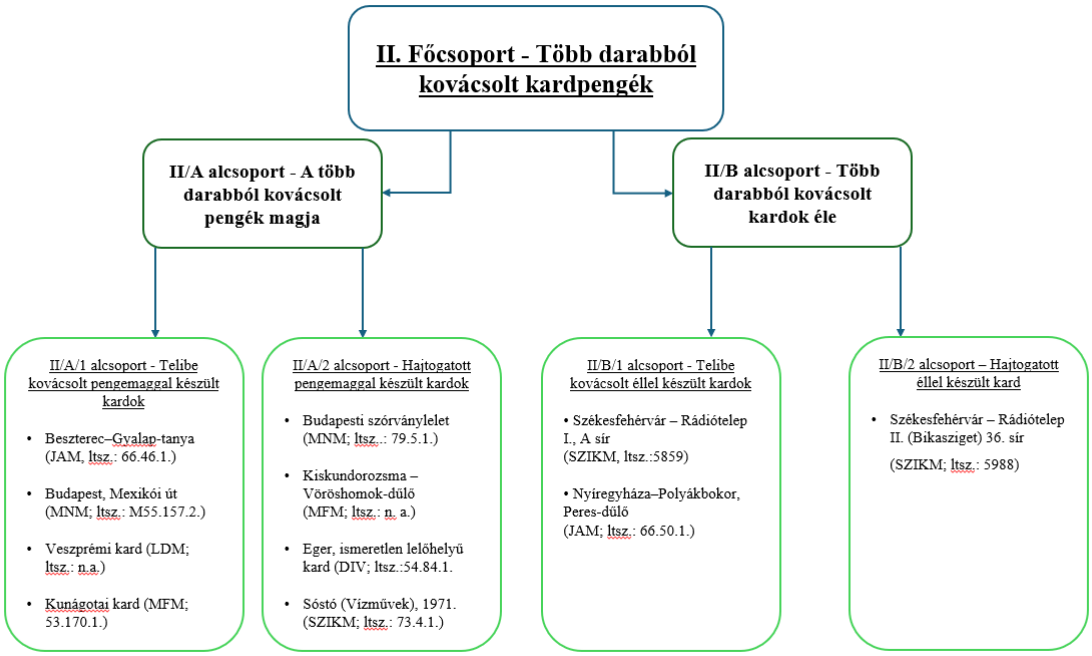
A II/B alcsoportba azok a kardpengék tartoznak, amelyeknél az él kialakításához külön alapanyagot használtak, amit nyilván kovácshegesztéssel illesztettek a penge magjához használt alapanyaghoz. Ezeknél a kardoknál a szerkezeti tagoltság elsődlegesen az él funkcionális elkülönítésében ragadható meg, amely a vágóél mechanikai tulajdonságainak célzott kialakítását szolgálta. A II/B alcsoporton belül az él kialakításának módja alapján két további alcsoport különíthető el, attól függően, hogy az él anyagát telibe kovácsolással vagy hajtogatással készítették elő.

II/B/1 alcsoport - Telibe kovácsolt éllel készült kardok

Ebbe az alcsoportba tartoznak azok a kardok, amelyeknél az él egyetlen, nagyobb karbontartalmú alapanyagból készült, és anyagszerkezete viszonylag homogén, hajtogatásra utaló mikroszerkezeti jelenségek nélkül. Az ilyen élek esetében a kívánt keménységet és kopásállóságot elsősorban az alapanyag karbontartalma és a kovácsolás során kialakított pengeszerkezet biztosította. A pengemag és az él határán megfigyelhető hegedési vonalak, zárványsorok és diffúziós zónák egyértelműen igazolják az él külön kialakítását, ugyanakkor az él anyaga önmagában egységes szerkezeti elemként értelmezhető.

II/B/2 alcsoport – Hajtogatott éllel készült kard

Ebbe a csoportba csupán egy kard sorolható a húszból, az élbetét esetében ugyanazokat a technikai jellegzetességeket lehet megfigyelni, mint a többi hajtogatással készült darabnál, azonban itt elsősorban a zárványok elhelyezkedése alapján lehetett arra következtetni, hogy az él anyagát is hajtogatással homogenizálták. Mivel egyszeri esetről van szó, itt érdemes megemlíteni, hogy a Székesfehérvár Rádiótelep II/36. (ltsz.: 5988) sírjában előkerült kardról van szó. A hajtogatott él kialakítása arra utal, hogy a kovács az él anyagát a felhasználás előtt homogenizálta, illetve szerkezeti tulajdonságait tudatosan befolyásolta. Ez a megoldás a vizsgált anyagban egyszer fordul elő, ugyanakkor technológiai szempontból jól elkülöníthető, és ezért indokolt önálló alcsoportként kezelni.



11. kép: A II. főcsoportba sorolt, több darabból összehegesztett kardpengék alcsoportjai (II/A–II/B) a metallográfiai megfigyelések alapján. A „telibe kovácsolt” megjelölés az egyes szerkezeti elemekre (mag, él) vonatkozik, nem a teljes pengére.

A fejezet a vizsgált kardpengék metallográfiai megfigyeléseire támaszkodva készítéstechnikai klasszifikációt vezetett be, amely a penge szerkezeti felépítését és a pengék anyagának feldolgozási módját tekinti elsődleges rendezőelvnek. A bemutatott rendszer egyértelműen elkülöníti az egyetlen alapanyagból készült, szerkezetileg egységes pengéket a több anyagrész kovácshegesztésével létrehozott pengeszerkezetektől, miközben mindkét főcsoporton belül

lehetőséget ad a telibe kovácsolt és a hajtogatással előkészített megoldások következetes megkülönböztetésére.

A disszertáció egyik célkitűzése az volt, hogy a vizsgált kardanyag alapján egy olyan, kizárólag metallográfiai megfigyelésekre épülő, alkalmazható készítéstechnikai tipológiát állítson fel, amely a pengék technológiai sajátosságait egységes szempontrendszer szerint írja le. A bemutatott klasszifikáció lehetővé tette a teljes vizsgált anyag egyértelmű és következetes besorolását, ezáltal teljesítve a kitűzött klasszifikációs célokat.

A kialakított rendszer nem kronológiai vagy morfológiai fejlődési modellt kíván felállítani, hanem olyan módszertani keretet biztosít, amely alkalmas a különböző készítéstechnikai megoldások összevetésére, és alapot teremthet a hasonló szerkezetű kardleletek jövőbeni, összehasonlító vizsgálatai számára.

9.3. A pengék szerkezeti felépítése

A kardpengék szerkezeti felépítésének vizsgálata alapvető kiindulópont a készítéstechnikai megoldások értelmezéséhez. A pengében megfigyelhető anyageloszlás és rétegződés közvetlenül utal a kovácsolás módjára, hiszen a kardok gyakran különböző összetételű félkész darabok összehegesztésével kialakított tömbből készültek, amelyet ezt követően kovácsolással és csiszolással formáltak pengévé.[498] A szerkezeti megoldások egyben a fegyver mechanikai tulajdonságait és használati jellemzőit is meghatározzák, ezért a pengeszerkezet elemzése elengedhetetlen a kardkészítés technológiai stratégiáinak feltárásához és összehasonlító értelmezéséhez.

A magyarországi régészeti anyag esetében ugyanakkor a metallográfiai vizsgálatokra átadott kardpengék és kardtöredékek száma korlátozott, elsősorban a mintavételi lehetőségekhez és a leletek megóvását szolgáló kutatásetikai szempontokhoz kapcsolódó engedélyezési keretek miatt. Ez a körülmény nem teszi lehetővé egy önálló, statisztikailag megalapozott pengeszerkezeti tipológia felállítását a hazai anyagra vonatkozóan.

Ennek megfelelően a jelen fejezet nem egy új pengeszerkezeti rendszer kialakítására törekszik,

[498] KOŠTA – HOŠEK 2014, 271.

hanem egy már kidolgozott, szélesebb közép-európai anyagon alapuló tipológia alkalmazását tűzi ki célul. A fejezet a cseh kutatásban kidolgozott tipológiát veszi alapul, amely megfelelő elemzési keretet biztosít a vizsgált magyarországi kardpengék szerkezeti sajátosságainak értelmezéséhez és összevetéséhez.

A tipológia alkalmazása nem mechanikus átvételt jelent, hanem olyan értelmezési keretet, amelynek segítségével a rendelkezésre álló metallográfiai adatok alapján a magyarországi kardleletek szerkezeti megoldásai a nemzetközi szakirodalomban használt kategóriákhoz viszonyítva vizsgálhatók. A fejezet célja annak bemutatása, hogy a vizsgált kardpengék szerkezeti felépítése miként illeszkedik a meglévő tipológiai rendszerekhez, és milyen technológiai stratégiákra utal a 10. századi kardkészítés gyakorlatában.

A kardpengék szerkezeti felépítésének tipológiai vizsgálata a nemzetközi szakirodalomban több kutatási irányban is megjelent, amelyek eltérő szempontok alapján törekedtek a pengeszerkezetek rendszerezésére. Allan Williams például a középkori kardpengék anyagszerkezeti megoldásait elsősorban konstrukciós szempontból vizsgálva olyan kategóriákat különített el, amelyek a homogén acélpengéktől a több elemből összeállított, eltérő anyagminőségű szerkezetekig terjednek.[499] Ez a megközelítés a pengék felépítését egyfajta technológiai hierarchiában tárgyalja, amely a felhasznált anyagok homogenitására és a szerkezeti komplexitásra helyezi a hangsúlyt. Bár ez a rendszer elsősorban általános konstrukciós megfigyeléseket fogalmaz meg, egyes elemei a vizsgált kardanyag szerkezeti sajátosságainak értelmezéséhez is viszonyítási pontot nyújthatnak. Ez a megközelítés több ponton közelít a jelen kutatásba bevont kardokhoz, ugyanakkor a Williams által felépített csoportosítás[500] nem elég részletes ahhoz, hogy megfelelő összehasonlítási alapot biztosítson a vizsgált anyag számára. Ennek megfelelően a fejezetben a Košta és munkatársai által kidolgozott tipológia kerül alkalmazásra[501], amely egyrészt részletesebben tárgyalja a korszak kardjainak szerkezeti felépítését, másrészt a vizsgált leletanyag földrajzi és kronológiai kontextusához is közelebb áll.

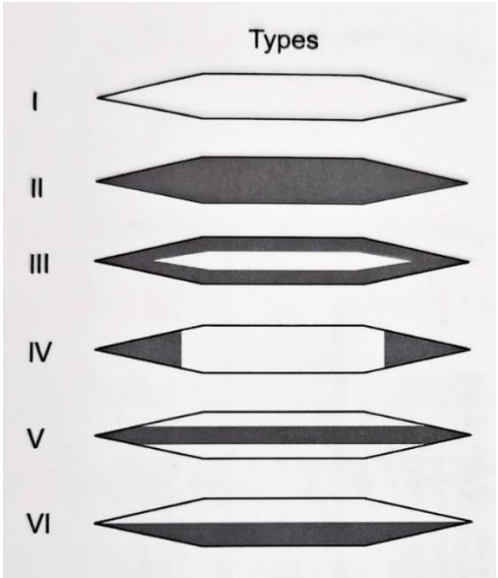
A következő alfejezetben a Košta és munkatársai által kidolgozott cseh pengeszerkezeti csoportosítás kerül bemutatásra. A kutatók a kardpengékben megfigyelhető karbontartalom-eloszlás alapján különítettek el szerkezeti típusokat, és egyaránt figyelembe vették az egy

[499] Williams 2003, 12.
[500] Williams csoportosítása: (i) egyetlen homogén acéldarabból készült penge; (ii) egyetlen heterogén acéldarab, hajtogatva és kovácsolva; (iii) két vagy több heterogén acéldarab kovácshegesztésével kialakított penge; (iv) vasmag, ráhegesztett acél élekkel; (v) vasmag, felkarbonizált (cementált) éllel.
[501] KOŠTA ET AL. 2021, 19, FIG. 9.

darabból kovácsolt, illetve a kovácshegesztéssel összeállított pengéket. A tipológia kiindulópontja, hogy a pengén belüli acél elhelyezkedése és aránya jól összehasonlítható szerkezeti jegyeket ad, ezért a vizsgált kardanyag alapján hat alapcsoportot határoztak meg.[502]

Az I. típusba azok a pengék tartoznak, amelyek teljes egészében vasból készültek, illetve amelyekben az acél csak kis mennyiségben és egyenetlen eloszlásban jelenik meg. E csoport értelmezésénél különösen fontos a korrózió mértékének figyelembevétele, mivel a magasabb karbontartalmú részek gyakran hiányosabban maradnak meg, ami könnyen félreértelmezésekhez vezethet. A jegyzetek alapján ezek a pengék használat közben kevésbé lehettek ellenállók, ugyanakkor díszítésük nem zárható ki. A típus elsősorban a 6–8. században jellemző, majd a 8. század második felétől és a kora 9. századtól egyre ritkábbá válik; a 10. századra nagyrészt eltűnik, bár néhány töredékes példányt a 11–12. századra is kelteztek.[503]

A II. típus a teljes egészében acélból készült pengéket foglalja magába. A technológia a 8. században jelenik meg, és a 9–10. században válik általánossá. A 12. század során alkalmazása visszaszorul, majd a 13. században ismét gyakoribbá válik bizonyos konstrukciós változatok megjelenésével.[504]



12.kép: A kardpengék szerkezeti típusai (I–VI) a karbontartalom-eloszlás alapján (Forrás: Košta et al. 2021, 19. Fig. 9.)

[502] KOŠTA ET AL. 2021, 15.
[503] KOŠTA ET AL. 2021, 35.
[504] U.o.

A III. típus esetében vasból vagy heterogén karbontartalmú anyagból készült pengemagot acél burkolat vagy körbefutó élbetét vesz körül. Az ilyen szerkezetek a 9. században jelennek meg, és a 12–14. század során egyre elterjedtebbé válnak, majd a 15–16. századra arányuk csökken. A jegyzetek szerint ezeknél a pengéknél gyakran összetettebb konstrukció figyelhető meg, amely a penge mechanikai tulajdonságainak javítását szolgálhatta.[505]

A IV. típusba azok a pengék tartoznak, amelyeknél az acél kizárólag a vágóélek mentén jelenik meg. Ez a megoldás Európában széles körben elterjedt volt, különösen a 7. század közepe és a 10. század között, majd a 11. század után fokozatosan visszaszorult.[506]

Az V. típus a pengében végigfutó központi acélsáv jelenlétével jellemezhető, amely az egyik éltől a másikig húzódik. A 9. századtól a 16. század közepéig keltezhető kardok között is előfordul, ugyanakkor a kétélű pengéknél ez a „szendvicsszerű" szerkezeti megoldás viszonylag ritkán figyelhető meg.[507]

A VI. típus rendkívül ritka szerkezeti megoldást képvisel, amelynél az acél csak a penge egyik oldalán jelenik meg, és az anyaghatár síkja az egyik éltől a másikig húzódik.[508]

A bemutatott cseh pengeszerkezeti tipológia megfelelő értelmezési keretet biztosít a vizsgált kardanyag szerkezeti sajátosságainak összehasonlításához. A metallográfiai vizsgálatok alapján a legtöbb penge egyértelműen besorolható a meghatározott típusok valamelyikébe, ami lehetővé teszi a szerkezeti megoldások következetes értelmezését. A következőkben a vizsgált kardpengék kerülnek bemutatásra, a tipológiai rendszer kategóriáihoz viszonyítva, kiemelve az egyes példányok jellegzetes szerkezeti sajátosságait.

A vizsgált hazai kardanyag esetében a pengeszerkezeti megoldások az I–IV. típusok körében jelennek meg, míg az V–VI. kategóriákhoz tartozó példányok a vizsgált anyagban nem fordultak elő. A cseh tipológia a pengén belüli karbontartalom-eloszlás alapján különíti el a szerkezeti típusokat, vagyis azt vizsgálja, hogy az acél milyen formában és mely zónákban jelenik meg a pengén belül. A metallográfiai vizsgálatok eredményei alapján a legtöbb vizsgált

[505] KOŠTA ET AL. 2021, 36-37.
[506] U.o.
[507] KOŠTA ET AL. 2021, 38.
[508] A szakirodalom mindössze kevés példányt említ: egy 9–10. századra keltezett kardpengét a Temzéből, valamint egy további, feltételezett példányt a Nuizianenből származó kard esetében, amelyet a 11. század első felére datálnak. KOŠTA ET AL. 2021, 38.

kardpenge egyértelműen besorolható a meghatározott kategóriák valamelyikébe, ezért a következőkben a kardok ismertetése a tipológiai rendszerhez viszonyítva történik.

Az I. típushoz biztonsággal köthető a balsai kard (ltsz.: 66.36.1.), amely egy darabból készült, szerkezetében nehezen kivehető hajtogatásra utaló nyomokkal. Szintén ebbe a típusba sorolható inkább a himesházi kard (ltsz. n.a.), a Nagykálló-Romvárnál előkerült kard (ltsz.:66.51.1) valamint a nyíregyházi múzeumban őrzött, ismeretlen lelőhelyű, szablyamarkolatú kard is (ltsz.: 66.52.1). Bizonyos minták ugyan igen korrodáltak voltak, emiatt besorolásuk nehezebb feladatot jelentett. Ezek a minták az Újfehértó–Micskepusztánál (ltsz.: 66.47.1.) előkerült kardhoz, illetve a Fülöp Gyula kardjához (ltsz.: n.a.) tartoztak. Mindazonáltal a mikroszerkezeti vizsgálatok során ezeknél a kardoknál – a minták korrodáltsága ellenére – nem találtunk nyomot arra, hogy több darabból kovácsolták volna őket, és a karboneloszlás szempontjából is viszonylag homogén pengéknek tekinthetők. A kinyert információk alapján az említett kardokat egyértelműen az I. csoportba soroltam.

A II. típusú pengék közé a vizsgált leletanyagból összesen egy kard, mégpedig a Nyíregyháza–Felsőpázsitnál előkerült kard (ltsz.: 66.53.1.) pengéje sorolható. A minta itt is erősen korrodált volt, azonban a vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a pengét egy darabból kovácsolták, és karbontartalma a penge magjától egészen a mintán megfigyelhető élig magas és viszonylag homogén. Ennek megfelelően a penge a II. csoportba került besorolásra.

A III. csoportba a megvizsgált kardok közül összesen négy kard sorolható. Ezek a kardok a következők: vörsi kard (ltsz.:1957.02.01.); Beszterec-Gyalap-tanyánál előkerült kard (ltsz.:66.46.1.), a Székesfehérvár Rádiótelep II., 36. sír kardja (ltsz.: 5988) illetve a kunágotai kard (ltsz.: 53.170.1.). A III. típusba került besorolásra a kunágotai kard pengéje is, amely több szempontból különleges esetet képvisel a vizsgált anyagon belül. A pengéből vett minta élzónája szinte teljes mértékben elkorrodált, míg a pengemag szerkezete megőrződött. A korróziós jelenségek ugyanakkor sajátos módon rajzolják ki a keresztmetszetet, amely első ránézésre a III. típusra jellemző szerkezeti felépítést idézi. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a korrózió differenciált jellege – amely az eltérő karbontartalmú zónákat különböző mértékben érintheti – nem teszi lehetővé a besorolás teljes bizonyossággal történő megállapítását; a kard ebbe a kategóriába elsősorban a megőrződött szerkezeti elemek és a korróziós mintázat együttes értelmezése alapján került.

A IV. csoportba sorolható a megvizsgált kardok nagyobb része. Karboneloszlás szempontjából ezek a pengék a klasszikus lágy mag–kemény él konstrukciót képviselik. Ebbe a csoportba tartozik a veszprémi kard (ltsz.: n.a.), a kiskundorozsmai kard (ltsz.: n.a.), az egri kard (ltsz.: 54.84.1.), a Nyíregyháza–Polyákbokornál előkerült kard (ltsz.: 66.50.1.), a Székesfehérvár/Rádiótelep I. A sír kardja (ltsz.: 5859), a Sóstó (Vízművek) 1971. évi szórványlelet (ltsz.: 73.4.1.), a Sóstó (Vízművek) 1. sír kardja (ltsz.: 56.92.1.), a budapesti szórványlelet (ltsz.: 79.5.1.), valamint a Budapest, Mexikói úti kard (ltsz.: M55.157.2.).

A fenti példák alapján a vizsgált kardpengék karbontartalom-eloszlásának összképe több általános megfigyelés megfogalmazását is lehetővé teszi. A metallográfiai vizsgálatok alapján a kardpengék többsége egyértelműen besorolható volt a cseh kutatás által meghatározott kategóriák valamelyikébe, ami azt jelzi, hogy a karbontartalom-eloszlás vizsgálata megbízható módszertani alapot nyújt a pengeszerkezet értelmezéséhez. A vizsgált anyagban különösen hangsúlyos a IV. típus jelenléte, amely a lágy mag–kemény él konstrukció klasszikus példájaként jelenik meg. Ez a szerkezeti megoldás nemcsak technológiai szempontból kiegyensúlyozott, hanem jól illeszkedik a korszak fegyverhasználati igényeihez is, ahol a rugalmasság és a vágóképesség egyidejű biztosítása kiemelt szerepet játszott. Fontos ugyanakkor hangsúlyozni, hogy a vizsgálatok a hazai kardanyag egy szűkebb részére terjedtek ki, ezért a megfigyelt arányok nem tekinthetők a teljes állomány statisztikai leképezésének. A bemutatott szerkezeti megoszlás elsősorban a metallográfiailag vizsgált példányokra vonatkozik, ugyanakkor jól érzékelteti, hogy a pengeszerkezeti megoldások nem elszigetelt helyi jelenségek, hanem a korszak szélesebb európai technológiai környezetébe illeszkednek.

A pengék karboneloszlásának vizsgálata elsősorban az anyagszerkezeti különbségekre irányult, ugyanakkor a metallográfiai megfigyelések lehetőséget adnak a pengék konkrét konstrukciós felépítésének értelmezésére is. A következőkben ezért a hangsúly a kardpengék szerkezeti kialakítására, vagyis arra kerül, hogy a pengék hány különálló elemből épülnek fel, és ezek miként kapcsolódnak egymáshoz. A konstrukciós elemzés alapját szintén a cseh kutatás által kidolgozott rendszer képezi, azonban a jelen fejezet nem törekszik a teljes tipológia részletes ismertetésére, mivel a vizsgált kardok túlnyomó többsége ugyanabba a konstrukciós kategóriába sorolható. A bemutatás ezért elsősorban az úgynevezett E kategóriára fókuszál, amely a pengemaghoz kovácshegesztéssel kapcsolt élbetétes konstrukciókat jelöli, és amely a kora középkorban Európa-szerte széles körben elterjedt volt.[509] Az ilyen pengék központi része

[509] Ezt hűen tükrözi a kardboneloszlás alapján felvázolt rendszer IV. csoportja.

különböző módon készülhetett: a damaszkolt, díszítő kovácshegesztéssel kialakított magok mellett egyszerűbb, nem damaszkolt megoldások is előfordultak, általában egy–három rétegű szerkezettel, ritkábban összetettebb felépítéssel. A metallográfiai adatok alapján a 7. századig a damaszkolt középrésszel készült változatok domináltak, míg a 9. század közepétől a nem damaszkolt pengék váltak gyakoribbá, ami jól illeszkedik az európai kardkészítés általános technológiai tendenciáihoz.[510]

A vizsgált kardpengék döntő többsége a cseh tipológia E kategóriájába sorolható, amely a pengemaghoz kovácshegesztéssel kapcsolt élbetétes konstrukciót jelöli. Ebben a csoportban különösen gyakoriak azok a pengék, amelyek egyszerű felépítésű, egy darabból kovácsolt vas- vagy acélmaggal rendelkeznek, és szerkezeti szempontból a legegyszerűbb élbetétes megoldások közé tartoznak. Egyszerűségük ellenére – megfelelő acélmag és jó minőségű élanyag alkalmazása esetén – magas technológiai színvonalat is képviselhettek. Az ilyen konstrukciók a 8–12. század között széles körben elterjedtek voltak, különösen a 9. század második felében és a 10. században mutatnak nagyobb gyakoriságot. Ezt támasztja alá a norvégiai Telemark viking kori kardok vizsgálata is, ahol ugyanis kimutatták, hogy a kardok fele kisebb karbontartalmú, lágyabb vasmaggal és az ehhez kovácsolt nagyobb karbontartalmú éllel rendelkeznek. A szerzők úgy véli, hogy ezt a konstrukciót a kovácsok szándékosan alkalmazhatták, ugyanis tisztában voltak az így kialakított penge minőségével. [511] Mivel ez a szerkezeti megoldás a vizsgált anyagban ismétlődő módon jelenik meg, és alapvető jellegzetességei a korábbi fejezetekben már bemutatásra kerültek, a jelen rész nem törekszik valamennyi példány részletes ismertetésére. A továbbiakban ezért elsősorban azok a kardpengék kerülnek tárgyalásra, amelyek konstrukciós szempontból egyedi szerkezeti sajátosságokat mutatnak.[512]

A legtöbb vizsgált kardpenge szerkezeti megoldása a korszak európai fegyverkészítésében általánosan elterjedt konstrukciókat követi, ezért ezekhez nem indokolt egyedi párhuzamok részletes bemutatása. A nemzetközi analógiák ismertetése elsősorban azoknál a példányoknál vált szükségessé, amelyek szerkezeti kialakításukban eltérnek az általános technológiai gyakorlattól.

[510] KOŠTA ET AL. 2021, 28.
[511] MARTENS-ASTRUP 2021, 113-114.
[512] U.o.

Egyértelműen érdekes szerkezeti konstrukciót mutat a kiskundoroszmai szablyamarkolatú kard. A penge kialakításának érdekessége abban áll, hogy a hajtogatással előkészített lágy pengemag és a nagy karbontartalmú, hőkezelt él közé egy további betétdarabot illesztettek. A penge konstrukciója igen ritka, a cseh leletanyagban is összesen két hasonló kardot lehet találni. Az egyik a 151-es katalógusszámmal ellátott kard, amit a Nechvalín-i temetőben találták meg (Hodonín környéke, Dél-Csehország) az 1975-1976-os ásatás során. A fegyvert a 8. század vége és a 9. század elejére datálták. A másik pedig a 169-es katalógusszámmal ellátott kard, amit a Kanín-i temetőben (Opolany-Kanín, Nymburk környéke, Csehország) találták meg 1966-ban. A fegyvert a 10. század második felére datálták.[513] Szintén pengeszerkezeti párhuzamként hozható fel ide az abaszéplaki kard is. Annyi különbség elmondható, hogy a kiskundorozsmai kard nem damaszkolt penge, míg az említett párhuzamok igen. Viszont az kétségkívül kimutatható, hogy a párhuzamként felsorolt pengéknél ugyanúgy jelen van az extra éltoldás, mint a hazai lelet pengéjében. A kard érdekességét tovább növeli, hogy a kiskundorozsmai kard szablyamarkolatú kardként szerepel a hazai adattárban. A kard markolatán elvégzett metallográfiai vizsgálat alapján elmondható, hogy a markolattüske bizonyos mértékig tükrözi a penge szerkezetét, ami arra utal, hogy a markolatot nem különálló elemként alakították ki. A keresztvas mikroszerkezete ezzel szemben jelentősen eltér a penge anyagszerkezetétől, mivel egyszerű telibe kovácsolással, alacsony karbontartalmú lágyvasból készült.[514] A szerelékek technológiai egyszerűsége alapján inkább helyi készítés vagy utólagos átalakítás lehetősége merül fel, ugyanakkor a penge összetettebb felépítése és ritka konstrukciós megoldása készítéstechnikai értelemben inkább a nyugat-európai kardkészítési hagyományokhoz köthető párhuzamokat idéz. Ennek megfelelően a fegyver technológiai értelmezése többirányú lehet, és a jelenlegi adatok inkább a különböző műhelyhagyományok találkozását valószínűsítik, mintsem egyértelmű eredetet.[515]

Pengeszerkezet szempontjából szintén összetett képet mutat az egri, ismeretlen lelőhelyű kard. A minta keresztmetszetében körkörös ívben megjelenő, eltérő karbontartalmú sávok arra utalnak, hogy a pengén díszítést alkalmazhattak, azonban a vizsgálatok alapján nem jelenthető ki egyértelműen, hogy díszítő kovácshegesztéssel készült pengéről lenne szó, mivel az érintett zónában az EDS-vizsgálat nem mutatott ki foszfort. Mindazonáltal a díszítés nyomai a penge

[513] HOŠEK ET AL. 2019, 184-185; 199-200.
[514] Haramza kutatásai során szablyák ellenzőgombjainak (Ellenzőgomb, Karos II/5; Ellenzőgomb, Miskolc-Repülőtér (Szirmabesenyő), 5. sír; Ellenzőgomb, Miskolc-Repülőtér (Szirmabesenyő), 5. sír) metallográfiai vizsgálatára is sor került. Az elemzett példányok többsége egyszerű kovácsolással, alacsony karbontartalmú vasanyagból készült, hasonlóan, mint a kiskundorozsmai kard keresztvasa. HARAMZA 2019, 125-131.
[515] V.Ö. 6.1.8. FEJEZET

felületén is jól megfigyelhetők. A penge magja nagyobb karbontartalmú alapanyagból készült, amelyhez felül és alul további betételemek kapcsolódnak, míg a vágóél – a kiskundorozsmai kardhoz hasonlóan – több darabból került kialakításra. A két kard pengéjének élkialakítása tehát párhuzamba állítható, az egri példány esetében azonban a feltételezett díszítés további összetettséget jelez.

A szerkezeti párhuzamok sorát kiegészítheti a Bojná–Břekinjova Kosa lelőhelyről ismert kard (ami a kiskundorozsmai karddal is párhuzamba hozható az élkialakítás miatt), amelynél szintén megfigyelhető az említett élbetétes kialakítás és az összetettebb pengemag. A fegyvert a szerzők a 8. század végére és a 9. század elejére keltezik, és a penge készítését elsősorban karoling műhelyhagyományokhoz kötik.[516] További párhuzamok említhetők a nemzetközi szakirodalomból, többek között a Machów (Tarnobrzeg környéke, Lengyelország)[517] és a Kirmäe (Nyugat-Észtország)[518] lelőhelyekről ismert pengék, amelyek szerkezete több vonásában hasonlít a két magyar kard felépítéséhez. Az egri kard esetében nagyon fontos párhuzam továbbá a gnezdovói kora középkori lelőhelyen előkerült kétélű egyenes kard (ltsz.: Lb-1/Avd-1987), amit Kainov és kollégái 2019-ben vizsgáltak meg. A penge magja gyakorlatilag ugyanolyan szerkezeti felépítésű (tehát három részből álló), mint az egri kardnak, és erre a három részből álló magra kovácsolták rá a nagyobb karbontartalmú pengeélt. Azonban a gnezdovói kardoknál az említett plusz éltoldás nem jelenik meg. A tanulmányban további szerkezeti párhuzamokat mutatnak be a gnezdovói lelőhelyről.[519] További szerkezeti párhuzam figyelhető meg a Mikulčice-i lelőhely 375. számú sírból előkerült kardnál is, ahol a penge magjánál szintén megfigyelhető a hármas tagolás.[520]

Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a párhuzamként felhozott külföldi példányok többsége díszítő kovácshegesztéssel készült, míg a hazai leletek közül a kiskundorozsmai kard esetében ilyen díszítés nem figyelhető meg.

A fentebb bemutatott két hazai fegyver pengéjének keresztmetszete kifejezetten összetett szerkezeti képet mutat. A megvizsgált kardanyagban ezek a pengék a legnagyobb technológiai ráfordítást tükröző konstrukciók közé tartoznak, ahol a több elemből felépített szerkezet és a gondosan kialakított kovácshegesztési kapcsolatok egyaránt jól megfigyelhetők. A szövetszerkezeti sajátosságok és a viszonylag alacsony zárványtartalom arra utalnak, hogy

[516] DORAČIĆ ET AL, 2022, 195-206.
[517] RAUHUT ET AL. 1968.
[518] ANTEINS 1968.
[519] KAINOV – SCHEDRINA 2019, 65-99.
[520] KOŠTA – HOŠEK 2014, 110.

készítésük során tudatos anyag-előkészítés és kontrollált kovácsolási gyakorlat érvényesült, melynek eredménye egy jobb minőségű, összetett penge. Pengeszerkezet szempontjából az összetettebbekhez sorolható még a Székesfehérvár Rádiótelep I. A sírjában (ltsz.: 5859) és a Rádiótelep II. sírjában (ltsz.: 5988) előkerült kardok pengéje is.

A vizsgált anyag ugyanakkor olyan példákat is tartalmaz, amelyeknél a metallográfiai megfigyelések jóval egyszerűbb, illetve kevésbé összetett technológiai kivitelre utalnak. Az Újfehértó–Micskepusztán előkerült kard (ltsz.: 66.47.1.) pengéjének keresztmetszetében – a korrózió ellenére – szinte kizárólag ferrites szövetszerkezet volt azonosítható, ami alacsony karbontartalmú alapanyagra és korlátozott mechanikai tulajdonságokra utalhat. Ehhez hasonlítható a Nagykálló-Romvárnál előkerült penge is (ltsz.:66.51.1.) Hasonlóan problematikus jelenség figyelhető meg a nyíregyházi múzeumban őrzött, ismeretlen lelőhelyű szablyamarkolatú kard (ltsz.: 66.52.1.) esetében is, ahol a pengemag központi részén nagyméretű zárvány került elő. Az ilyen méretű zárványok a kovácsolási folyamat során nem megfelelően homogenizált alapanyagra utalhatnak, és potenciális gyenge pontot jelenthettek a penge szerkezetében.

A két csoport közötti különbségek nem feltétlenül a fegyverek használati értékének közvetlen összevetését teszik lehetővé, ugyanakkor jól érzékeltetik, hogy a vizsgált kardanyagban a technológiai kivitelezés színvonala jelentős eltéréseket mutatott.

Az alfejezet célja az volt, hogy a magyarországi kétélű egyenes kardok pengéi – korlátozott mintaszám ellenére – miként illeszthetők a nemzetközi szakirodalomban alkalmazott pengeszerkezeti rendszerekhez. A vizsgált példányok karbontartalom-eloszlása és konstrukciós sajátosságai alapján megállapítható, hogy a hazai kardok még a szűk vizsgálhatósági keret ellenére is jól értelmezhetők egy szélesebb, közép-európai tipológiai keretben. A cseh kutatók által kidolgozott rendszer alkalmazása nemcsak módszertanilag bizonyult működőképesnek, hanem a gyakorlatban is használható összehasonlítási alapot adott, hiszen a vizsgált pengék túlnyomó többsége egyértelműen besorolható volt a meghatározott kategóriák valamelyikébe.

A készítés alapú besorolás ugyanakkor nem teszi lehetővé a kardok készítési helyének biztos meghatározását. A műhelyeredetre vonatkozó kérdések megválaszolásához a metallográfiai adatok önmagukban rendszerint nem elegendők; ehhez kiterjesztett zárványvizsgálatokra, esetleg izotópos elemzésekre lenne szükség, amelyek még ebben az esetben is elsősorban valószínűségi jellegű következtetések megfogalmazását teszik lehetővé. Ennek oka nem elsősorban a módszer korlátozottsága, hanem az, hogy a vizsgált anyag jelentős részében olyan, Európa-szerte elterjedt konstrukciók jelennek meg, amelyek technológiai szempontból

kevesebb információs értékkel bírnak a műhelyeredet vizsgálatához. Az egyszerűbb felépítésű, E kategóriába sorolható pengék nagy számban fordulnak elő, és szerkezeti megoldásaik a korszak kardkészítésében széles körben elterjedt technológiai gyakorlatot tükröznek, ezért ezek önmagukban nem utalnak egyértelmű műhelyhagyományra vagy készítési helyre.

Ezzel szemben a szerkezetileg összetettebb pengék – különösen a több elemből felépített élkialakításokkal, bonyolultabb magstruktúrával vagy ritkább szerkezeti kombinációkkal rendelkező példányok – nagyobb információtartalmat hordozhatnak, és alkalmasabbak lehetnek technológiai kapcsolódások vagy műhelyhagyományok feltételezésére. A fejezetben tárgyalt kiemelt esetek azt mutatják, hogy az ilyen konstrukciók párhuzamai elsősorban a nyugat- és közép-európai kardkészítési környezetben kereshetők, ugyanakkor a jelenlegi adatok alapján ezek az értelmezések továbbra is óvatos, valószínűségi jellegű következtetések maradnak. Összességében a vizsgálatok azt jelzik, hogy a magyarországi kardok nem elszigetelt jelenséget képviselnek, hanem technológiai szempontból egy tágabb európai készítési hagyomány részeként értelmezhetők.

10. Összefoglalás és konklúzió

A disszertáció a magyarországi honfoglalás kori leletanyag egyik kiemelkedő fegyvertípusához tartozó, 10. századi kétélű egyenes kardpengék készítéstechnikai és anyagszerkezeti sajátosságait vizsgálja archeometriai és archeometallurgiai módszerekkel. A kutatás célja a pengék mikroszerkezeti jelenségeinek feltárása, a kovácsolási technikák azonosítása, valamint egy technológiai szemléletű, metallográfiai megfigyelésekre épülő klasszifikációs rendszer kidolgozása volt. A vizsgálat a Kárpát-medencei leletek európai kontextusba helyezésére is törekszik, különös tekintettel a kardkészítés technológiai hátterére.
A kutatás roncsolásos mintavételen alapult: a kiválasztott kardpengékből kimetszett mintákból csiszolatok készültek, amelyek előkészítése (beágyazás, csiszolás–polírozás, nitalos maratás) után optikai mikroszkópos (OM) és elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálat történt. Az OM-mozaikfelvételek a pengék általános szerkezeti felépítését – a mag és az él viszonyát, a rétegzettséget, valamint a hegedési zónákat – tették áttekinthetővé, míg a SEM-vizsgálatok és az energiadiszperzív röntgenspektroszkópia (EDS) a zárványok morfológiai és kémiai elemzését tették lehetővé. A vizsgálati módszerek körét mikrokeménységmérés egészítette ki, amely a különböző szerkezeti zónák mechanikai jellegének összevetését biztosította.

A disszertáció egyik központi eleme a rekonstrukciós kísérlet volt, amely a metallográfiai megfigyelések értelmezéséhez szolgált kontrollált körülmények között. A kísérleti program során tömörített bucavasdarabon hajtogatással és telibe kovácsolással készült próbatestek kerültek kialakításra, majd ezekből csiszolatok készültek, amelyek mikroszerkezete összevethetővé vált a régészeti leletekben megfigyelhető jelenségekkel. A rekonstrukciós kovácsolás nem pusztán illusztratív szerepet töltött be, hanem a mikroszkópos megfigyelések értelmezésének módszertani ellenőrzéseként szolgált: a hajtogatás során kialakuló sávos szerkezetek, a zárványok deformációja és a hegesztési jelenségek felismerése így kísérleti úton is vizsgálhatóvá vált. A kísérlet eredményei rámutattak arra is, hogy a hajtogatás ugyan képes az anyag inhomogenitásának csökkentésére, azonban nem szünteti meg teljesen a zárványokat, és bizonyos körülmények között új hibaforrásokat is létrehozhat.

A salakzárványok morfológiai és kémiai vizsgálata a készítéstechnikai értelmezés egyik kulcselemévé vált. A zárványok íves vagy láncszerű rendeződése több esetben közvetlenül utalt hajtogatásra vagy kovácshegesztésre, különösen akkor, amikor a hegedési vonalak optikai

mikroszkópos képeken nem voltak egyértelműen követhetők. A zárványok ásványi és kémiai típusainak elkülönítése lehetőséget adott a pengén belüli eltérő anyagrészek azonosítására.

A metallográfiai eredmények alapján a vizsgált kardanyagban a hajtogatás széles körben alkalmazott anyag-előkészítési eljárásként jelenik meg, elsősorban a pengemag zónájában, míg a kovácshegesztés a pengeszerkezet funkcionális differenciálásának meghatározó eszköze. A hőkezelésre utaló mikroszerkezeti jelenségek ezzel szemben ritkán fordulnak elő, és elsősorban az élhez közeli zónákhoz köthetők.

A disszertáció egyik fő eredménye a metallográfiai megfigyelésekre épülő készítéstechnikai klasszifikáció kidolgozása, amely a pengéket szerkezeti egységességük és az anyag-előkészítés módja alapján rendszerezi. A rendszer nem kronológiai vagy morfológiai fejlődési modellt állít fel, hanem olyan technológiai keretet biztosít, amely lehetővé teszi a különböző készítési megoldások összehasonlítható értelmezését. A pengék szerkezeti és karboneloszlási sajátosságai alapján a vizsgált kardanyag túlnyomó része jól illeszkedik a korszak európai kardkészítési hagyományaihoz, miközben néhány szerkezetileg összetettebb darab ritkább konstrukciós megoldásokat is képvisel.

Összességében a kutatás azt mutatja, hogy a vizsgált 10. századi kardpengék mechanikai tulajdonságainak kialakítása elsősorban a szerkezeti felépítés és a kovácstechnológiai eljárások – különösen a hajtogatás és a kovácshegesztés – tudatos kombinációján alapult, míg a hőkezelés a vizsgált anyagban kivételes jelenségként értelmezhető. A disszertáció a metallográfiai vizsgálatok és a rekonstrukciós kísérlet együttes alkalmazásával olyan módszertani keretet és klasszifikációs rendszert kínál, amely a jövőbeni archeometallurgiai kutatások számára is alkalmazható és egyúttal bővíthető.

A fenti eredmények alapján a kutatás tágabb technológiai és archeometallurgiai következtetései az alábbiakban foglalhatók össze. A metallográfiai vizsgálatok és a rekonstrukciós kísérlet együttesen arra mutattak rá, hogy a kora középkori kardpengék mechanikai tulajdonságainak kialakítása elsősorban a szerkezeti felépítés tudatos megtervezésén és a készítéstechnikai eljárások összehangolt alkalmazásán alapult. A hajtogatás és a kovácshegesztés nem elszigetelt technikai megoldásként, hanem a gyakorlatban együtt alkalmazott technológiai megoldásként jelenik meg, amelyek lehetővé tették az eltérő minőségű alapanyagok funkcionális elkülönítését. A vizsgált anyagban a hőkezelés ezzel szemben kivételes jelenségként jelenik

meg, ami arra utal, hogy a korszak kardkovácsai a pengék tulajdonságait elsősorban szerkezeti és kovácsolási eszközökkel szabályozták. A kutatás eredményei azt is jelzik, hogy a magyarországi kardanyag technológiai sajátosságai szorosan illeszkednek a korszak tágabb európai készítési hagyományaihoz, miközben a metallográfiai megfigyelésekre épülő készítéstechnikai klasszifikáció módszertani keretet kínál a hasonló fegyverleletek összehasonlító vizsgálatához.

A disszertáció legfontosabb új tudományos eredményei az alábbi tézispontokban foglalhatók össze:

1. A vizsgált húsz, 10. századi kardpenge metallográfiai elemzése igazolja, hogy a pengék tulajdonságainak kialakítása elsősorban hajtogatásra és kovácshegesztésre épülő szerkezeti megoldásokkal történt, míg tudatos hőkezelés összesen két esetben volt nagyobb biztonsággal kimutatható.

   A hajtogatás a kardok több mint felében azonosítható, elsősorban a pengemaghoz kötődve; technológiai értelemben minden esetben kovácshegesztéssel jár, mivel az anyag megnyújtását követő visszahajtás és egyesítés kovácshegesztéssel történik. A kovácshegesztés ugyanakkor nemcsak a hajtogatás részeként jelenik meg, hanem önálló szerkezeti eljárásként is, különösen a több darabból felépített pengék kialakításában.

2. A hajtogatás jelenléte nem azonosítható megbízhatóan pusztán maratási sávok (*white lines"*) alapján; kimutatása alapvetően az egyes területekre jellemző karbontartalom meghatározása, illetve becslése, valamint a zárványláncok esetleges elrendeződése által lehetséges. A kísérleti kovácsolási tapasztalatok rámutattak e módszertani megközelítés szükségességére, amely csökkenti a hajtogatás téves azonosításának kockázatát a régészeti kardanyagban.

3. A metallográfiai vizsgálatok eredményei alapján kidolgozhatóvá vált a 10. századi magyarországi kétélű kardpengék készítéstechnikai klasszifikációja. A pengék szerkezeti felépítése alapján két főcsoport különíthető el: I. főcsoport – Egy darabból kovácsolt pengék és II. főcsoport – Több darabból kovácsolt kardpengék. Az I. főcsoporton belül I/A: Telibe kovácsolt pengék és I/B: Hajtogatott pengék, míg a II. főcsoporton belül II/A alcsoport – A több darabból kovácsolt pengék magja és II/B alcsoport – Több darabból kovácsolt kardok éle különíthető el. A II/A alcsoporton belül

további két csoport, a II/A/1 – Telibe kovácsolt pengemaggal készült kardok és a II/A/2 – Hajtogatott pengemaggal készült kardok, a II/B alcsoporton belül pedig a II/B/1 – Telibe kovácsolt éllel készült kardok és a II/B/2 – Hajtogatott éllel készült kard különíthető el. Az eredmények szerint a Kárpát-medencei kardok technológiai szempontból a korabeli európai kardkészítés szélesebb hagyományába illeszkednek.

4. A vizsgált kardpengék szerkezeti megoldásai a kora középkori Európában széles körben elterjedt készítéstechnikai típusokba illeszkednek, ugyanakkor metallográfiai vizsgálatuk a kivitelezés minőségében és az alapanyag tisztaságában jelentős különbségeket mutatott. A minták között egyaránt azonosíthatók gondosan előkészített, alacsony zárványtartalmú, összetettebb konstrukciók és egyszerűbb, ferrites szövetszerkezetű pengék, ami a kardkészítés technológiai színvonalának eltéréseire utal, anélkül, hogy a fegyverek használati értéke egyértelműen rangsorolható lenne.

5. A vizsgált hazai kardpengék szerkezeti megoldásai nem elszigetelt helyi jelenségek, hanem a kora középkori európai kardkészítés szélesebb technológiai hagyományába illeszkednek. Ezt különösen a lágy mag–kemény él konstrukciók túlsúlya, a Košta-féle I–IV pengeszerkezeti típusok jelenléte, valamint a kiskundorozsmai és az egri kard összetettebb szerkezeti megoldásainak közép-európai párhuzamai mutatják, amelyek a Kárpát-medence kardanyagának európai technológiai kapcsolataira utalnak.

Summary

This dissertation examined the manufacturing technology and material structure of tenth-century double-edged straight sword blades from the Carpathian Basin through an archaeometallurgical approach. The research formed part of an interdisciplinary project launched in 2020 that aimed to investigate western-type swords of the Hungarian Conquest Period. While earlier studies focused mainly on typology and archaeological interpretation, the present work addressed technological questions through metallographic analysis, scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy (SEM–EDS), microhardness testing, and experimental forging.

The primary objective was to identify recurring manufacturing strategies and to develop a technological classification based on empirically observable features. The analysis concentrated on blade structures, including forging techniques, carbon distribution, structural composition, and the role of heat treatment. A total of twenty sword blades were investigated.

The results showed that folding and forge-welding were the most frequently applied technological solutions. Folding appeared predominantly in the blade core and can be interpreted as a method of material preparation intended to homogenise bloomery iron and reduce slag inclusions. Forge-welding was identified in approximately half of the sample and most commonly reflected the functional differentiation of a softer core and a higher-carbon edge. In contrast, clear evidence for intentional heat treatment proved to be rare; only two blades displayed convincing microstructural indications of controlled quenching, while other features could be explained by geometric cooling effects or secondary thermal influences during forging. These observations suggest that early medieval swordsmiths primarily controlled mechanical properties through structural design and forging practices rather than through systematic hardening procedures.

On the basis of metallographic observations, the dissertation introduced a technological classification distinguishing between single-piece blades and composite constructions assembled through forge-welding. The structural composition of the examined blades was also evaluated within an established Central European typological framework, demonstrating that the Hungarian material fits well into broader European technological traditions.

Experimental forging provided an important interpretative framework by offering reference structures for identifying folding patterns, welding lines, and deformation features in archaeological specimens. The comparison between experimental and archaeological data highlighted the necessity of combining laboratory analysis with practical reconstruction in order to achieve reliable technological interpretations.

Overall, the study indicates that early medieval sword production was characterised by technological flexibility rather than a single standardised manufacturing model. Although metallographic evidence alone does not allow precise workshop attribution, the analysed blades reflect technological connections within a wider European context.

Irodalom

AANNESTAD 2018. Aannestad, H. L.: Charisma, Violence and Weapons: The Broken Swords of the Vikings. In: Vedeler, M. – Røstad, I. M. – Kristoffersen, S. – Glørstad, A. Z. T. (eds.): *Charismatic Objects: From Roman Times to the Middle Ages.* Oslo: Cappelen Damm Akademisk, 2018, 147–168.

ANDROSHCHUK 2014. Androshchuk, F.: *Viking Swords: Swords and Social Aspects of Weaponry in Viking Age Societies*. Stockholm: Statens historiska museer. Stockholm Studies in Archaeology 63. 2014.

ANSTEE-BIEK 1961. Anstee, J. W. – Biek, L.: A Study in Pattern-Welding. *Medieval Archaeology* 5, 71–93, 1961.

ANTEINS, A. K. 1968 Anteins, A. K.:Structure and manufacturing techniques of pattern-welded objects found in the Baltic States. *Journal of The Iron and Steel Institute*, Vol. 206 (6), 1968, 563–571.

ARBMAN 1937. Arbman, H.: *Schweden und das Karolingische Reich Studien zu den Handelsverbindungen des 9. Jahrhunderts*. Stockholm, 1937.

ASTRUP–MARTENS 2011. Astrup, E. E. – Martens, I.: Studies of Viking Age Swords: Metallography and Archaeology. *Gladius* 31, 203–206, 2011.

B. SZABÓ 2017. B. Szabó J.: *A középkor magyarországi könnyűlovassága*. Máriabesnyő, 2017.

BAKAY 1965. Bakay K.: Régészeti tanulmányok a magyar államalapítás kérdéséhez. *Dunántúli Dolgozatok*. 1. 1965.

BAKAY 1967. Bakay K.: Archäologische Sudien zur Frage der ungarischen Staatsgründung. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 19 (1967) 167–170.

BÁLINT 1963. Bálint, A.: Kiskundorozsma–Vöröshomok dűlői leletek. *A Móra Ferenc Múzeum Évkönyve*, Szeged, 1963.

BARTHA 1958. Bartha A.: Honfoglaláskori kovácsmesterségünkről. Történelmi Szemle, 1/3–4. 1958, 315–327.

BEHMER 1939. Behmer, E.: *Das zweischneidige Schwert der germanischen Völkerwanderungszeit*. Stockholm 1939.

BERGMANN-ARRHENIUS 2005. Bergman, L. T. – Arrhenius, B.: *Excavations at Helgö XV. Weapon Investigations. Helgö and the Swedish Hinterland*. Almqvist & Wiksell International, Stockholm, 2005.

BIBORSKI 2004. Biborski, M.: Schwert: Römische Kaiserzeit. In: *Reallexikon des Germanischen Altertumskunde* 27, 2. Auflage, Berlin/New York 2004, 549–562.

BÍRÓ 2013. Bíró Á.: *Fegyverek a 10–11. századi Kárpát-medencében*. Doktori disszertáció, ELTE-BTK, Budapest, 2012.

BLAKELOCK 2012. Blakelock, S. E.: *The Early Medieval Cutting Edge of Technology: An archaeometallurgical, technological and social study of the manufacture and use of Anglo-Saxon and Viking iron knives, and their contribution to the early medieval iron economy.* PhD dissertation, University of Bradford, 2012.

BLAKELOCK ET AL. 2019. Blakelock, E. – Martinón-Torres, M. – Veldhuijzen, H. A. – Young, T.: Slag inclusions in iron objects and the quest for provenance: an experiment and a case study. *Journal of Archaeological Science* 36, 1745–1757, 2009.

BOCK 1870. Bock, F.: *Der Schatz von St. Veitin Prag*. Mittheilungen der K. K. Central-Commission zur Erforschung und Erhaltung der Baudenkmale. 15 (1870)

BRUNNING 2019. Brunning, S.: *The Sword in Early Medieval Northern Europe. Experience, Identity, Representation*. Woodbridge: The Boydell Press, 2019.

BUCHWALD – WIVEL 1998. Buchwald, V. F. – Wivel, H.: Slag Analysis as a Method for the Characterization and Provenancing of Ancient Iron Objects. *Materials Characterization* 40, 73–96, 1998.

BUCHWALD 2005. Buchwald, V. F.: *Iron and Steel in Ancient Times*. Historisk-filosofiske Skrifter 29. København: Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, 2005.

ČUČKOVIĆ 2011 Čučković L., Čučković, Z.: Banija – područje (Bojnai Lukinić pećina), *Hrvatski Arheološki godišnjak*, Vol.7/2010-2011, 297–298.

CSEH-BOGNÁR 2012. Cseh-Bognár, S.: *Metallográfiai vizsgálatok. Budapest*. Atestor Kft., 2012.
Web:https://www.atestor.hu/editor_up/up/egyeb/2012_01/16/132671554730168934/Metallografia.pdf utolsó megtekintés: 2025.04.10.

CSIKY 2009. Csiky G.: *Az avar kori szúró- és vágófegyverek*. Doktori disszertáció, ELTE-BTK, Budapest, 2009.

CSIKY 2016. Csiky G.: A számok bűvöletében. Az avar kori vágófegyverek metrikus adatainak értékeléséről. In: Kovács L. – Révész L. – Bollók Á. – Gergely K. – Kolozsi B. – Pető Zs. – Szenthe G. (szerk.): *Népek és kultúrák a Kárpát-medencében. Tanulmányok Mesterházy Károly tiszteletére*. Budapest, 2016. 243–269.

DAIM ET AL. 2012. Daim, F. – Bendeguz, T. – Mehofer, M.: Die langobardischen Schmiedegräber aus Poysdorf und Brno. Fragen, Methoden, erste Ergebnisse. In: Pohl, W. – Erhart, P. (eds.), *Die Langobarden. Herrschaft und Identität. Forschungen zur Geschichte des Mittelalters* 9. Wien, 2012, 201–224.

DAVIDSON – ABRAMOWITZ 2002. Davidson, M. W. – Abramowitz, M.: Optical microscopy. In: Hawkes, P. W. (ed.), *Encyclopedia of Imaging Science and Technology.* Wiley, New York, 2002.

DAVIDSON 1962. Davidson, H. E.: *The Sword in Anglo-Saxon England*. Its Archaeology and Literature. Woodbridge, 1962.

DAVIS 2001. Davis, J. R.: *Copper and Copper Alloys*. ASM Specialty Handbook. Materials Park, OH: ASM International, 2001.

DESAI 2018. Desai, M. N.: An Overview of Iron Provenance and Its Possible Extension to Crucible Steel Archaeometallurgy. *Journal of Multidisciplinary Studies in Archaeology* 6, 926–944, 2018.

DIENES 1968. Dienes I.: A magyar honfoglalás kora. In: Szombathy V. (szerk.*): A magyar régészet regénye.* Budapest, 1968. 135–194.

DILLMANN - L'HÉRITIER 2007. Dillmann, P. – L'Héritier, M.: Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes. *Journal of Archaeological Science* 34, 1810–1823, 2007.

DORAČIĆ ET AL. 2022 Doračić, D. – Hošek, J. – Brauns, M. – Miletić Čakširan, I.: Technical Examination and Conservation of the Early Medieval Sword from Bojna-Brekinjova Kosa. In: Sekelj Ivančan, T. – Karavidović, T. – Tkalčec, T. – Krznar, S. – Belaj, J. (eds.): *Secrets of Iron – From Raw Material to an Iron Object. Proceedings of the 7th International Conference of Mediaeval Archaeology of the Institute of Archaeology, Zagreb, 10th–11th September 2020. Zagreb*: Institute of Archaeology 2022, 195– 207.

EGER 2014. Eger, C.: Zur byzantinischer Blankwaffen im ausgehenden 6. und 7. Jahrhundert: Schwerter mit bronzenem Parierstück vom Typ Aradac–Kölked–Korinth. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums* 61, Mainz, 199–233, 2014.

ELIADE 2004. Eliade M.: *Kovácsok és alkimisták*. Ford.: Vargyas Z. Budapest, 2004

FALK 2009. Falk, Birgitta (szerk.): *Der Essener Domschatz*. Essen, Klartext Verlag, 2009.

FEDRIGO ET AL. 2016. Fedrigo, A. – Strobl, M. – Williams, A. R. – Lefmann, K. – Lindelof, P. E. – Jørgensen, L. – Pentz, P. – Bausenwein, D. – Schillinger, B. – Kovyakh, A. – Grazzi, F.: Neutron imaging study of 'pattern-welded' swords from the Viking Age. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2016.

FETTICH 1937. Fettich N.: *A honfoglaló magyarság fémművessége*. Budapest, 1937.

FODOR, 2000. Fodor I.: *A bécsi szablya és a prágai kard*. Ferences Nyomda és Könyvkiadó Kft., Szeged, 2000.

FRANGIPANE ET AL. 2001. Frangipane, M. – Di Nocera, G. M. – Hauptmann, A. – Morbidella, P. – Palmieri, A. – Sadori, L. – Schultz, M. – Schmidt-Schultz, T.: New Symbols of a New Power in a 'Royal' Tomb from 3000 BC, Arslantepe, Malatya (Turkey)." *Paléorient* 27/2, 2001, 105–139.

FUCHS – NÁDORI 1958. Fuchs Erik – Nádori Zoltán: Honfoglaláskori vas kéziszerszám metallográfiai vizsgálata. *Történelmi Szemle*, 1958/3–4 323–330.

GÁCSI – MERTINGER 2000. Gácsi, Z. – Mertinger, V.: *Fémtan*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 2000.

GALLINA 2002. Gallina, Zs.: Avar kori kohótelep Kaposvár-Fészerlakon. *Somogyi Múzeumok Közleményei* 15, 75–85, 2002.

GALLINA 2011. Gallina, Zs.: Avar kori vaskohászati és települési centrum Zamárdiban. In: Somogyvári, Á. – V. Székely, Gy. (eds.), *A Barbaricum ösvényein. A 2005-ben Kecskeméten tartott tudományos konferencia előadásai.* Archaeologia Cumanica 1, 179–198, 2011.

GALLINA-TÖRÖK 2018. Gallina, Zs. – Török, B.: Az avar kori vasművesség munkafolyamatai, korabeli mesterségei. In: Varga, M. – Szentpéteri, J. (eds.), *Két világ határán.* Kaposvár, 61–75, 2018.

GEIBIG 1991. Geibig, A.: *Beiträge zur morphologischen Entwicklung des Schwertes im Mittelalter. Eine Analyse des Fundmaterials vom ausgehenden 8. bis zum 12. Jahrhundert aus Sammlungen der Bundesrepublik Deutschland*. Neumünster 1991.

GÖMÖRI 1984. Gömöri, J.: Some Relics of the Early Hungarian Blacksmiths' Craft. In: Scott, B. G. – Cleere, H. (eds.): *The Crafts of the Blacksmith. Essays Presented to R. F. Tylecote at the 1984 Symposium of the UISPP Comité pour la Sidérurgie Ancienne*. London, 1984.

GÖMÖRI 2000. Gömöri J.: *Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában.* Magyarország iparrégészeti lelőhelykatasztere I. Vasművesség. Sopron, 2000.

GÖMÖRI 2007. Gömöri, J.: The Bloomery Museum at Somogyfajsz (Hungary) and Some Archaeometallurgical Sites in Pannonia from the Avar- and Early Hungarian Period. Metalurgija – *Journal of Metallurgy* 2007/2, 2007.

GROTOWSKI 2005 Grotowski, P. Ł.: Sztuka wojenna Słowian w swietle bizantynskich traktatów wojskowych. *Acta Militaria Mediaevalia* 1, 2005, 9–25.

GYÖRFFY 1983. Györffy, Gy.: *Szent István király és műve.* Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1983.

HALLINDER-HAGLUND 1978. Hallinder, P. – Haglund, K.: Iron Currency Bars in Sweden. In: *Excavations at Helgö V:1*. Stockholm, 30–58, 1978.

HALMÁGYI – RIEDEL 1986. Halmágyi Sz. – Riedel L.: Régi fegyverekről. Budapest, 1986.

HAMPEL 1900. Hampel, J.: A honfoglalási kor hazai emlékei. In: Pauler, Gy. – Szilágyi, S. (szerk.), A magyar honfoglalás kútfői. Budapest, 1900. 507–826.

HAMPEL 1907. Hampel J.: *Újabb tanulmányok a honfoglalás kor emlékeiről*. Budapest, 1907.

HARAMZA – THIELE 2015.B. Haramza M. – Thiele Á.: Díszítő kovácshegesztés nyomai az 5. századi Kárpát-medencében. In: Fehér B. – Galambos I. (szerk.): *Hunok a történelemben és a hagyományokban*. Budapest, 2015. 63–74.

HARAMZA – TÖRÖK 2021. Haramza, M. – Török, B.: Metallographic examination of Hungarian Sabres from the 10th Century – first archaeometallurgical approach in the Carpathian Basin by a case study. In: Török, B. – Giumlia-Mair, A. (eds.), *Proceedings of the 5th International Conference "Archeometallurgy in Europe", 19–21 June 2019, Miskolc, Hungary.* Drémil-Lafage: Mergoil, 565–589, 2021.

HARAMZA 2012. Haramza M.: A damaszkuszi acél részleges rekonstrukciója (Kísérleti beszámoló). *Orpheus Noster* 4/3 (2012) 81–84.

HARAMZA 2019. Haramza, M.: *A 9–10. századi kárpát-medencei szablyák archeometallurgiai és hadtörténeti vonatkozása*. PhD disszertáció. Budapest: Pázmány Péter Katolikus Egyetem, 2019.

HARAMZA 2022. Haramza, M.: A „himesházi” kard. A *Janus Pannonius Múzeum Évkönyve* 55, 117–126, 2022.

HARAMZA, 2017. Haramza M.: VLFBERTH, Egy kardfelirat eredete és technológiája. *MICAE MEDIAEVALES VI*. Fiatal történészek dolgozatai a középkori Magyarországról es Európáról, Budapest, ELTE BTK Történelemtudományok Doktori Iskola, 2017.

HARAMZA-THIELE 2015. Haramza, M. – Thiele, Á.: Díszítő kovácshegesztés nyomai az 5. századi Kárpát-medencében. In: Fehér, B. – Galambos, I. (szerk.): *Hunok a történelemben és a hagyományokban.* TITE Könyvek 9. Budapest, 2015.

HARAMZA-THIELE 2024. Haramza, M. – Thiele, Á.: S-keresztvasú fegyverek Mohács térségéből. In: Varga, Sz. (ed.), *Temetetlen Mohács. Az 1526. és az 1687. évi csata új kutatási eredményei.* Martin Opitz Kiadó, Budapest, 2024, 285–310.

HAUPTMANN 2020. Hauptmann, A.: *Archaeometallurgy – Materials Science Aspects*. Berlin – Heidelberg: Springer, 2020.

HECKENAST ET AL. 1968. Heckenast, G. – Vastagh, G. – Nováki, G. – Zoltay, E.: *A magyarországi vaskohászat története a korai középkorban.* Budapest: Akadémiai Kiadó, 1968.

HEDGES – SALTER 1979. Hedges, R. E. M. – Salter, C. J.: Source Determination of Iron Currency Bars through Analysis of the Slag Inclusions. *Archaeometry* 21/2, 161–175, 1979.

HEGEDŰS 1960. Hegedűs Zoltán: Honfoglaláskori vastárgyak és salakok metallográfiai vizsgálatának tanulságai. *Történelmi Szemle*, 1960/1 119–129.

HEWITT 1860. Hewitt, J.: *Ancient Armour and Weapons is Europe: from the Iron Period of the Northern Nations to the End of the Seventeenth Century*. Oxford, 1960.

HOFFMEYER 1963 Hoffmeyer, A. B.: From medieval sword to Renaissance rapier. *Gladius* 2, 5–68, 1963.

HOŠEK ET AL. 2019. Hošek, J. – Košta, J. – Žákovský, P.: *Ninth to Mid-Sixteenth Century Swords from the Czech Republic in their European Context*. Part I. The Finds. Prague – Brno 2019.

HOŠEK ET AL. 2021. Hošek, J. – Košta, J. – Žákovský, P.: *Ninth to Mid-Sixteenth Century Swords from the Czech Republic in their European Context.* Part II. Swords of Medieval and Early Renaissance Europe as a Technological and Archaeological Source. Prague – Brno 2021.

JAKUHN 1939. Jakuhn, H.: *Eine Schwertform aus karolingischer Zeit*. Offa. Berichte und Mitteilungen des Museums vorsichtlicher Altertümer in Kiel 4 (1939) 155–168.

JANKOVICH 1835. Jankovich M.: *Egy magyar hősnek – hihetőleg bene vitéznek, - ki még a 'tizedik század' elején, Solt fejedelemmel, I. Berengár császárnak diadalmas védelmében Olaszországban jelen volt, újdonnan felfedezett tetemeiről, 's öltözetének ékességeiről*. A Magyar Tudós Társaság Évkönyvei 1835. 281–296.

JEŽEK 2015. Ježek, M.: The Disappearance of European Smiths' Burials. *Cambridge Archaeological Journal* 25/1, 121–143, 2015.

JOHNSSON 2015. Johnsson, P.: Geometry and the Medieval Sword. In: Grotkamp-Schepers, B. – Immel, I. – Johnsson, P. – Wetzler, S. (eds.): *Das Schwert – Gestalt und Gedanke. The Sword – Form and Thought*. Solingen 2015, 16–27.

JONES 2002. Jones, L. A.: Blade Construction and Pattern-Welding. In: Pierce, I.: *Swords of the Viking Age, The Boydell Press*, Woodbridge, 2002.

JONES 2023. Jones, R., W.: *A Cultural History of the Medieval Sword. Power, Piety, and Play*. Woodbridge: The Boydell Press, 2023.

JØRGENSEN 1999. Jørgensen A. N.: *Waffen und Gräber. Typologische und chronologische Studien zu skandinavischen Waffengräbern 520/30 bis 900 n. Chr.* København: Det Kongelige Nordiske Oldskriftselskab, 1999.

KAINOV 2012. Kainov, S. Ju.: *Swords from Gnëzdovo*. Acta Militaria Mediaevalia VIII, Kraków – Rzeszów – Sanok, 7–68, 2012.

KAINOV 2024. Kainov, S. Ju. – Novikov, V. V.: Novye nakhodki mechej v Gnyozdove (2017–2020 gg.). Moskva: *Kuchkovo pole Muzeon,* 2024.

KAINOV-SCHEDRINA 2019. Kainov S. Ju., Shchedrina A. Ju.: *Novye issledovaniya mechei iz Gnezdova.* In: Dvurechenskiy O. V., Kainov S. Ju., Kuleshov Ju. A., Baranov G. V. (szerk.): *Voennaya arkheologiya. Sbornik materialov nauchnogo seminara*, vyp. 5. IA RAN, Moszkva, 2019.

KATONA 2017. Katona Cs.: Vikings in Hungary? The Theory of the Varangian-Rus' Bodyguard of the First Hungarian Rulers. In.: *Viking and Medieval Scandinavia.* 13. (2017), 23-60.

Kirpičnikov 1970. Kirpičnikov, A. N.: Connections between Russia and Scandinavia in the Ninth and Tenth Centuries, as Illustrated by Weapon Finds. In: Hannestad, K. – Jordal, K. – Klindt-Jensen, O. – Rahbek Schmidt, K. – Stief, C. (eds.): *Varangian Problems. Scando-Slavica Supplementum* 1. Copenhagen: Munksgaard, 1970, 50–78.

KIRPICHNIKOV ET AL. 2001. Kirpichnikov, A. N. – Thålin-Bergman, L. – Jansson, I.: A New Analysis of Viking-Age Swords from the Collection of the Statens Historiska Museum, Stockholm, Sweden. *Russian History / Histoire Russe* 28, 2001, 221–244.

KISS 1985. Kiss, A.: Studien zur Archäologie der Ungarn im 10. und 11. Jahrhundert. In: Friesinger, H. – Daim, F. (eds.), *Die Bayern und ihre Nachbarn II. Veröffentlichungen der Kommission für Frühmittelalterforschung 9.* Wien, 217–379, 1985.

KISS 1987. Kiss, A.: Frühmittelalterliche byzantinische Schwerter im Karpatenbecken. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 39, 193–210, 1987.

KOLCSIN 1953. Kolcsin, B. A.: *Chernaya metallurgiya i metalloobrabotka v Drevney Rusi (domongol'skiy period).* Moskva: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1953.

KOLIAS 1988. Kolias, T. G.: *Byzantinische Waffen. Ein Beitrag zur Byzantinischen Waffenkunde von den Anfängen bis zur Lateinischen Eroberung*. Bécs, 1988.

KOŠTA – HOŠEK 2014. Košta, J. –Hošek, J.: *Early Medieval Swords from Mikulčice*. Brno, 2014.

KOVÁCS 1975. Kovács L.: A magyar honfoglaláskori fegyvertörténeti kutatások állásáról. *Hadtörténelmi Közlemények* 22/3 (1975) 515–529.

KOVÁCS 1980. Kovács, L.: Der Säbel von Benepuszta. (Ladánybene, KomitatBács-Kiskun, Kecskemét) *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae,* 32, 1980, 309-316.

KOVÁCS 1986. Kovács, L.: Viselet, fegyverek. In: Kristó, Gy. (szerk.): *Az Árpád-kor háborúi*. Zrínyi Kiadó, Budapest, 1986.

KOVÁCS 1990. Kovács L.: Szablya-kard fegyverváltás. A kétélű kardos 10-11. századi magyar sírok keltezéséhez. *Archeológiai Értesítő* 117 (1990) 39–49.

KOVÁCS 1994–1995. Kovács L.: A Kárpát-medence kétélű kardjai a 10. század második feléből. *Communicationes Archaeologicae Hungariae*1994–1995. 153–189.

KOVÁCS, 1995. Kovács L.: Előkelő rusz vitéz egy székesfehérvári sírban, In: *Kelet és Nyugat között – Történeti tanulmányok Kristó Gyula tiszteletére.* Szegedi Középkorász Műhely, Szeged 1995.

KÖLTŐ – SZENTPÉTERI 1996. Költő, L. – Szentpéteri, J.: A 8–10. századi kontinuitás kérdései a vörsi 8–10. századi temető kapcsán. The Questions of Continuity in the 8–10th Century on the Basis of the 8–10th Century Cemetery Excavated at Vörs. In: Balazic, J. – Vándor, L. (eds.), *Ljudje ob Muri – Népek a Mura mentén – Völker an der Mur – Ljudi uz Muru. Zbornik referatov mednarodne znanstvene konference v Lendavi, 10.–12. maj 1995.* Murska Sobota – Zalaegerszeg, 101–109, 1996.

KÖLTŐ – SZENTPÉTERI 2014. Költő, L. – Szentpéteri, J.: Vörs–Papkert B. In: Szőke, B. M.: *A Karoling-kor a Kárpát-medencében. A Magyar Nemzeti Múzeum állandó kiállítása*. Budapest: Magyar Nemzeti Múzeum, 29–34, 2014.

KRALOVÁNSZKY 1971. Kralovánszky, A.: Székesfehérvár–Sóstó. *Régészeti Füzetek* I/25, 1971. 63–64.

KRALOVÁNSZKY 1972. Kralovánszky, A.: Székesfehérvár–Sóstó – Wasserwerke. *Archeologiai Értesítő* 99, 1972. 264.

KRISTÓ 1986. Kristó Gy.: *Az Árpád-kor háborúi*. Budapest, 1986.

KVASSAY 2009. Kvassay, J.: Mire használhattak agyaggolyókat az Árpád-kori kovácsműhelyekben? In: Nagy, Z. – Szulovszky, J. (eds.), *A vasművesség évezredei a Kárpát-medencében*. Szombathely, 101–104, 2009.

LANGÓ 2007. Langó P.: *Amit elrejt a föld…* A 10. századi magyarság anyagi kultúrájának régészeti kutatása a Kárpát-medencében. Budapest, 2007.

LANGÓ ET AL. 2024. Langó, P. – Tóth, B. – Zághorhidi Czigány, B. – Harangozó, F. – Katona, C. – Török, B.: Das Alter des Grabes von Vörs-Papkert 167 aufgrund der Untersuchung des Schwertes aus der Bestattung = The Age of the Grave of Vörs-Papkert 167 Based on the Examination of the Sword from the Burial. *Slovenská Archeológia* Suppl. 3, 155–168, 2024.

LANG-WILLIAMS 2005. Lang, J. – Williams, R. A.: The Hardening of Iron Swords. *Journal of Archaeological Science* 2, 199–207, 1975.

LÁSZLÓ 1937. László, Gy.: Fettich Nándor: A prágai Szent István kard régészeti megvilágításban. Könyvismertetés. *Folia Archeologica*, 1-2, 1937, 231-232.

LEHMANN 2015 Lehmann, U.: Wurmbunte Klingen – Studies of pattern-welded swords in early medieval Westphalia using computerised X-ray tomography. In: Ruhmann, C. – Brieske, V. (eds.): *Dying Gods – Religious beliefs in northern and eastern Europe in the time of Christianisation. Neue Studien zur Sachsenforschung* 5. Konrad Theiss Verlag, Stuttgart 2015.

LEHMANN 2016. Lehmann, U.: *Wurmbunte Klingen. Studien zur Konstruktion, Herstellung und Wertigkeit der frühmittelalterlichen Spatha in Westfalen.* Veröffentlichungen der Altertumskommission für Westfalen, Landschaftsverband Westfalen-Lippe 21. Münster: Aschendorff Verlag, 2016.

LORANGE 1889. Lorange, A. L.: *Den Yngre Jernalders Sværd. Et Bidrag til Vikingetidens Historie og Teknologi*. Kristiania, 1889.

LUGOSI-TEMESVÁRY, 1988. Lugosi J. – Temesváry F. – *Kardok*, Budapest, Zrínyi Katonai Kiadó, 1988.

MACK 2000. Mack, J. – McDonnell, G. – Murphy, S. – Andrews, P. – Wardley, K.: Liquid steel in Anglo-Saxon England. *Historical Metallurgy* 34/2, 87–96, 2000.

MACKENZIE 2007. MacKenzie, D. S.: History of Quenching. *AM&P Technical Articles*, January 2007.

MACZEK 2024. Maczek, D. – Móc, R. – Dvořák, T. – Beronská, N.: Early Medieval Sword from Košice-Krásna Revisited: Its Metallography and Archaeology. Zborník Slovenského Národného Múzea CXXVIII, *Archeológia* 34 (2024) 277–301.

MÄDER 2009. Mäder, S.: *Stähle, Steine und Schlangen. Zur Kultur- und Technikgeschichte von Schwertklingen des frühen Mittelalters.* Schriftenreihe des Kantonalen Museums Altes Zeughaus Solothurn 24. Solothurn: Museum Altes Zeughaus, 2009.

MAREK 2005. Marek, L.: *Early Medieval Swords from Central and Eastern Europe.* Wrocław 2005.

MAROSI 1926. Marosi, A.: A székesfehérvári rádiótelepi ásatás. *Archeologiai Értesítő* 40, 245–257, 1923–1926.

MAROSI 1938. Marosi, A.: Levediai vonatkozások a székesfehérvári múzeum anyagában és a rádiótelepi kard. *Századok* 8, 49–55, 1938.

MARÓTI ET AL. 2022. Maróti, B. – Káli, Gy. – Török, B. – Barkóczy, P.: Complex examination project of the sword from Murakeresztúr-Kollászeg. In: Katona, Cs. – Langó, P. – Türk, A. (eds.), *Furor normannorum. Research on 9–11th Century Double-Edged Swords: Archaeological and Metallurgical Approaches.* Pázmány Péter Katolikus Egyetem (PPKE), Budapest 53–54, 2022.

MARTENS 2006A Martens, I. 2006a: Karolingisk eller norsk? Noen iakttakelser og spørsmål om vikingtidens våpenproduksjon i Norge. In: Glørstad, H. – Skar, B. – Skre, D. (eds.), *Historien i forhistorien. Festskrift til Einar*

Østmo på 60-årsdagen. Kulturhistorisk Museum Skrifter 4. Kulturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo, 221–228.

MARTENS-ASTRUP 2021. Martens, I. – Astrup, E. E.: *Viking Age Swords from Telemark, Norway. An Integrated Technical and Archaeological Investigation.* Norske Oldfunn XXXIII. Oslo 2021.

MEHOFER 2005. Mehofer, M.: Technologische Analysen an der Spatha von Hohenberg, Steiermark. *Archaeologia Austriaca* 89, 251–254, 2005.

MEHOFER 2006. Mehofer, M: Technologische Analyse am Säbel. In: Daim, F. – Lauermann E. (Hrsg.): *Das Frühungarische Reitergrab von Gnadendorf (Niederösterreich).* Mainz, 2006. 159–308.

MEHOFER-SZAMEIT 2002. Mehofer, M. – Szameit, E.: Technologische Untersuchungen an Waffen des Frühmittelalters aus Oberösterreich. *Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines* 147/1, 127–169, 2002.

MENGHIN 1982. Menghin, W.: *Das Schwert im Frühen Mittelalter*. Stutgart 1982.

MESTERHÁZY 1991. Mesterházy, K.: Bizánci és balkáni eredetű tárgyak a 10–11. századi magyar sírleletekben II. (Gegenstände byzantinischen und balkanischen Ursprunges in den ungarischen Gräberfeldern des 10.–11. Jh. II.). *Folia Archaeologica* 42, 145–177, 1991.

MESTERHÁZY 1993. Mesterházy, K.: Régészeti adatok Magyarország 10–11. századi kereskedelméhez. *Századok* 127, 450–468, 1993.

MILOT ET AL. 2016. Milot, J. – Poitrasson, F. – Bourdon, B. – Chabaux, F.: Iron isotopes as a potential tool for ancient iron metals tracing. *Journal of Archaeological Science* 76, 9–20, 2016.

MÔC 2018. Môc, R.: Príspevok k technológii výroby meča z Krásnej and Hornádom. Zborník Slovenského národného múzea 112, *Archeológia* 28, 2018, 221–233.

MOILANEN 2015. Moilanen, M.: Marks of Fire, Value and Faith: Swords with Ferrous Inlays in Finland During the Late Iron Age (ca. 700-1200 AD). *Turku* 2015.

MÓRA 1926. Móra, F.: Lovassírok Kunágotán. *Csanád vármegyei Könyvtár* 5 Szeged, 1926, 5–6.

MÜLLER-WILLE 1970. Müller-Wille, M.: *Eine neue Ulfberht-Schwert*. Offa 27, 65–91, 1970.

N. BENKŐ 1980. N. Benkő, Zs.: Az abonyi honfoglalás kori szablyatöredék. *Studia Comitatensia – Tanulmányok Pest megye múzeumaiból, Szentendre* 9 (1980) 235–245.

NAGY 1906. Nagy, G.: Karoling kori kard. *Archeológiai Értesítő* 2. füzet, 1906. 129 – 135.

NORDMAN 1942. Nordman, C. A.*: Vapnen i nordens forntid.* Stockholm, 1942.

OAKESHOTT 1960. Oakeshott, E.: *The Archaeology of Weapons: Arms and Armour from Prehistory to the Age of Chivalry*. New York 1960.

OAKESHOTT 1964. Oakeshott, E.: *The Sword in the Age of Chivalry.* Woodbridge, 1964

OAKESHOTT 1991. Oakeshott, E.: *Records of the Medieval Sword*. Woodbridge 1991.

OAKESHOTT 2002. Oakeshott, E. 2002: Introduction to the Viking Sword. In Pierce, I. (szerk): *Swords of the Viking Age*, The Boydell Press, 2002.

PALMIERI ET AL. 1999. Palmieri, A. M. – Frangipane, M. – Hauptmann, A. – Hess, K.: Early metallurgy at Arslantepe during the Late Chalcolithic and the Early Bronze Age IA–IB periods. In: Hauptmann, A. et al. (eds.), The Beginnings of Metallurgy. *Der Anschnitt* – Beiheft 9 (Bochum 1999) 141–148.

PAULSEN, 1933. Paulsen P.: *Magyarországi viking leletek az Észak- és nyugateurópai kultúrtörténet megvilágításában*. Budapest, 1933.

PAYNTER ET AL. 2015. Paynter, S. – Crew, P. – Hatton, G. D. – Johnson, M.: Spinel-rich slag and slag inclusions from a bloomery smelting and smithing experiment with a sideritic ore. *Historical Metallurgy*, 2015.

PEDERSEN 2014. Pedersen, A.: *Dead Warriors in Living Memory*. Koppenhága, 2014.

PÉK ET AL. 2000. Pék, L. – Pellényi, L. – Pálinkás, I.: *Anyagszerkezettan és anyagismeret*. Dinasztia Kiadó, Budapest, 2000.

PETERSEN 1919. Petersen, J.: *De Norske Vikingesverd. Christiania* (Oslo), 1919.

PETKES – SUDÁR 2015. Petkes Zs. – Sudár B.: *Honfoglalók fegyverben*. Budapest, 2015.

PIERCE, 2002. Pierce, I.: *Swords of the viking age*, The Boydel Press, 2002.

PLEINER 1993. Pleiner, R.: *The Celtic Sword.* Oxford: Clarendon Press, 1993.

PLEINER 2000. Pleiner, R.: *Iron In Archaeology – The European Bloomery Smelters*. Archeologickỳ ústav AV ČR, Praha.

PLEINER 2006. Pleiner, R: *Iron in Archeology. Early European Blacksmiths*. Prága, 2006.

POZSGAI 1995. Pozsgai, I.: *A pásztázó elektronmikroszkópia és az elektronsugaras mikroanalízis alapjai*. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó, 1995.

POZSGAI 2016. Pozsgai, I.: *Képalkotás, kémiai analízis és szerkezeti vizsgálat a korszerű pásztázó elektronmikroszkópban*. Budapest: Typotex, 2016.

PROHÁSZKA 1988. Prohászka, J.: *Bevezetés az anyagtudományba I.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.

PULSZKY 1891. Pulszky, F.: A magyar pogány sírleletek. Budapest: A Magyar Tudományos Akadémia kiadása, 1891.

RÁCZ 2009. Rácz, Zs.: Avar kori ötvös- és kovácsszerszámok. In: Nagy, Z. – Szulovszky, J. (szerk): *A vasművesség évezredei a Kárpát-medencében.* Szombathely, 2009. 67-96.

RATICAN 2025. Ratican, C. F.: *Bodies, Beings, and the Multiple Burial Rite of the Western Viking World*. Routledge, London–New York, 2025.

RAUHUT ET AL. 1968. Rauhut, L. – Tworek, D. – Ziencik, H.: Wczesnośredniowieczny miecz z Machowa, pow. Tarnobrzeg. *Wiadomości Archeologiczne* 33, 398–409, 1968.

RENFREW – BAHN 2005. Renfrew, C. – Bahn, P.: *Régészet. Elmélet, módszer, gyakorlat.* Budapest: Osiris Kiadó, 2005.

ROBERTS - THORNTON 2014. Roberts, B. W. – Thornton, C. P. (eds.): *Archaeometallurgy in Global Perspective*. Methods and Syntheses. Springer, New York – Heidelberg – Dordrecht – London, 2014.

RUTTKAY 1975. Ruttkay A.: Waffen und Reiterausrüstung des 9. bis zur ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts in der Slovakei. *Slovenská Archeológia* 23 (1975) 119–216.

SÁGI 1979. Sági, K.: A fenékpusztai V. sz.-i vasbucák történeti háttere. *Arrabona – Múzeumi Közlemények* 21, 1979.

SCHULZ 2004–2005. Schulz, C. E.: Zum Aufkommen des Schwertes. Anodos. *Studies of the Ancient World* 4–5 (2004–2005), 215–229.

SCHWAB ET AL. 2006. Schwab, R. – Heger, D. – Höppner, B. – Pernicka, E.: The Provenance of Iron Artefacts from Manching: a Multi-Technique Approach. A*rchaeometry* 48/3, 433–452, 2006.

SCHWARZLOSE 1886. Schwarzlose, F. W.: *Die Waffen der alten Araber aus ihren Dichtern dargestellt. Ein Beitrag zur arabischen Alterthumskunde, Synonymik und Lexicographie nebst Registern*. J. C. Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1886.

SCOTT 1991. Scott, D. A.: *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*. Los Angeles, 1991.

SCOTT 2014. Scott, D. A.: Metallography and Microstructure of Metallic Artifacts. In: Roberts, B. W. – Thornton, C. P. (eds.), *Archaeometallurgy in Global Perspective.* Methods and Syntheses. New York – Heidelberg – Dordrecht – London: Springer, 2014.

SEITZ 1964. Seitz, H.: *Blankwaffen I: Geschichte und Typenentwicklung im europäischen Kulturbereich von der prähistorischen Zeit bis zum Ende des 16. Jahrhunderts*. Braunschweig, 1964.

SELSKIENĖ 2007. Selskienė, A.: Examination of smelting and smithing slags formed in bloomery iron-making process. *Chemija* 18, 22–28, 2007.

SERNEELS – PERRET 2003. Serneels, V. – Perret, S.: Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains. In: *Archaeometallurgy in Europe. Proceedings of the International Conference, 24–26 September 2003, Milan, Vol. 1.* Associazione Italiana di Metallurgia, 469–478, 2003.

SMITH 1960. Smith, C. S.: *A History of Metallography. The Development of Ideas on the Structure of Metals before 1890.* Chicago: The University of Chicago Press, 1960.

STALSBERG 2008. Stalsberg, A.: Herstellung und Verbreitung der Vlfberht-Schwertklingen. Eine Neubewertung. *Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters*, 36/1 (2008) 89–118.

SZŐKE 1994. Szőke, B. M.: Karoling-kori szolgálónépi temetkezések Mosaburg/Zalavár vonzáskörzetében: Garabonc–Ófalu I–II. *Zalai Múzeum* 5. Zalaegerszeg 1994.

SZŐKE 2021. Szőke, B. M.: *Die Karolingerzeit in Pannonien*. Mainz 2021.

TAKÁCS 2017. Takács R.: A nyugat-európai fegyverzet egyes elemei a 10 – 11. századi Kárpát-medencében. *Móra Akadémia* 4 (2017) 252–273.

TANKÓ ET AL. 2019. Tankó, K. – Török, B. – Farkas, Cs.: A késő vaskori fémmegmunkálás leleteinek régészeti és archeometriai vizsgálata Szilvásvárad – Lovaspálya lelőhelyen. In: Vicze, M. – Kovács, G. (eds.), *ΜΩΜΟΣ X. Őskoros Kutatók X. Összejövetelének konferenciakötete. Őskori technikák, őskori technológiák.* Matrica Múzeum, Százhalombatta, 383–409, 2019.

THIELE 2011. Thiele, Á.: Az érctől a vastárgyig – a bucavaskohászat metallurgiája. *Bányászati és Kohászati Lapok – Kohászat* 144/1, 2–5, 2011.

THIELE ET AL. 2014. Thiele, Á. – Török, B. – Haramza, M. – Juhász, G. M.: A díszítő kovácshegesztés (pattern-welding) szerepe 2–10. századi kard- és képspengékben. Korhűen rekonstruált vasanyagok maratási vizsgálata. 11/2, 2014, 127–136.

THIELE ET AL. 2014.B. Thiele Á. – Török B. – Haramza M. – Juhász G. M.: A díszítő kovácshegesztés (pattern-welding) szerepe 2–10. századi kard- és képspengékben. Korhűen rekonstruált vasanyagok maratási vizsgálata. *Archeometriai Műhely* 11/2 (2014) 127–136.

THIELE ET AL. 2014A Thiele, Á. – Hošek, J. – Haramza, M.: Középkori damaszkolt pengékben felhasznált vasötvözetek – kilenc közép-európai damaszkolt kard- és késpenge archeometriai vizsgálata. *Gesta* 13, 79–89, 2014.

THIELE ET AL. 2019. Thiele, Á. – Juhász, G. M. – Hošek, J. – Kucypera, P. – Török, B. – Haramza, M.: A díszítő kovácshegesztés (damaszkolás) szerepe a kora középkori kardpengékben. *A Laczkó Dezső Múzeum Közleményei* 29, 169–196, 2019.

TOMPA–ZÁGORHIDI CZIGÁNY 2019. Tompa B.–Zágorhidi Czigány B.: 9–10. századi egyenes pengéjű szablyák és szablyamarkolatú kardok a Kárpát-medencében. In Sudár B. – Türk A. (szerk.): *Hadak Útján - A népvándorláskor fiatal kutatóinak XXIX. konferenciája. Studia ad* Archaologiam Pazmaniensia 15. Absztraktkötet, Budapest 2019, 84-85.

TOMSONS 2018. Tomsons, A.: *Zobeni Latvijas teritorijā no 7. līdz 16. gadsimtam*. Latvijas Nacionālā Vēstures Muzeja Raksti 27. Rīga 2018.

TÓTH 2023. Tóth, B.: A 10. századi Kárpát-medencei kétélű egyenes kardok archeometriai aspektusú vizsgálata – kutatási célok és előzetes eredmények. *Gesta* XX, 3–11, 2023.

TÓTH 2024. Tóth, B.: Recenzió: Hošek, J. – Košta, J. – Žákovský, P.: Ninth to Mid-Sixteenth Century Swords from the Czech Republic in their European Context. *Communicationes Archaeologicae Hungariae*, 331–334, 2024.

TÓTH 2025. Tóth, B.: Elmélet és gyakorlat régészeti töredékekből végzett kísérleti kovácsolás a 10. századi Kárpát-medencei kétélű egyenes kardpengék készítésének tükrében. *Bányászattörténeti Közlemények*, 20–31, 2025.

TÓTH ET AL. 2024. Tóth, B. – Török, B. – Barkóczy, P. – Kovács, Á. – Langó, P.: Small Remains with a Big Meaning – What Can a Slag Inclusion Tell Us About the Blacksmith's Work? In: Tylšová, S. – Karabáš, M. (eds.): *30th EAA Annual Meeting (Rome, Italy 2024) – Abstract Book.* European Association of Archaeologists, 1154, 2024.

TÓTH –TÖRÖK 2023. Tóth, B. –Török, B.: A kiskundorozsmai szabálymarkolatú kard az archeometriai vizsgálatok fókuszában: Készítéstechnológiai elemzés. *Bányászattörténeti Közlemények* 18/35–36, 31–54, 2023.

TÖRÖK – BARKÓCZY 2023. Török, B. – Barkóczy, P.: Keszthely-Fenékpuszta késő római lelőhelyről származó rendkívüli méretű vasbucák archeometriai vizsgálata. Archaeometrical examination of iron blooms of extraordinary size from the Late Roman site of Keszthely-Fenékpuszta. *Archeometriai Műhely* XX/2, 177–190, 2023.

TÖRÖK 2011. Török, B.: Vasérc, vasbuca, vastárgy. Az első magyar vaskohászok műhelyei és technikája a Kárpát-medencében. *Bányászattörténeti Közlemények* 6/12, 3–29, 2011.

TÖRÖK 2014. Török Béla: *Archeometallurgia.* Miskolci Egyetem, 2014.

TÖRÖK ET AL 2013. Török, B. – Kovács, Á. – Barkóczy, P. – Kristály, F.: Ordacsehi-Csereföld kelta településéről származó vassalak és vastárgyak anyagvizsgálata és készítéstechnológiai vonatkozásai. Materials testing and production technology investigation of iron tools and slag from a Celtic settlement of Ordacsehi-Csereföld. *Archeometriai Műhely* X/1, 23–32, 2013.

TÖRÖK ET AL. 2017A Török, B. – Barczyk, P. – Kovács, Á. – Major, B. – Vágner, Zs.: Arrowheads and chainmail fragments from the Crusader Al-Marqab Citadel (Syria): First archaeometallurgical approach. *Materials and Manufacturing Processes* 32, 916–925, 2017.

TÖRÖK ET AL. 2017B Török, B. – Kovács, Á. – Barkóczy, P. – Szücsi, F.: Tradecraft of the Avars' metalworking – manufacturing of iron axes and a special multi-metallic method used for belt accessories. *Star: Science & Technology of Archaeological Research* 3/2, 258–269, 2017.

TÖRÖK ET AL. 2018 Török, B. – Barkóczy, P. – Kovács, Á. – Költő, L. – Fehér, A. – Szőke, B. M.: Pannóniai kora középkori ékelt vasbucák összehasonlító archeometriai vizsgálata. *Bányászati és Kohászati Lapok – Kohászat* 151/3, 1–4, 2018.

TÖRÖK ET AL. 2018. Török, B. – Gallina, Zs. – Kovács, Á. – Kristály, F.: Early medieval iron bloomery centre at Zamárdi (Hungary) – Complex archaeometrical examinations of the slags. *Archeologické rozhledy* LXX/3, 404–420, 2018.

TÖRÖK ET AL. 2022 Török, B. – Barkóczy, P. – Langó, P. – Tóth, B.: Archaeometric investigation of the Kunágota-sword – A Case Study / A kunágotai kard archeometriai vizsgálata – Esettanulmány. *Archeometriai Műhely* XIX/3, 279–288, 2022.

TÖRÖK ET AL. 2024. Török, B. – Barkóczy, P. – V. Szabó, G.: Huge amounts of iron raw material from the Early Iron Age settlement of Dédestapolcsány-Verebce (N-Hungary): a preliminary archaeometallurgical study. *Archeometriai Műhely* 21/3, 285–293, 2024.

TÖRÖK-KOVÁCS 2010. Török, B. – Kovács, Á.: Crystallization of Iron Slags Found in Early Medieval Bloomery Furnaces. In: 5th International Conference on Solidification and Gravity, Miskolc-Lillafüred, Hungary (2008). Materials Science Forum 649. *TransTech Publications*, 455–460, 2010.

TÖRÖK-KOVÁCS 2011. Török, B. – Kovács, Á.: Kora középkori gepida kard archeometallurgiai vizsgálata. Archaeometallurgical investigations of an Early Medieval Gepidic sword. *Archeometriai Műhely* 2011/VIII./4, 337–343, 2011.

TÖRÖK-THIELE 2013. Török, B. – Thiele, Á.: Smelting bog iron ores under laboratorial conditions – the role of phosphorus in the archaeometallurgy of iron in Somogy county. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering* 47, 2013.

TUSKÓ 1997. Tuskó, L. – Végvári, F.: *Anyagvizsgálat.* Kecskemét: Kecskeméti Főiskola, 1997.

TYLECOTE 2002. Tylecote R. F.: *A History of Metallurgy*. 2nd ed. Maney Publishing for the Institute of Materials, London, 2002.

TYLECOTE-GILMOUR 1986. Tylecote, R. F. – Gilmour, B. J. J.: *The Metallography of Early Ferrous Edge Tools and Edged Weapons.* Oxford: BAR British Series 1986, 155.

UNDSET 1890. Undset, I.: Egy túróczmegyei leletről. *Archeológiai Értesítő* 10. 1890, 164–167.

V. SZABÓ 2023. V. Szabó, G. – Mogyorós, P. – Bíró, P. – Kovács, A. – Tankó, K. – Tóth Farkas, M. – Urbán, D. – Barcsi, M.: Investigations of an Early Iron Age

Siege 2: Preliminary report on the archaeological research carried out at Dédestapolcsány – Verebce-bérc and Dédestapolcsány – Várerdő between September 2022 and the end of 2023. *Dissertationes Archaeologicae* 3/11, 603–623, 2023.

V. SZABÓ ET AL. 2014. V. Szabó, G. – Czajlik, Z. – Reményi, L.: Egy vaskori fegyveres konfliktus nyomai. Új topográfiai eredmények a dédestapolcsányi Verebce-tető kutatásában I. *Magyar Régészet* 2014 tavasz, 2014 1–6.

V. SZABÓ ET AL. 2022. V. Szabó, G. – Barcsi, M. – Bíró, P. – Tankó, K. – Váczi, G. – Mogyorós, P.: Investigations of an Early Iron Siege. Preliminary Report on the Archaeological Research Carried out at Dédestapolcsány – Verebce-bérc between 2020–2022. *Dissertationes Archaeologicae* 3/10, 277–299, 2022.

VERŐ – KÁLDOR 1977. Verő, J. – Káldor, M.: Fémtan. Budapest: Tankönyvkiadó Vállalat, 1977.

WAYMAN 2000. Wayman, M. L.: Archaeometallurgical contributions to a better understanding of the past. *Materials Characterization*. 45,2000, 259–267.

WEGELI 1904. Wegeli, R.: *Inschriften auf mittelalterlichen Schwertklingen*. Lipcse, 1904.

WESTPHAL 1991. Westphal, H.: Untersuchungen an Saxklingen des sächsischen Stammesgebietes – Schmiedetechnik, Typologie, Dekoration. In: Hassler, H. J. (ed.): *Studien zur Sachsenforschung* 7. Hildesheim: Lax, 271–363, 1991.

WESTPHAL 2002. Westphal, H.: Franken oder Sachsen? Untersuchungen an frühmittelalterlichen Waffen. *Studien zur Sachsenforschung* 14. Oldenburg, 2002.

WHEELER 1927. Wheeler, R. E. M.: *London and the vikings*. London, 1927.

WILLIAMS 2003. Williams, R. A.: *The Knight and the Blast Furnace.* A History of the Metallurgy of Armour in the Middle Ages & the Early Modern Period. Leiden – Boston: Brill (History of Warfare, 12), 2003.

WILLIAMS 2009. Williams, R. A.: A Metallurgical Study of Some Viking Swords. *Gladius* XXIX, 121–184, 2009.

WILLIAMS 2012. Williams, R. A.: The Sword and the Crucible. A History of the Metallurgy of European Swords up to the 16th Century. History of Warfare, 77, Brill, Leiden – Boston, 2012.

WORLEY-WAGNER 2013. Worley, J. – Wagner, T. G. 2013: How to make swords talk: an interdisciplinary approach understanding medieval swords and their inscriptions. *Waffen- und Kostümkunde* 55/2, 11–12.

YOTOV 2011. Yotov, V.: A New Byzantine Type of Swords (7th–11th Centuries). In: Rakotziya, M. (ed.): *Niś and Byzantium IX. Niś*, 113–124, 2011.

YOTOV 2012. Yotov, V.: The Kunágota Sword Guard and the Dating of Two Matrices for Hilt Manufacturing. In: Tobias, B. (ed.): *Die Archäologie der Frühen Ungarn*. Mainz, 219–226, 2012.

YOTOV 2014. Yotov, V.: The Kunágota Sword-guard and Two Bronze Matrices for Sword-Hilt Manufacture from Iran. In: Doncheva-Petkova, L. – Balogh, Cs. – Türk, A. (eds.), Avars, Bulgars and Magyars on the Middle and the Lower Danube. *Archeolingua*, Sofia – Piliscsaba, 125–131, 2014.

YOTOV ET AL. 2021. Yotov, V. – Kolias, T. G. – Eger, C.: *Swords in Byzantium*. Studia Militaria Balcanica II/1. Varna: Slavena Publishing House, 2021.

ZABINSKI ET AL. 2014. Zabinski, G. – Biborski, M. – Stepinski, J.: *Technology of Sword Blades from the La Tène Period to the Early Modern Age. The case of what is now Poland.* Archeopress Archaeology, Warsaw, 2014.

ZORKÓCZY 1968. Zorkóczy, B.: *Metallográfia és anyagvizsgálat*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.

Források

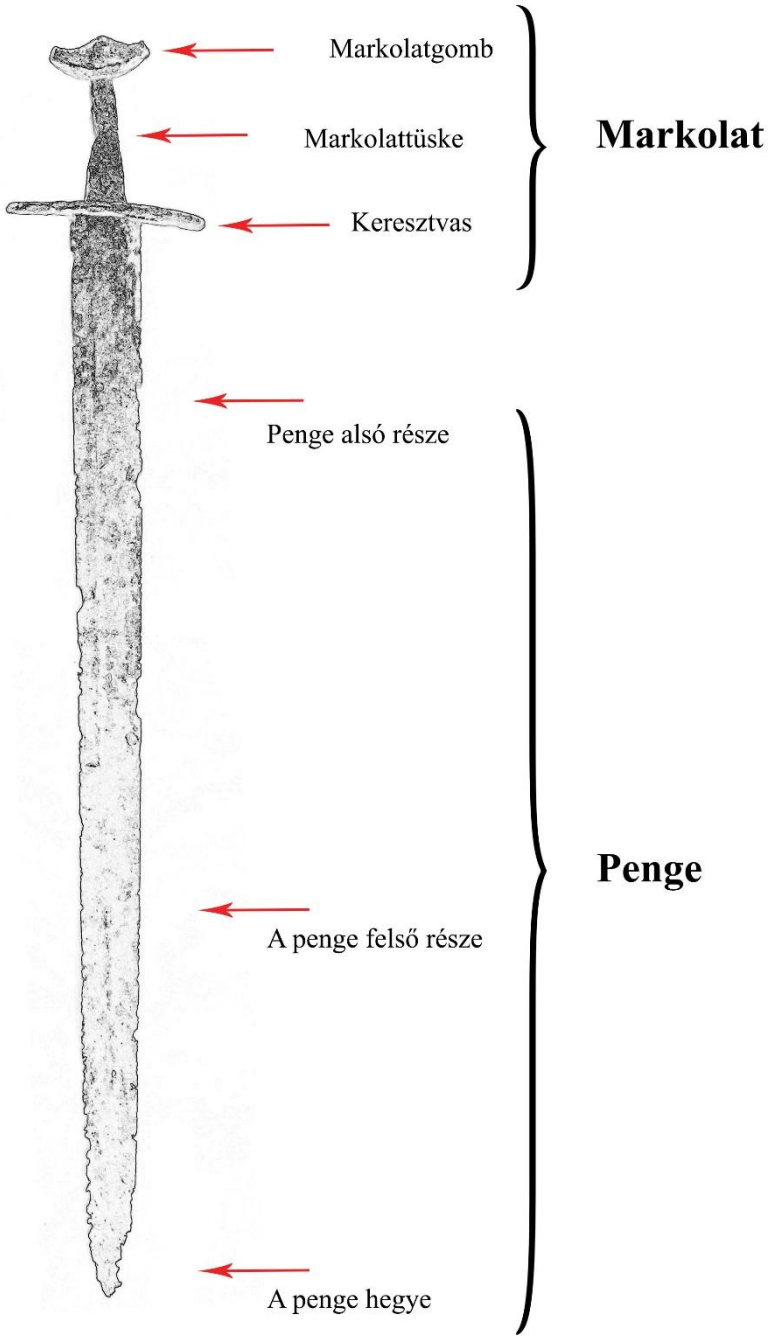
DDA Teophilus Presbyter: *A különféle művességekről (De diversis artibus).* (ford.: Takács Vilmos) Budapest, 1984.

SZABOLCSVÁRMEGYE

ALISPÁNJA: *Tiszteletteljes jelentése Szabolcsvármegye közönségéhez Szabolcsvármegye 1914. I. félévi közigazgatásának állapotáról.* Jóba Elek Könyvnyomdája, Nyíregyháza, 1914.

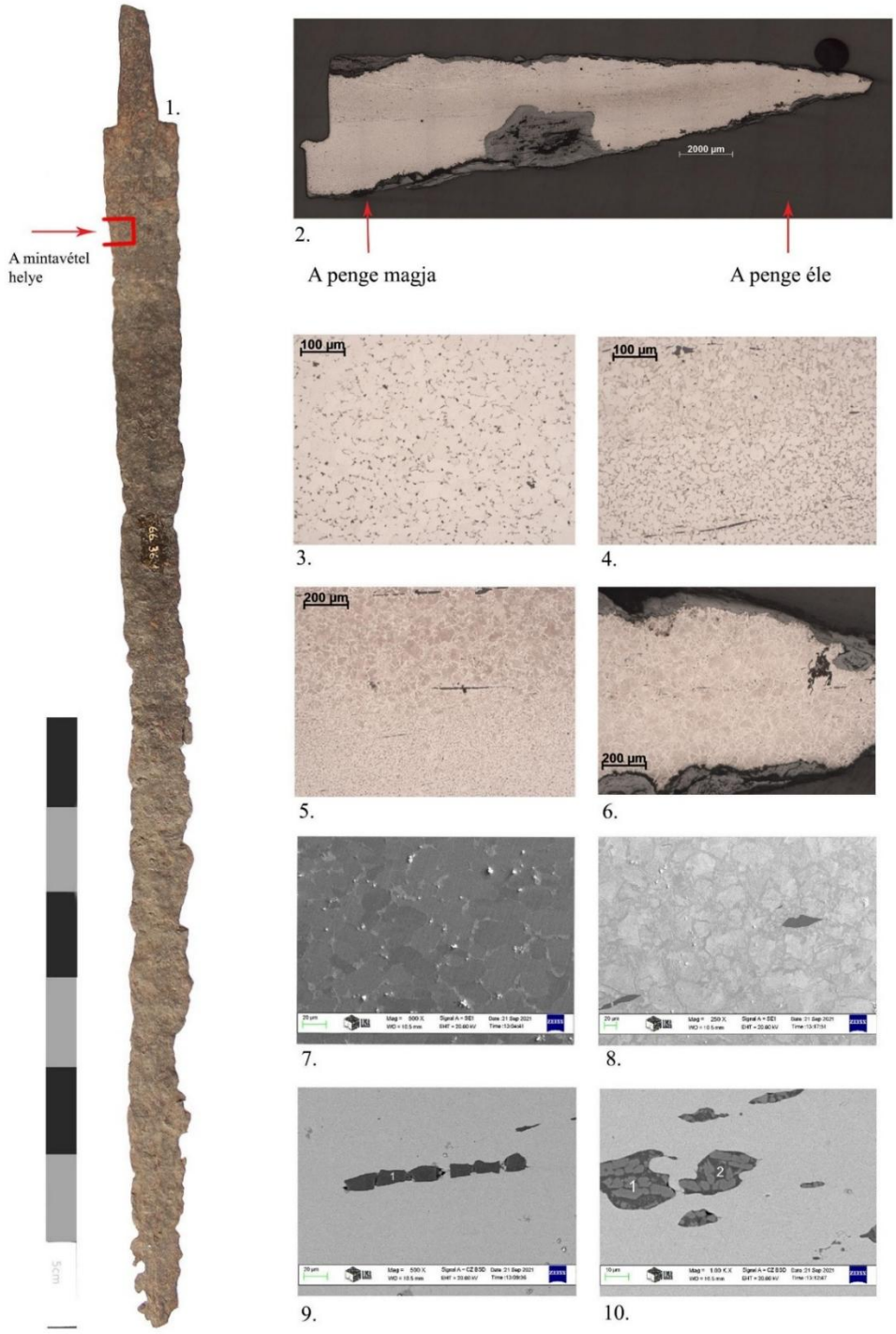
POLÜBIOSZ *Histories*, II.33.3–4 (Loeb Classical Library), 322–323. https://archive.org/details/historieswitheng01poly/page/322/mode/2up utolsó megtekintés: 2024. 12. 4.

Melléklet 1.

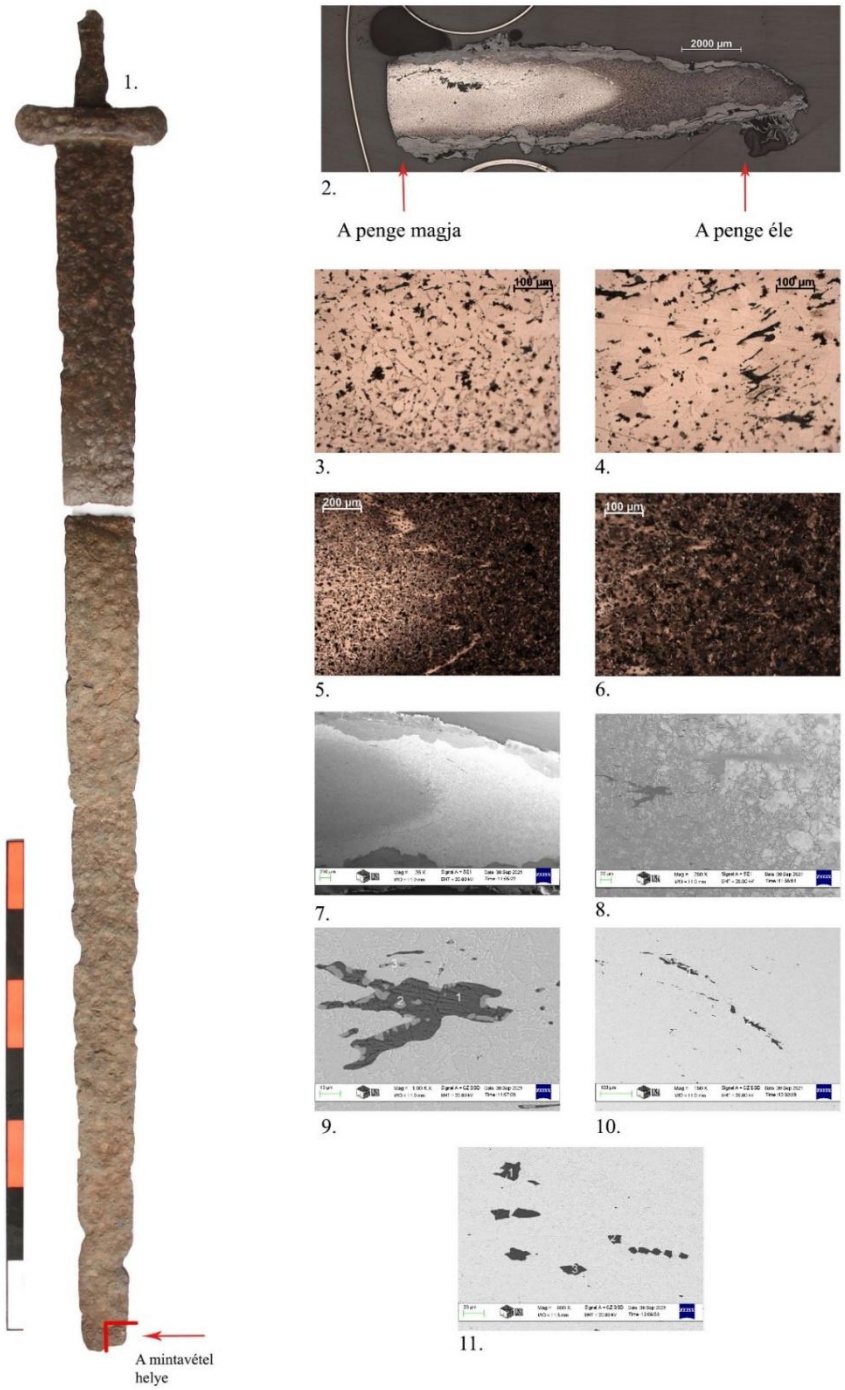


I. tábla: A kard felépítése.

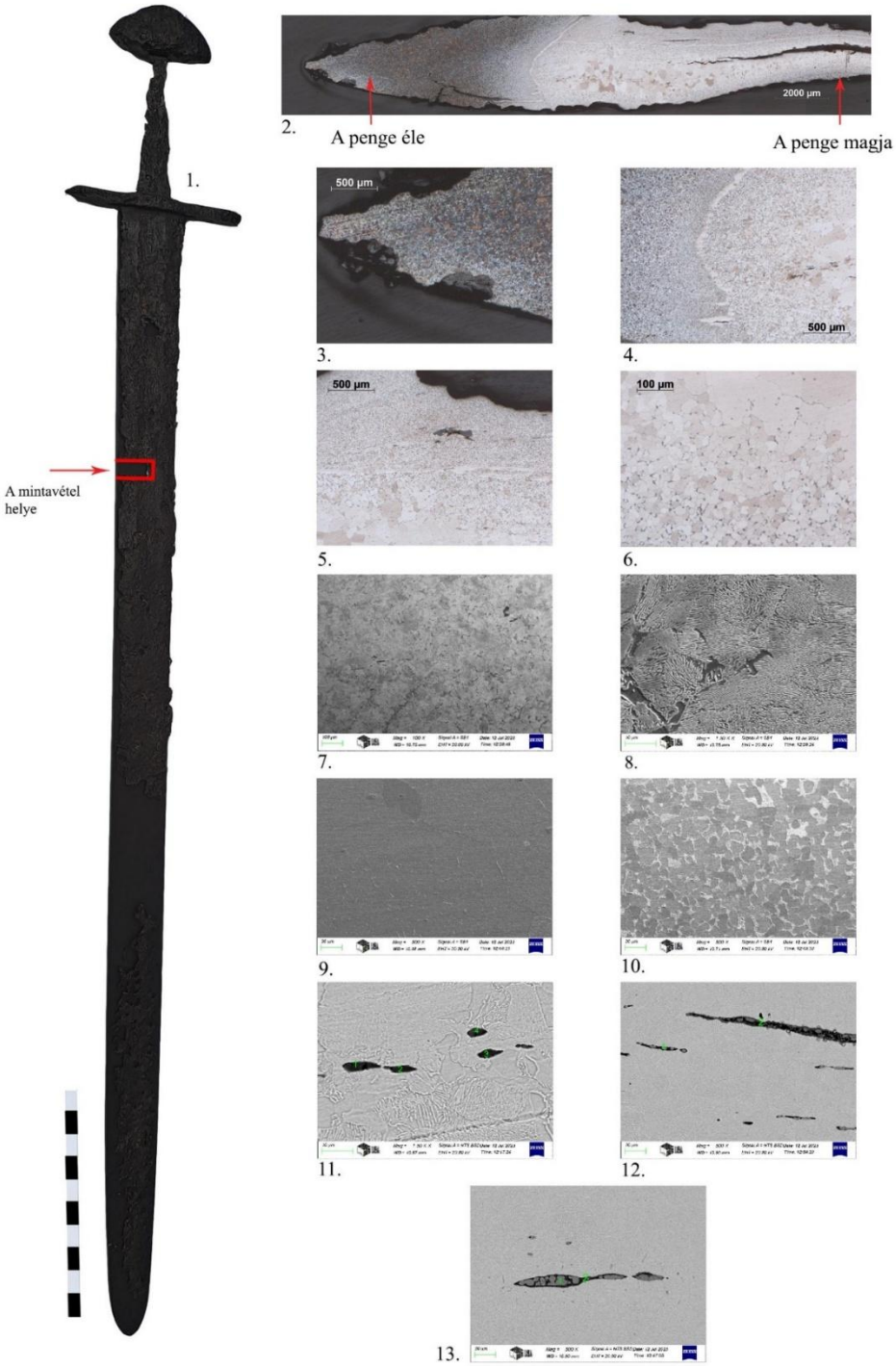
Melléklet 2.



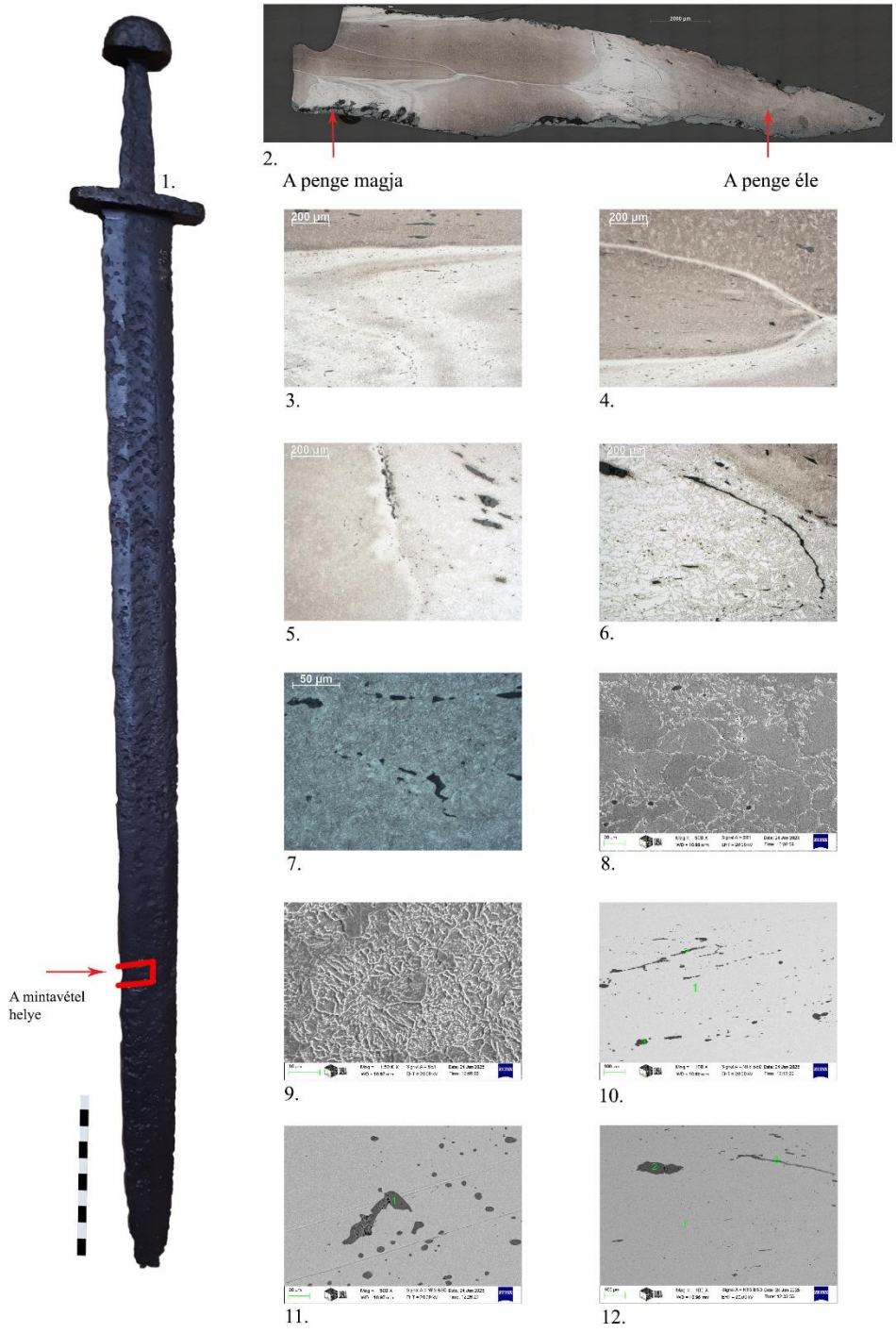
I. *tábla: Balsa lelőhelyről előkerült kard (őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza, ltsz.: 66.36.1.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3–6. kép: A mintáról készült nagyobb nagyítású OM-felvételek, amelyek a penge magjától az élig (3→6) mutatja a minta szövetszerkezetét. A mintára alapvetően lágy ferrites szövet jellemző, az élnél perlit is megjelenik. 7–8. kép: A penge magjáról és éléről készült SEM-felvételek. 9–10. kép: A penge magjában (9.) és élében talált zárványok. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.*



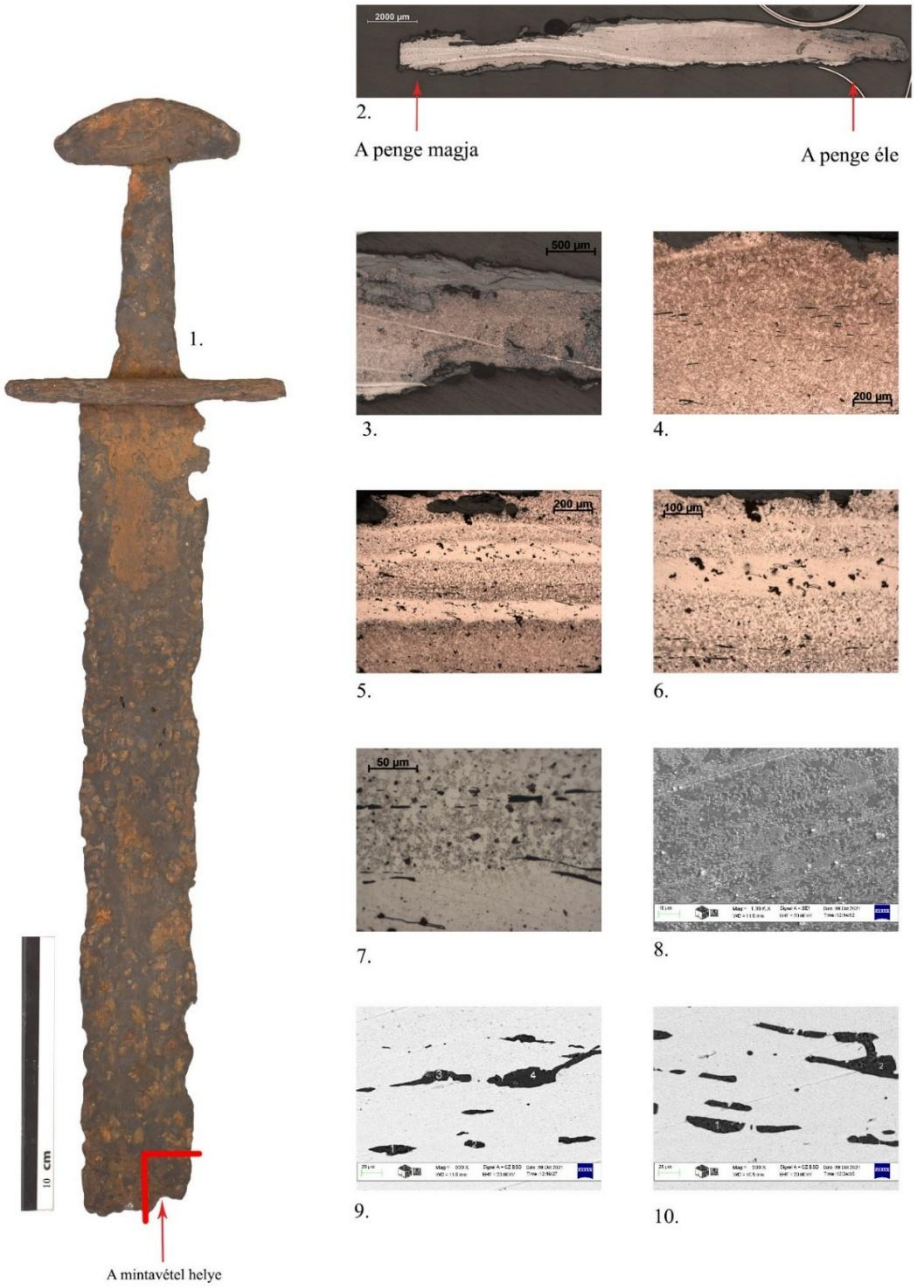
II. tábla: Beszterec–Gyalaptanyánál előkerült kard (őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza, ltsz.: 66.46.1): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3–6. kép: A mintáról készült nagyobb nagyítású OM-felvételek, amelyek a penge magjától az élig (3→6.) mutatja a minta szövetszerkezetét. A penge magja lágyabb ferritből, éle pedig kemény perlitből áll. 7–8. kép: A mintáról készült SEM-felvételek. A 7. képen kisebb nagyításban látható a penge magja és éle közötti átmeneti zóna. 9–11. kép: A mintában talált zárványok SEM-felvételei, amelyeken a penge magjában (9–10.) és élében talált zárványok láthatók. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



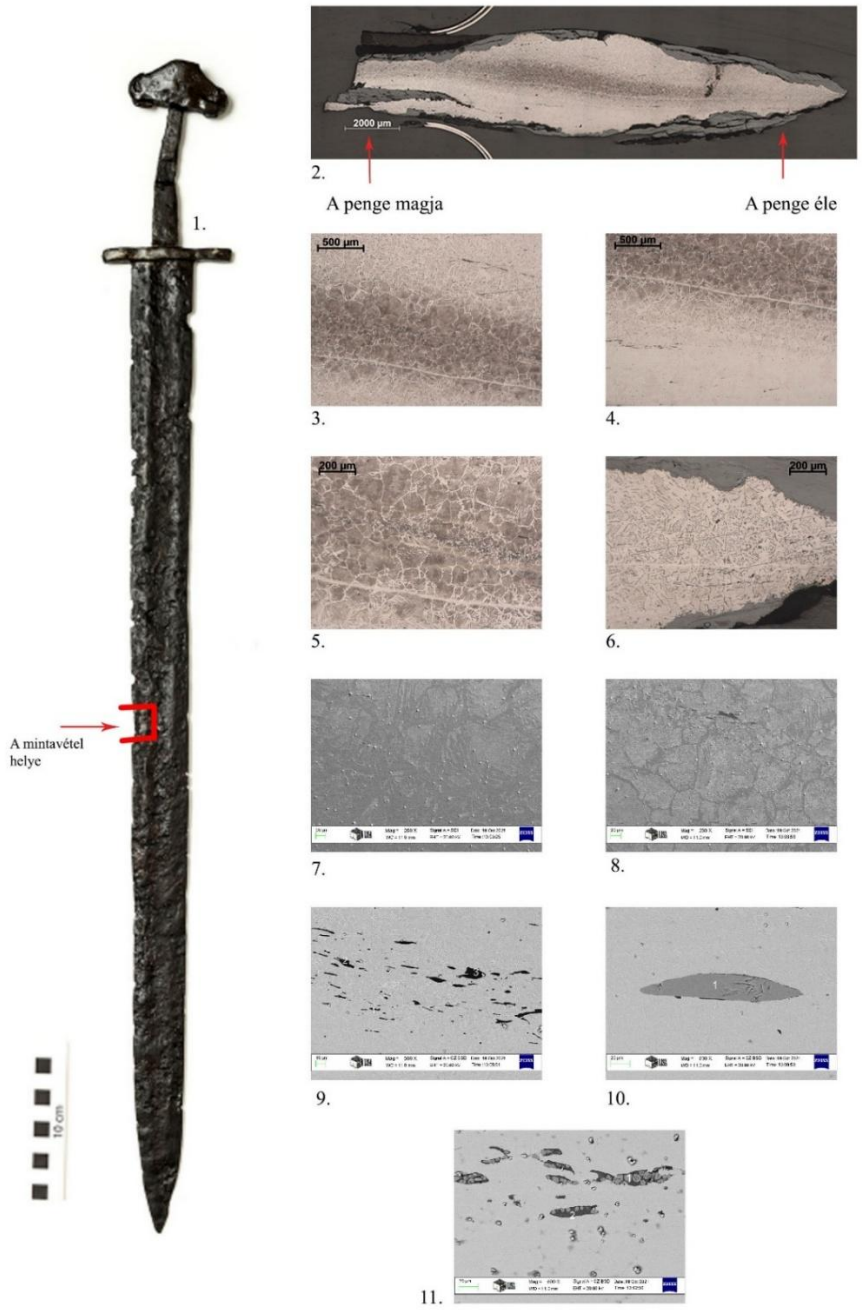
III. tábla: Budapesti szórványlelet (őrzési hely: BTM Aquincumi Múzeum Népvándorlás kori Gyűjtemény, ltsz.: 79.5.1): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3–6. kép: A mintáról készült nagyobb nagyítású OM-felvételek, amelyek a penge élétől a magjáig (3→6) mutatja a minta szövetszerkezetét. A penge élére a perlites szövet jellemző, míg a magjában főként lágy ferrites szövet dominál. 7–8. kép: A penge éléről készült SEM-felvételek, amelyeken jól kivehető az él perlites szövete. 9–10. kép: A penge magja felé eső területek SEM-felvételei. 11–13. kép: A mintában talált zárványok SEM-felvételei, amelyeken a penge magjában (11–13.) és élében talált zárványok láthatók. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



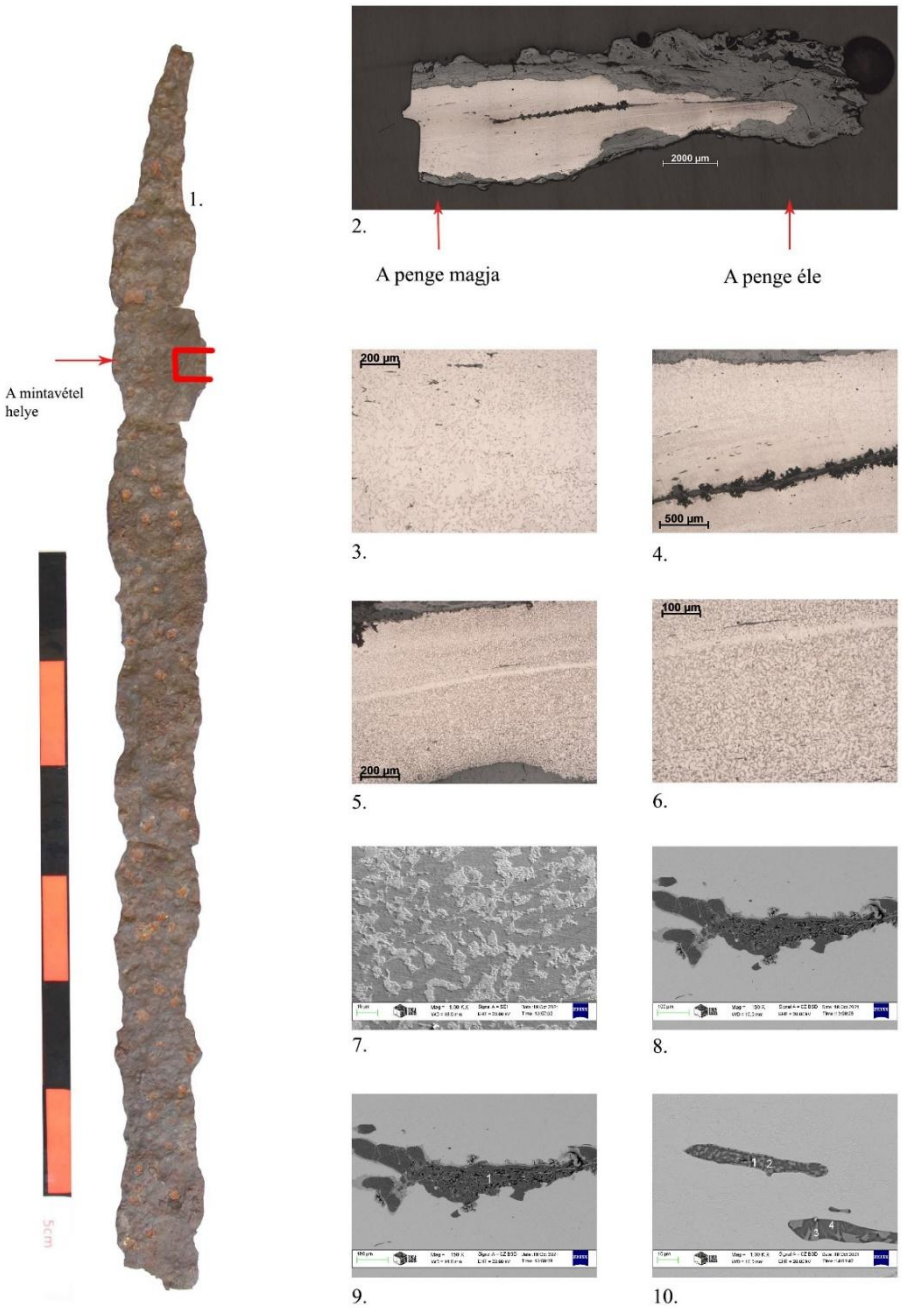
IV. tábla: Eger – ismeretlen lelőhelyű kard (őrzési hely: Eger, Dobó István Vármúzeum; ltsz.: 54.84.1.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3–7. kép: A mintáról készült nagyobb nagyítású OM-felvételek, amelyek a penge magjától az élig mutatják a minta szövetszerkezetét (3→7.). A felvételeken jól kivehető a pengében megfigyelhető hajtogatott anyag, amely díszítő kovácshegesztésre utal (3. kép). 8–9. kép: A penge éléről készült SEM-felvételek. 10–12. kép: A mintában talált zárványok SEM-felvételei, amelyeken a penge magjában (10), a díszítésnél (11.) és az élében talált (12.) zárványok láthatók. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



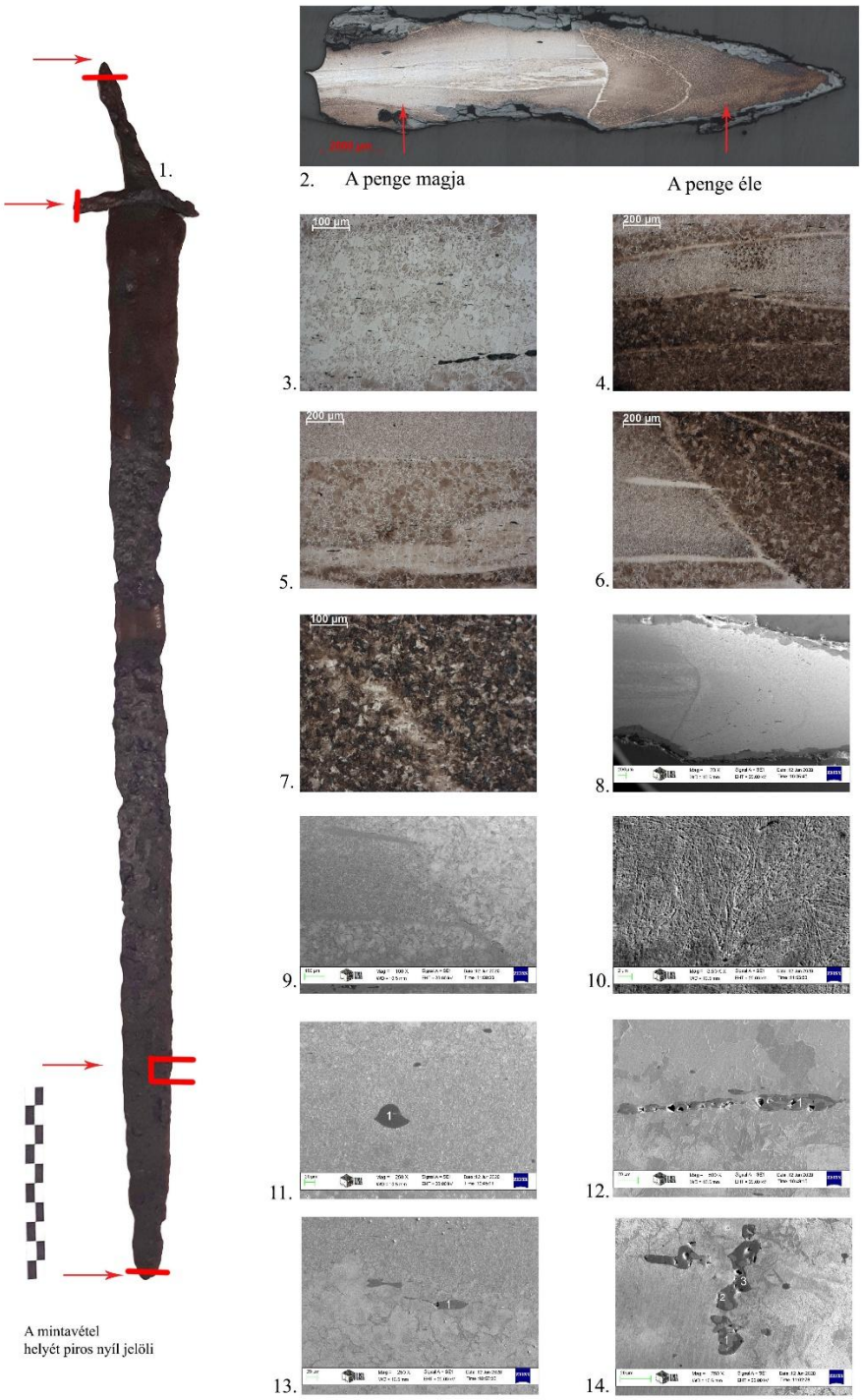
V. tábla: Ismeretlen lelőhelyű kard (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.: n.a.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-7. kép: A mintáról készült nagyobb bagyítású OM-felvételek, amelyek a penge élétől a magjáig (3-7.) mutatja be a minta szövetszerkezetét. 8. kép: A penge éléről készült SEM-felvétel. 9-10. kép: A mintában talált zárványok SEM-felvételei, amelyeken a penge magjában (9.) és az élében talált (12.) zárványok láthatók. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



VI. tábla: Himesháza/ismeretlen lelőhelyű kard (őrzési hely: Janus Pannonius Múzeum, Pécs; ltsz.: n.a.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve (Fotó: Haramza 2022). 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A mintáról készült nagyobb nagyítású OM-felvételek, amelyek a penge magjától az élig mutatják a minta szövetszerkezetét (3→6.). A felvételeken jól látható a mintán belüli változatos ferrit-perlit arány, a hajtogatásra utaló nyomok, illetve a mintán keresztülhúzódó nagyobb karbontartalmú sáv. 7-8. kép: A mintáról készült SEM-felvételek. 9-11. kép: A mintában talált zárványok SEM-felvételei. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



VII. tábla: Szablyamarkolatú kard/ ismeretlen lelőhelyű példány (őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.52.1.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A mintáról készült nagyobb nagyítású OM-felvételek, amelyek a penge magjától az élig mutatják a minta szövetszerkezetét (3→6.). A minta szövetszerkezete alapvetően lágy, ferrites, néhol ferrit-perlites. 7. kép: A mintáról készült SEM-felvétel. 8-10. A mintát ketté szelő nagy méretű zárvány SEM-felvétele, illetve a penge élénél talált további zárvány SEM-felvétele (10.). A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.

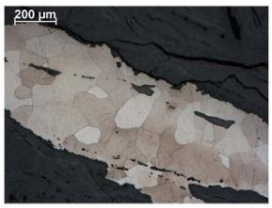


VIII. A tábla: Kiskundorozsma (Szablyamarkolatú kard) / Vöröshomok-dűlő (őrzési hely: Móra Ferenc Múzeum, Szeged, ltsz.: n.a.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helyei pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-7. kép: A mintáról készült nagyobb nagyítású OM-felvételek, amelyek a penge magjától az élig mutatják a minta szövetszerkezetét (3→7.). A magról készült felvételeken kivehetők a hajtogatás nyomai. 9-10. kép: A penge magjáról és éléről készült SEM-felvételek. Az élnél kivehető a bainites-martenzites szövetszerkezet (10.). 11-14. A mintában talált zárványok SEM-felvételei. A 14. képen a mag és az él közé ékelődött zárványsor látható. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.

A kard keresztvasából vett minta OM- és SEM-felvételei:



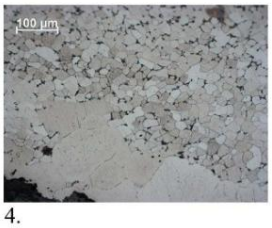
1.



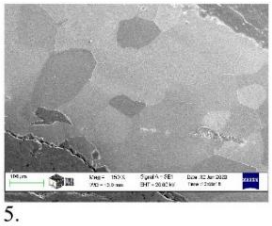
2.

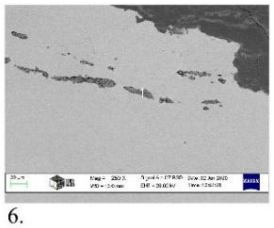


3.

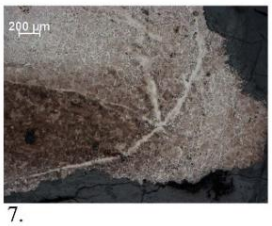


4.


5.


6.

A kard markolattüskéjéből vett minta OM- és SEM-felvételei:



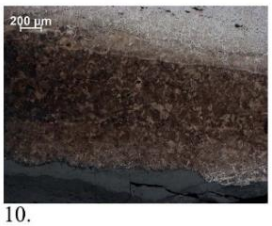
7.



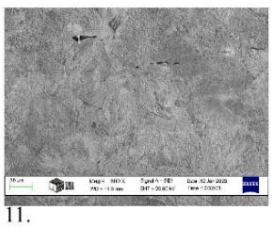
8.

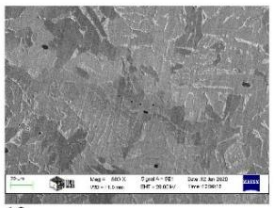


9.

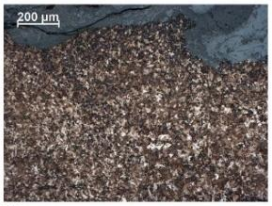


10.


11.


12.

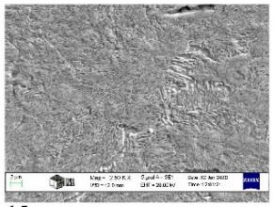
A penge hegyéből vett minta OM- és SEM-felvételei:



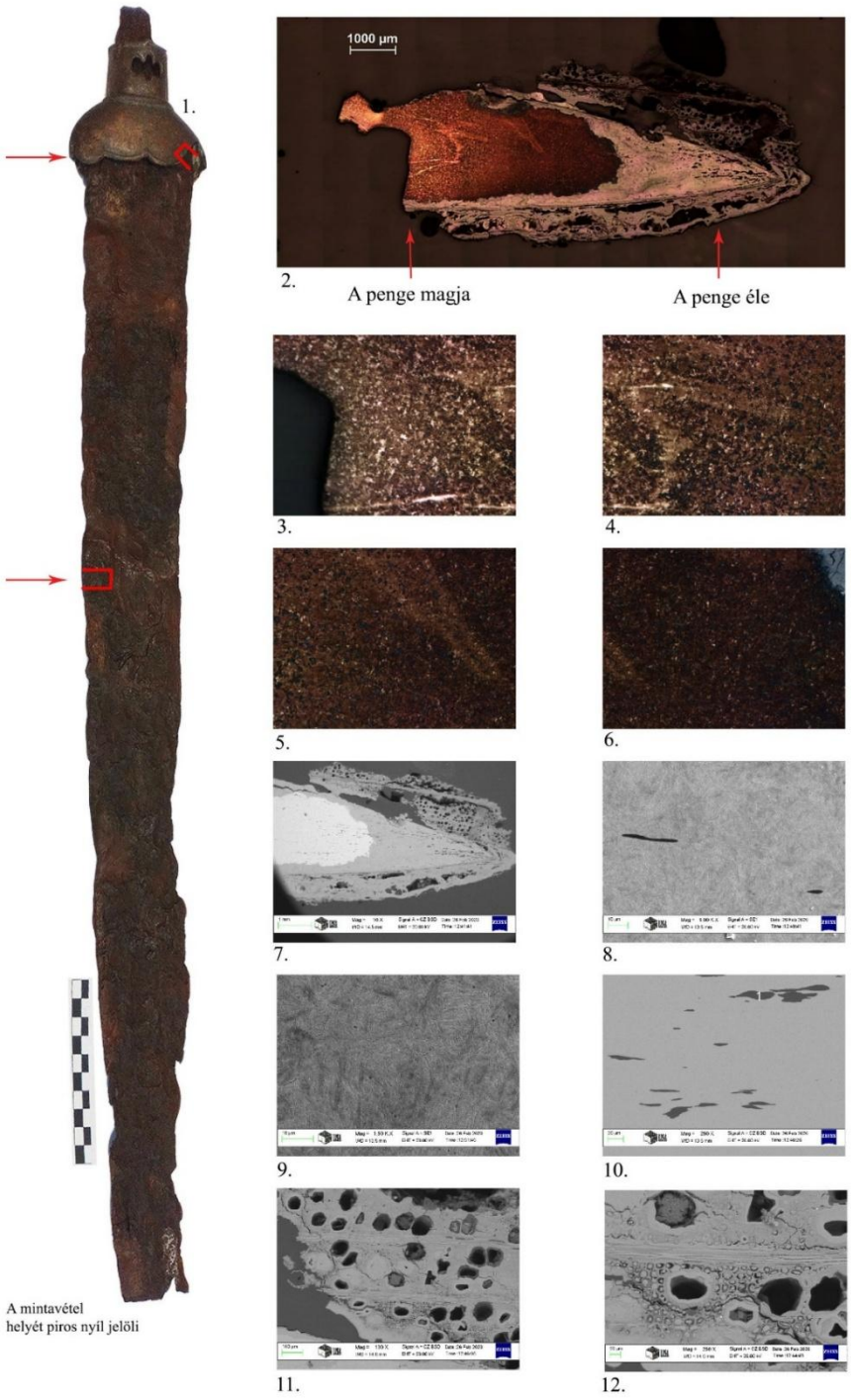
13.



14.

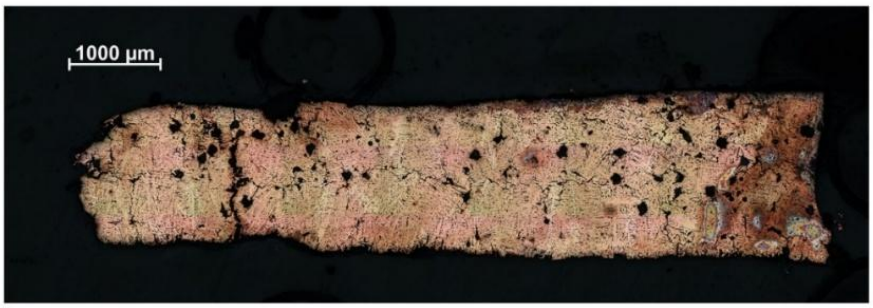

15.

VIII. B tábla: 1-6. kép: A kard keresztvasából kimetszett minta OM- (1-4.) és SEM-felvételei (5-6.). 7-12. kép: A kard markolattüskéjéből kimetszett minta OM- (7-10.) és SEM- felvételei (11-12.). 13-15. kép: A kard hegyéből kimetszett minta OM- (13-14.) és SEM-felvételei (15.).

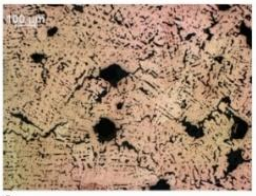


IX. A tábla: Kunágota bizánci eredetű kard/ Boldog Antal földje 1. sír (őrzési hely: Móra Ferenc Múzeum, Szeged/ ltsz.: 53.170.1.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helyei pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A mintáról készült nagyobb nagyítású OM-felvételek, amelyek a penge magjától az él felé eső területekig mutatják a minta szövetszerkezetét (3→6.). 7-9. kép: A mintáról készült SEM-felvételek. A 9. képen megjelenik az él közelében található bainites-martenzites szövet. 10. kép: A mintában talált egyik zárvány SEM-felvétele. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza. 11-12. kép: A kard egykori fa tokjáról készült SEM-felvételek.

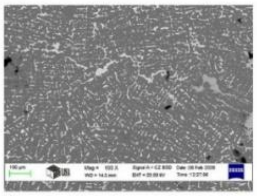
A kard markolatszerelékéből vett minta OM- és SEM felvételei:



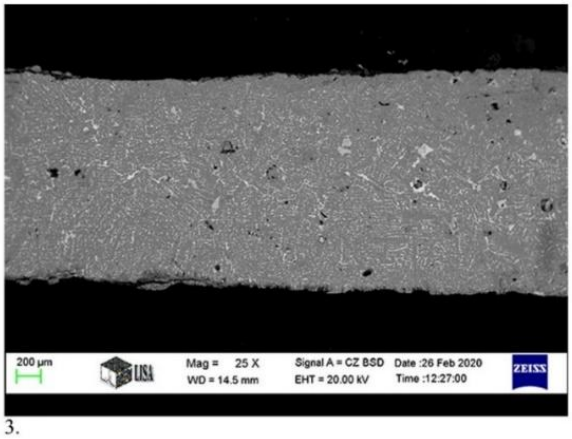
1.



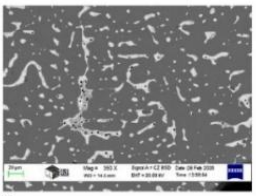
2.



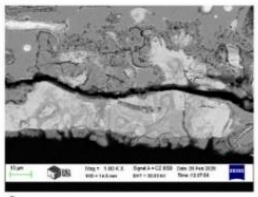
4.



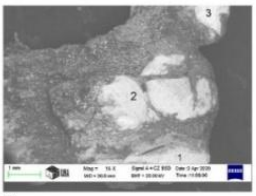
3.



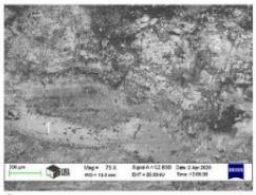
5.



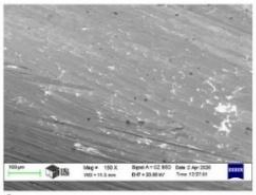
6.



7.

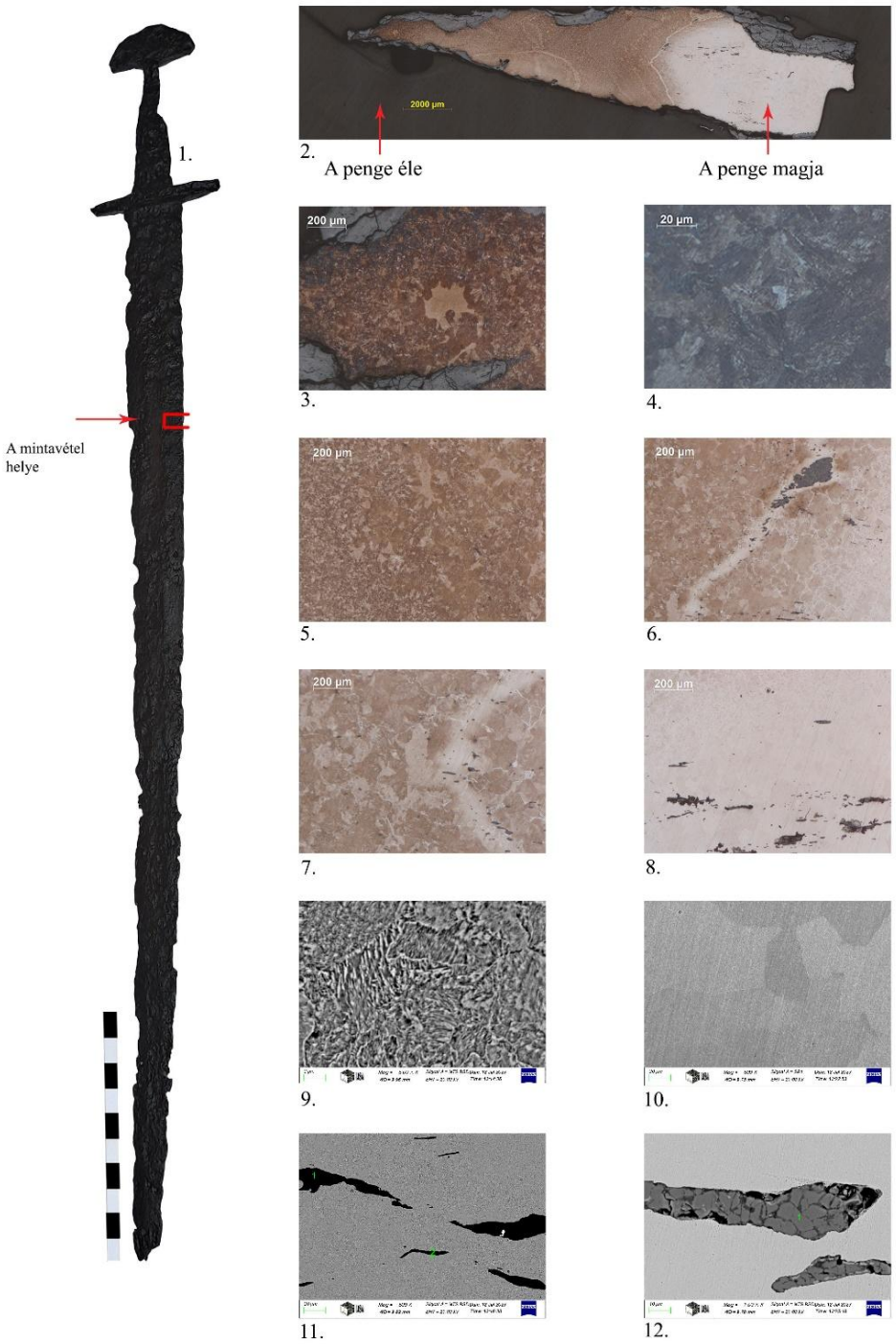


8.

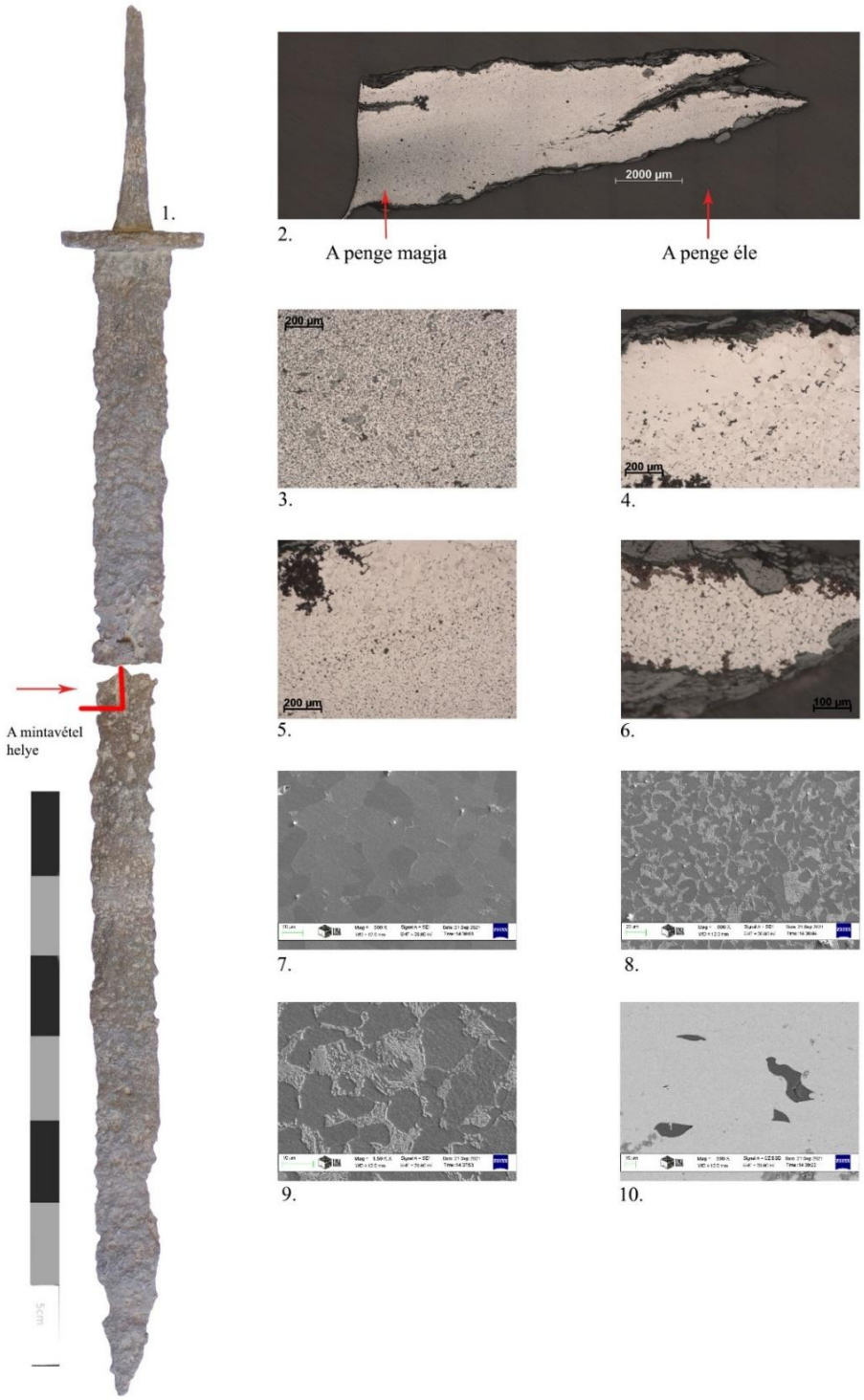


9.

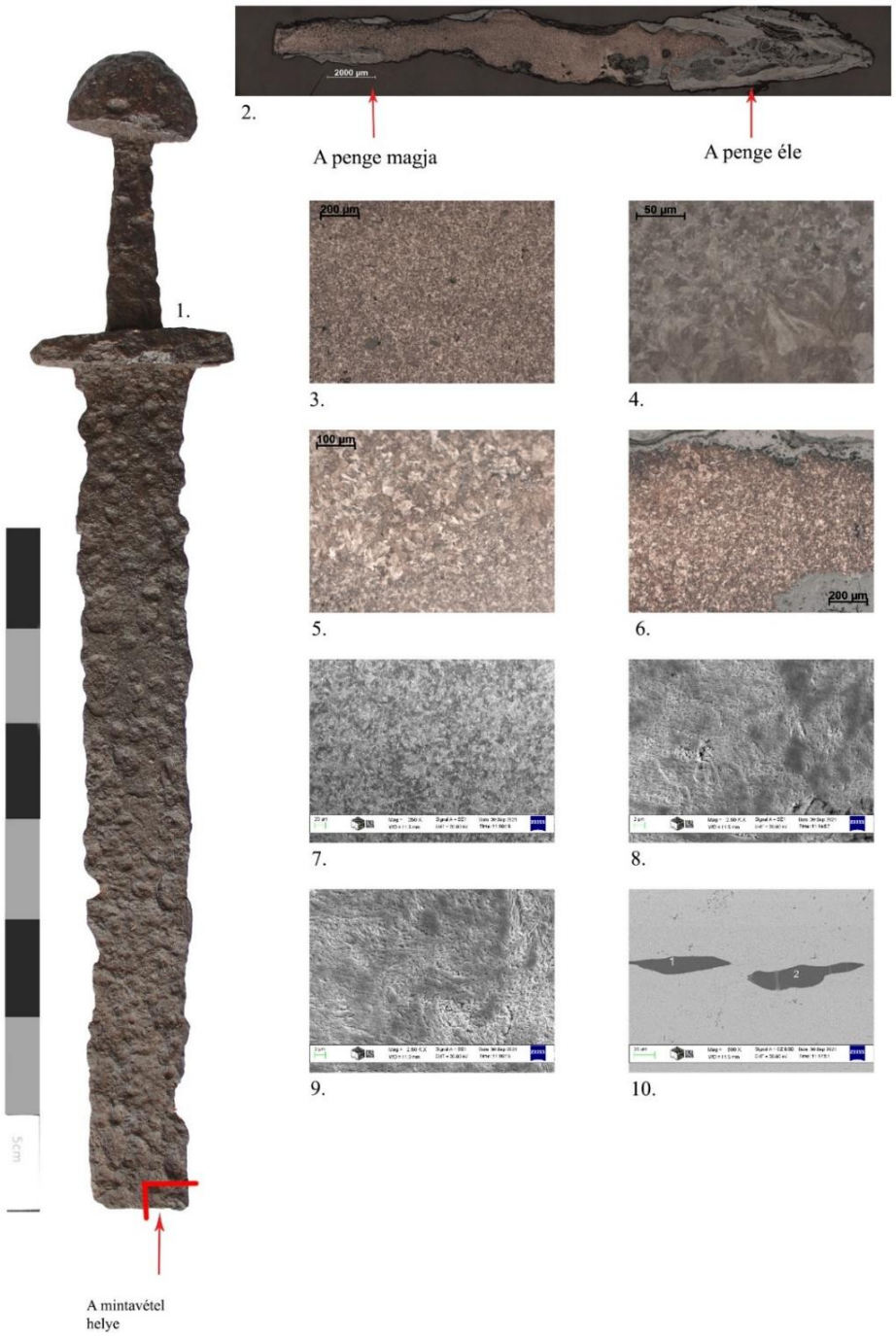
IX. B tábla: 1-2. kép: A markolatszerelékből vett minta OM-felvételei, ahol a markolatszerelék öntött szövettét lehet látni. 4-5. kép: A markolatszerelékről készült SEM-felvételeken a minta dendrites szerkezetét lehet látni. 6. kép: minta szélén képződött ólom-oxidban dús réteg SEM-felvétele. 7. kép: A bronzszerelékről leválasztott heterogén minta kis nagyítású SEM-felvétele. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza. 8. kép: lehetséges pótlásfém és a forraszanyag nagyobb nagyítású SEM-képe. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza. 9. kép: Az alapfém mintavágáskor keletkezett fémtiszta felületének SEM-képe.



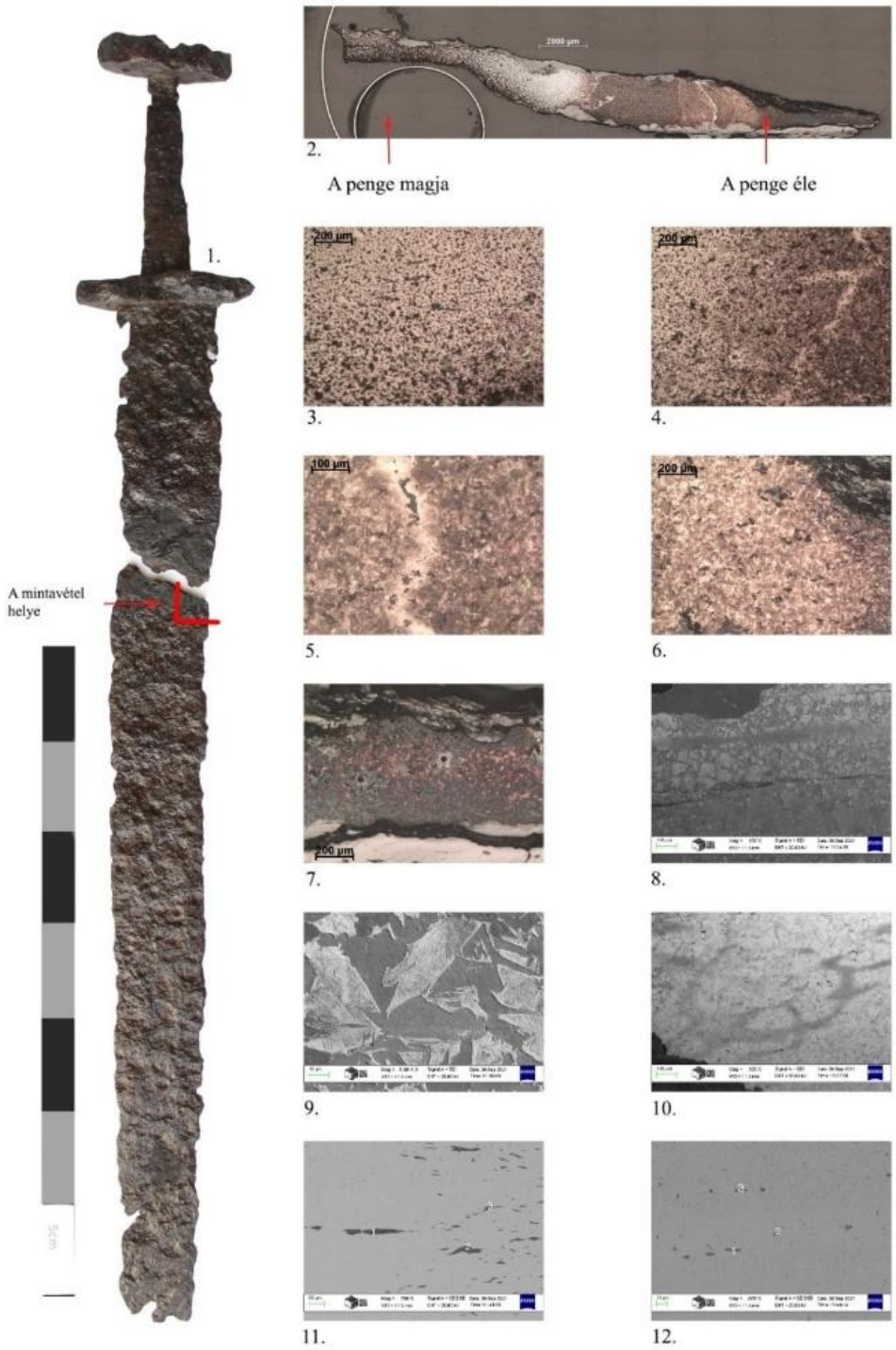
X. tábla: Budapest, Mexikói úti kard (őrzési hely: BTM Aquincumi Múzeum Népvándorlás kori Gyűjtemény; ltsz: M55.157.2): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-8. kép: A mintáról készült nagyobb bagyítású OM-felvételek, amelyek a penge élétől a magjáig (3→8.) mutatja be a minta szövetszerkezetét. Az élénél megfigyelhető a bainites szövet, a magjánál pedig a kis karbontartalmú lágy ferrit a jellemző. 9-10. kép. A minta éléről (9.) és a magjáról (10.) készült SEM-felvételek. 11-12. kép: A minta élében (11.) és magjában (12.) talált zárványok SEM-felvételei. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



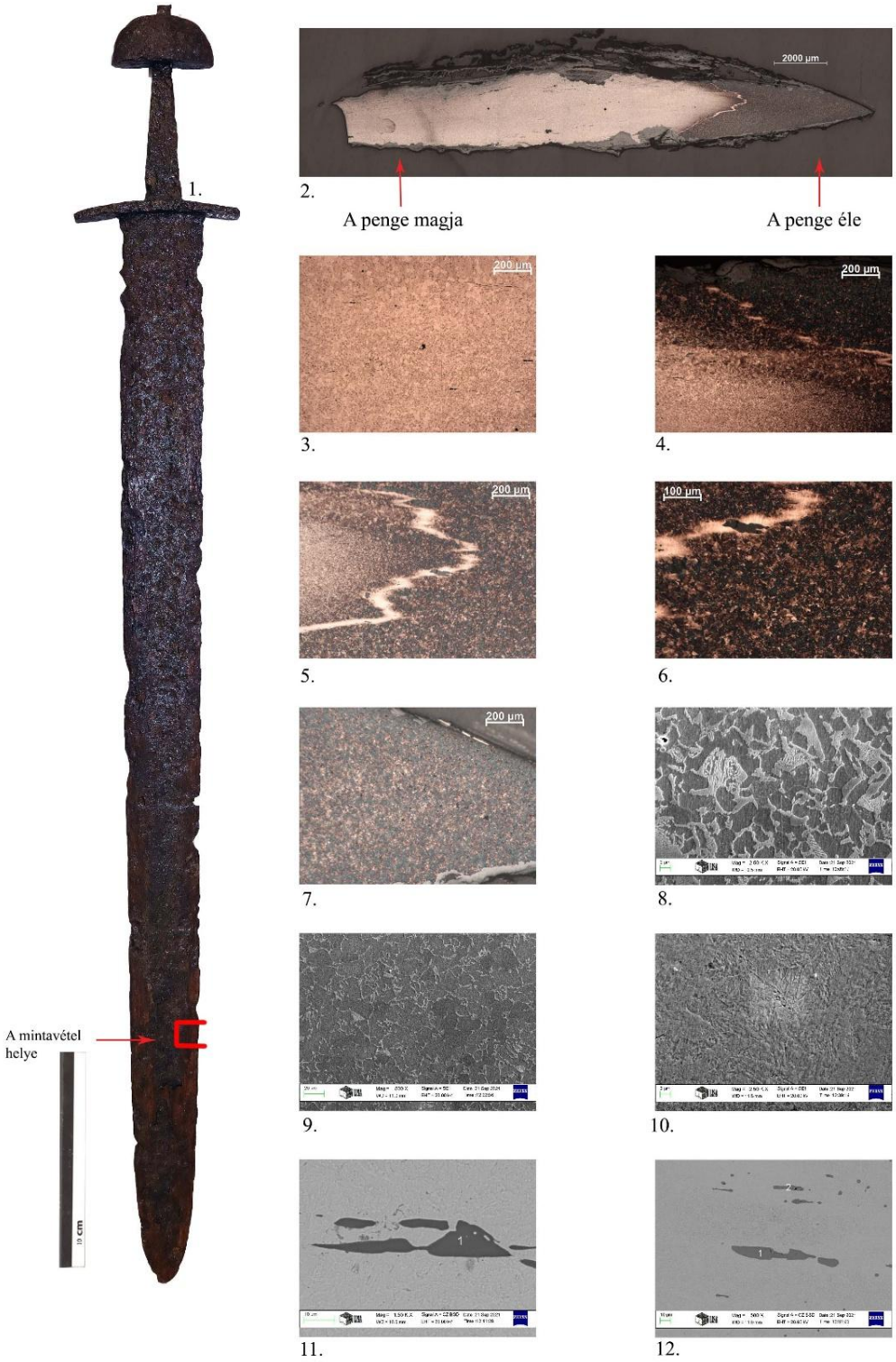
XI. tábla: Nagykálló-Romvár közelében előkerült kard (őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.51.1): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A minta egészén keresztülfutó lágy, ferrites szövetszerkezetről készült OM-felvételek, amelyeken helyenként megjelenik a perlit is. 7-9. kép: A penge mintájáról készeült SEM-felvétel a penge magjától az él irányában haladva. 10. kép: A mintában talált zárvány SEM felvétele. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



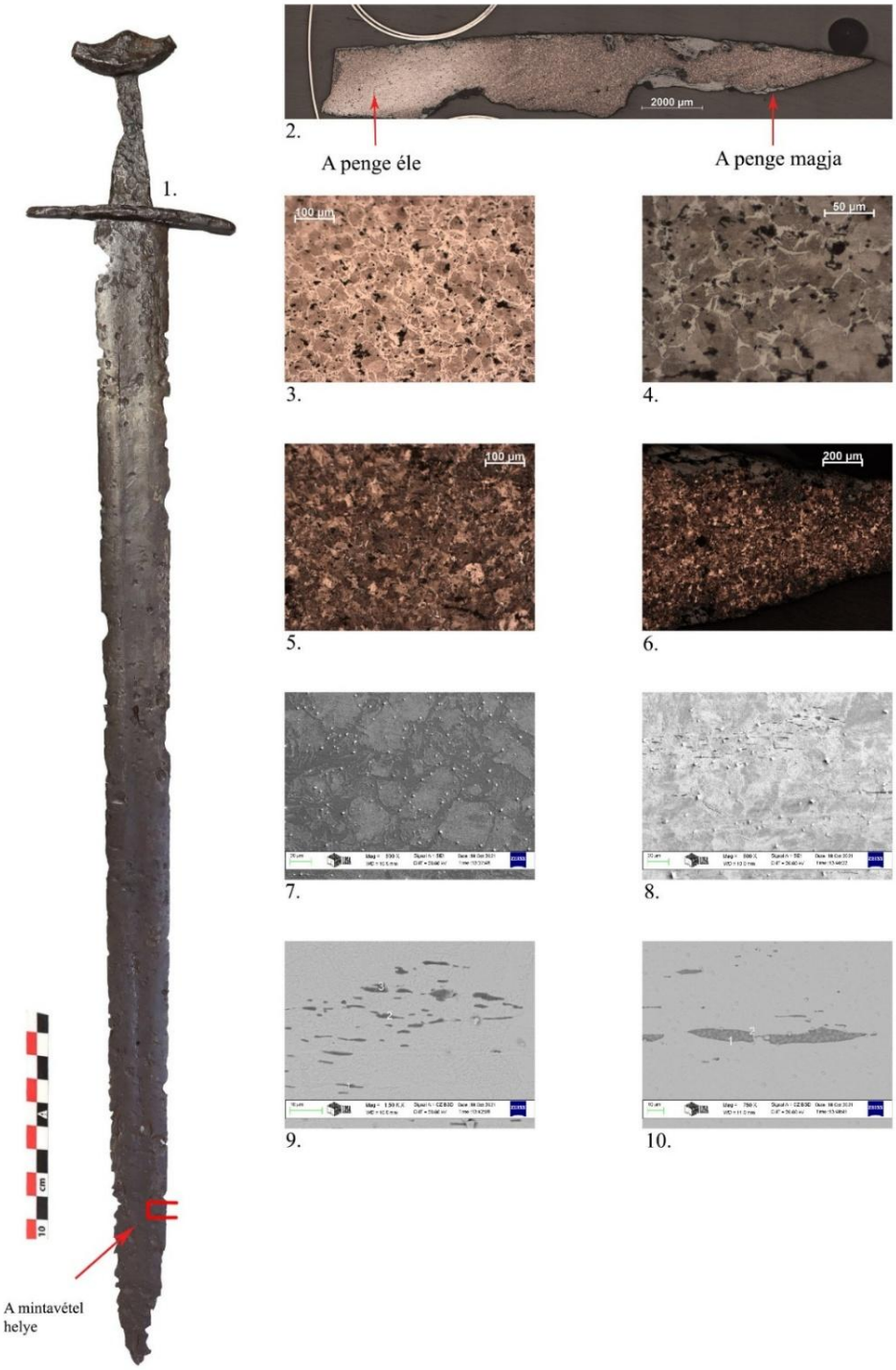
XII. tábla: Nyíregyháza-Felsőpázsitnál előkerült kard (Őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.53.1): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A mintáról készült nagyobb nagyítású OM-felvételek, amelyek a penge magjától az élig mutatják a minta szinte teljesen perlites szövetszerkezetét. 8-9. kép: A minta perlites szerkezetéről készült SEM-felvételek. 10. A mintában talált zárványok SEM-felvétele. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



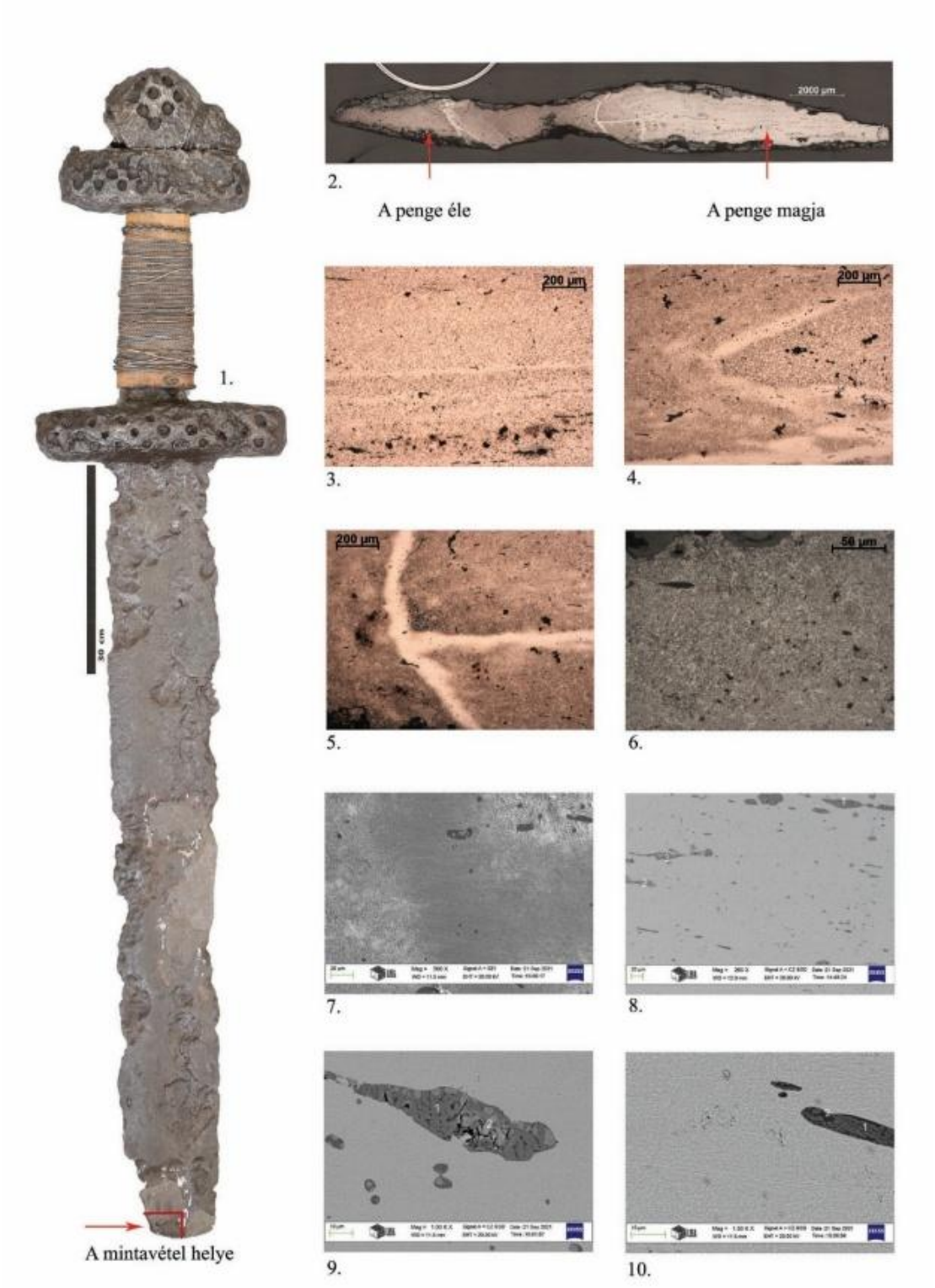
XIII. tábla: Nyíregyháza-Polyákbokor, peres-dűlői kard (Őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.50.1.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-7. kép: A mintáról készült OM-felvételek, melyeken a penge szövetszerkezetét lehet látni a magtól az élig. A felvételeken jól ki lehet venni a lágyabb, ferrites magot és a nagyobb karbontartalmú élt. Az 5. képen pedig jól látható a mag és az él anyaga közé ékelődött zárvány. 8-10. kép: A penge magjáról (8.) és éléről (9-10.) készült SEM-felvételek. 11-12. kép: A pengében talált zárványok SEM-felvételei. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



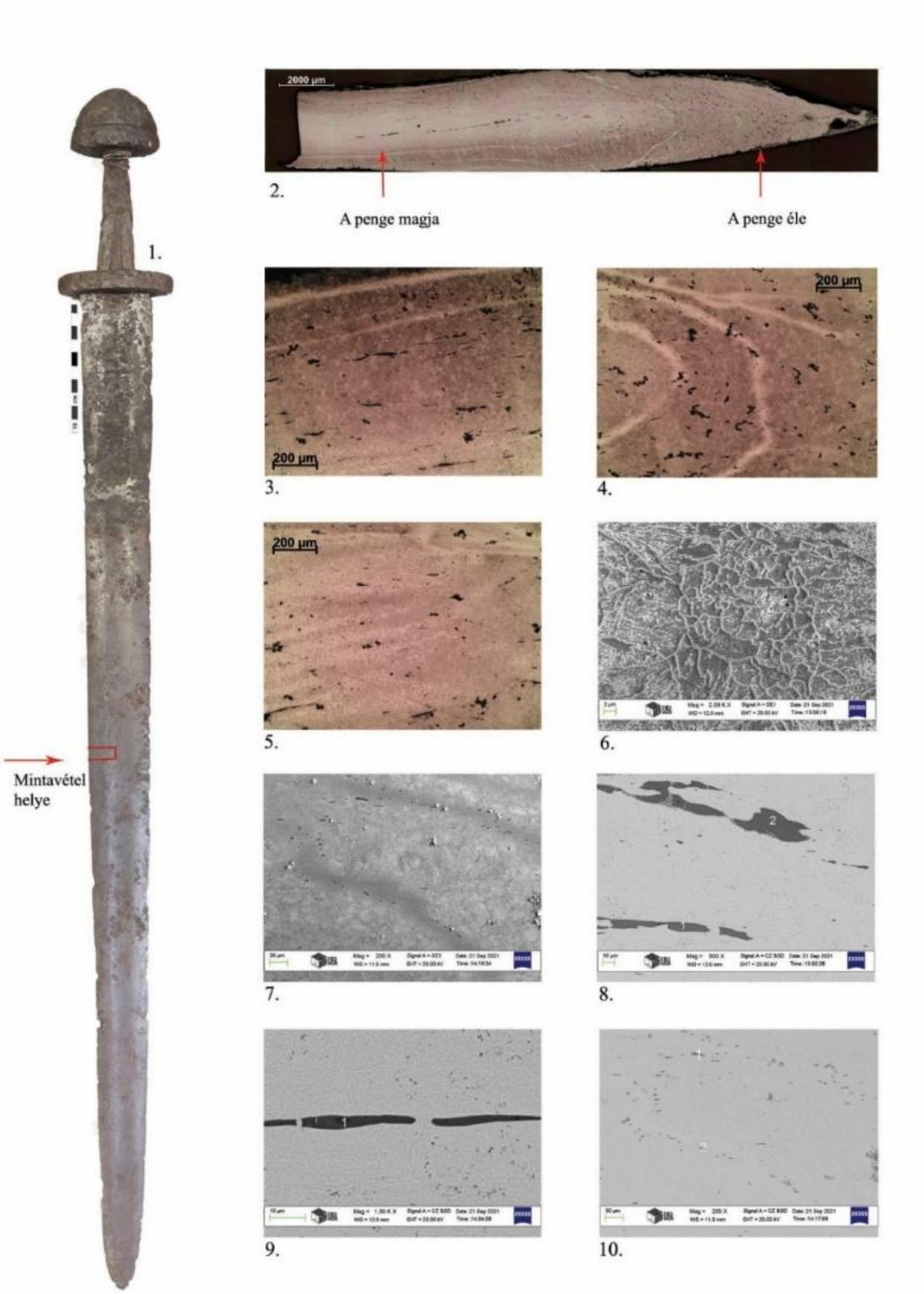
XIV. tábla: Sóstó (Vízművek) 1. sír-ban talált kard (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.: 56.92.1): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A mintáról készült OM-felvételek, melyeken a penge szövetszerkezetét lehet látni a magtól az élig. A felvételeken jól ki lehet venni a penge a magjánál a Widmanstätten-ferritet, illetve és a nagyobb karbontartalmú, perlites élt. 7-8.: A mintáról készült SEM-felvételek. 9-10. A mintában talált salakzárványok. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



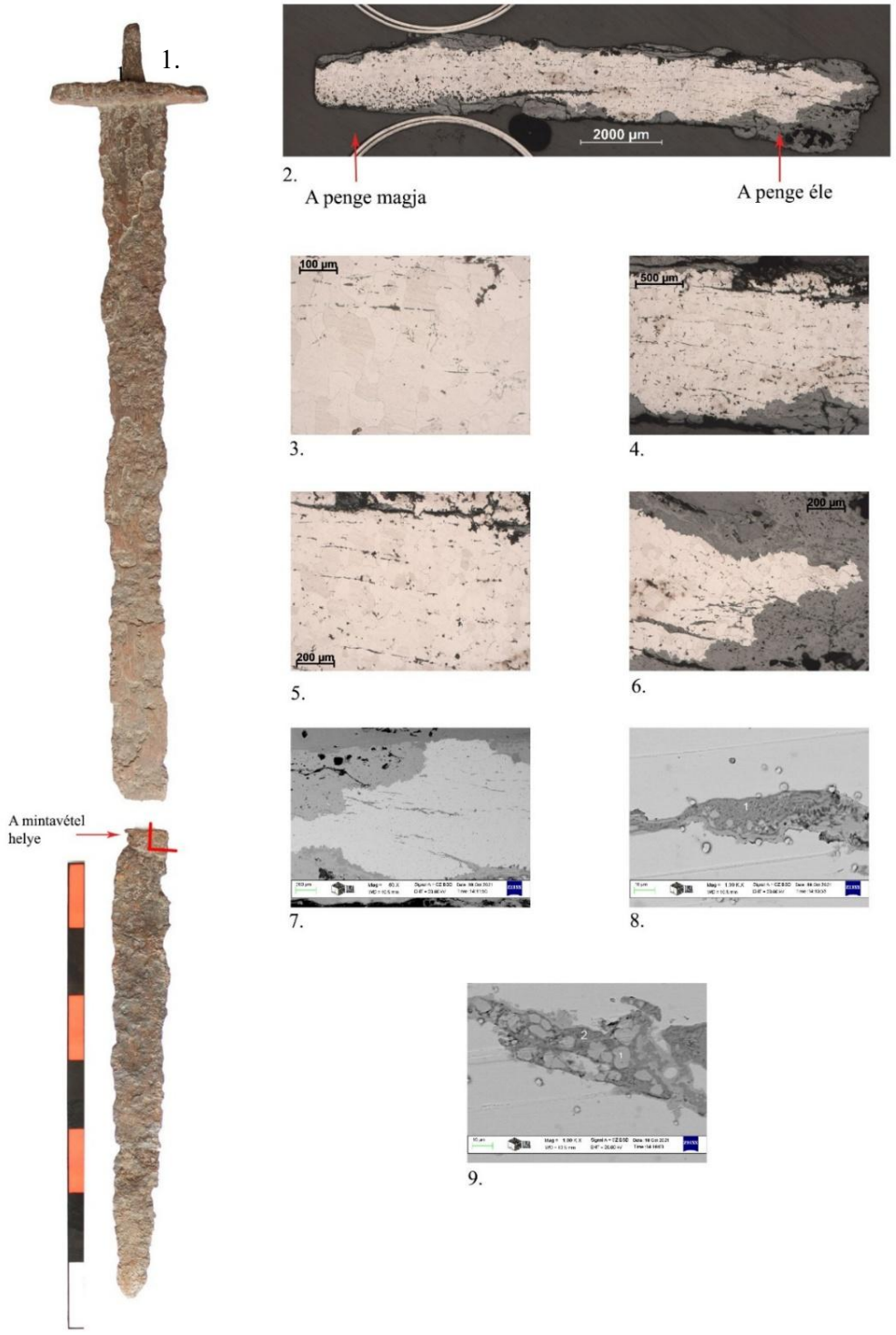
XV. tábla: Székesfehérvár - Sóstó (Vízművek) 1971. évi szórványlelet (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.: 73.4.1): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-7. kép: A mintáról készült OM-felvételek, melyeken a penge szövetszerkezetét lehet látni a magtól az élig. A képeken megjelenik a penge ferrit-perlites magja és perlites éle. 8-10. kép: A penge élének perlites szövetszerkezete. 11-12. kép: A mintában talált zárványok SEM-felvételei. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



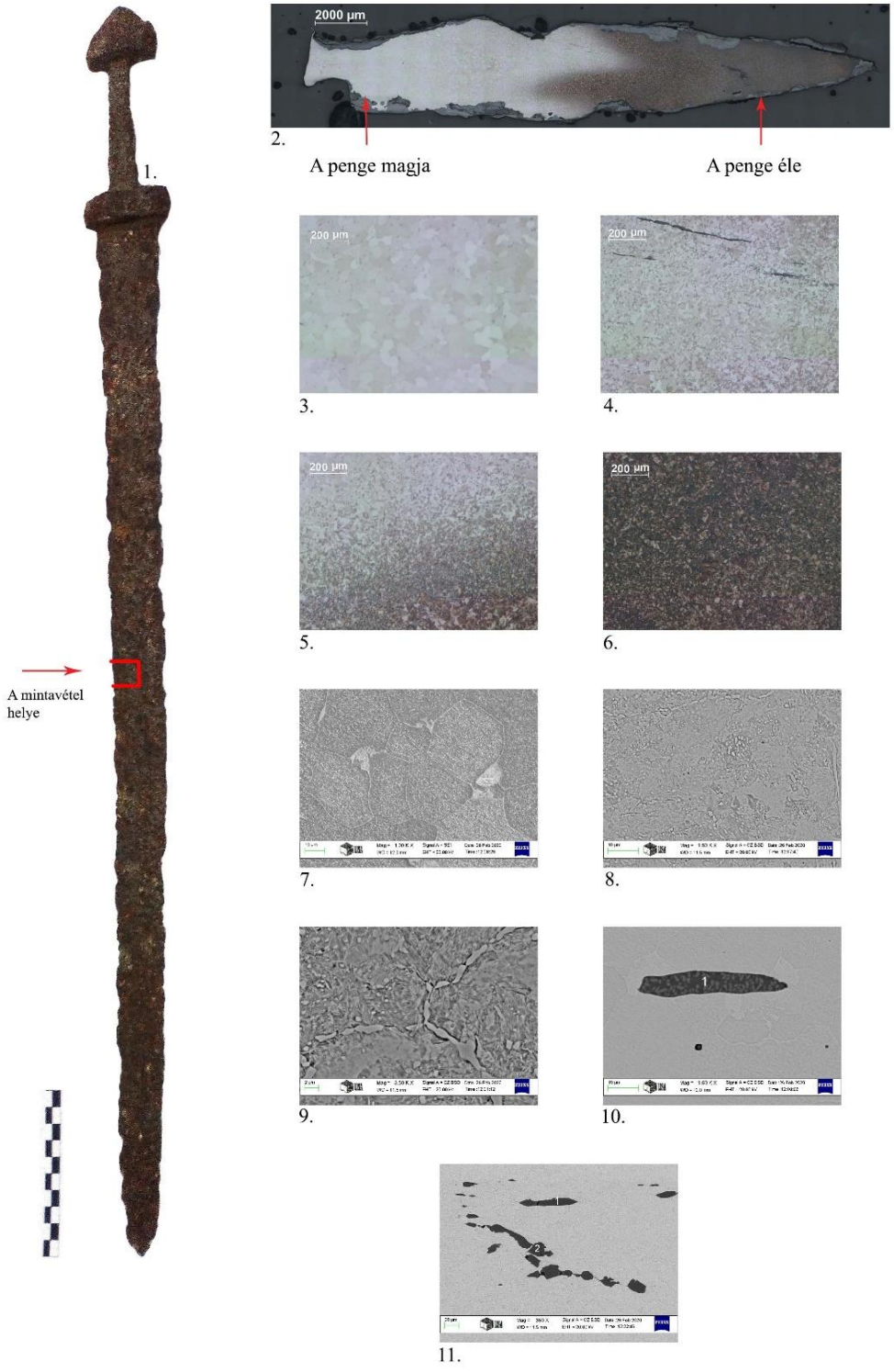
XVI. tábla: Székesfehérvár – Rádiótelep I. A sír kardja (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.: 5859.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A mintáról készült OM-felvételek, melyeken a penge szövetszerkezetét lehet látni a magtól az élig. A penge magja ferrit-perlites szövetből áll, az él felé pedig fokozatosan növekszik a kardbontartalom. 7-8. kép: A mintáról készült SEM-felvételek. 9-10. kép: A mintában talál zárványok SEM-felvételei. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



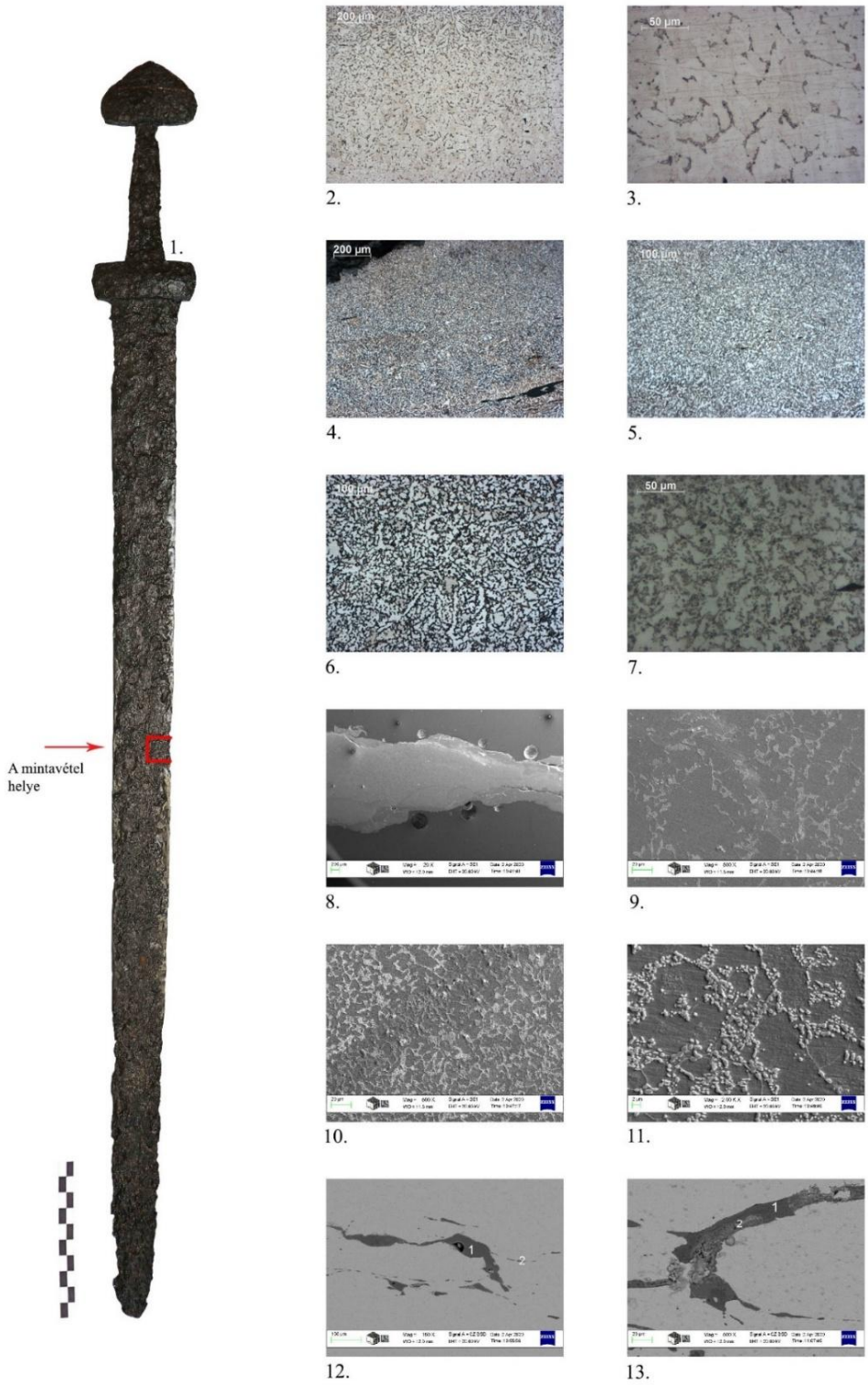
XVII. tábla: Székesfehérvár – Rádiótelep II. (Bikasziget) 36. sír (őrzési hely: Szent István Király Múzeum, Székesfehérvár; ltsz.:5988): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A mintáról készült OM-felvételek, melyeken a penge szövetszerkezetét lehet látni a magtól az élig. A penge magja zömében ferrites, majd az él felé haladva cementithálós szövet jelenik meg. 6. kép: A minta élénél található cementitháló SEM-felvétele. 7. kép: A mintában található hajtogatásra utaló nyomról készült SEM-felvétel. 9-10. A mintában talált zárványok SEM-felvételei. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



XVIII. tábla: Újfehértó-Micskepusztánál előkerült kard (Őrzési hely: Jósa András Múzeum, Nyíregyháza; ltsz.: 66.47.1): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A Mintáról készült OM-felvételek, amelyeken a minta lágy ferrites szövete látható a magtól az élig. 7-9. kép: A mintáról készült SEM-felvételek. A zárványról készült felvételen látható számok az EDS mérés helyét jelölik. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



XIX. tábla: tábla: Veszprém – ismeretlen lelőhelyű kard (őrzési hely: Laczkó Dezső Múzeum, Veszprém; ltsz.: n.a.): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 3-6. kép: A mintáról készült OM-felvételek, melyeken a penge szövetszerkezetét lehet látni a magtól az élig. A penge magjánál szinte csak ferrit található, majd az él felé haladva fokozatosan nő a karbontartalom. 7-9. kép: A mintáról készült SEM felvételek. A 9. kép a penge élénél készült, ahol a perlit mellett megjelenik a cementitháló is. 10-11. kép: A mintában talált zárványok SEM-felvételei. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.



XX. tábla: Vörs-Papkert B temetőjéből előkerült kard (őrzési hely: Rippl-Rónai Múzeum, Kaposvár; ltsz.: 1957.02.01): 1. kép: A kardról készült felvétel, a mintavétel helye pirossal jelölve. 2. kép: A mintáról készült mozaikfelvétel. 2-7. kép: A mintáról készült OM-felvételek, melyeken a penge szövetszerkezetét lehet látni a magtól az élig. A penge magja zömében ferritből áll, de az él felé megjelenik a perlit is, hol lemezes, hol szemcsés formában. 8-11. A mintáról készült SEM-felvételek, ahol tisztán látszik a szemcsés perlit. 12-13. kép: A mintában talált zárványok SEM-felvételei. A számmal jelölt helyen EDS-mérés történt. A mérés eredményeit a 3. melléklet tartalmazza.

Melléklet 3.

A 3. melléklet a mintákban azonosított zárványokon végzett EDS-mérések eredményeit tartalmazza. A táblázatban szereplő hivatkozások a 2. mellékletben közölt táblákon bemutatott mikroszkópos felvételekre utalnak.

	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Ba	Mn	Fe
I. tábla												
I. tábla 9. kép 1 pont	23.23	0.72	2.42	7.90	24.02	0.56	1.39	28.67	6.71			4.37
I. tábla 10. kép 1 pont	16.13		4.63		19.13	0.54	0.45	0.86			1.90	56.36
I. tábla 10. kép 2 pont	22.60	1.75		12.15	29.52		6.55	7.03			0.57	19.84
II. tábla												
II. tábla 9. kép 1 pont	17.81			1.58	19.72	2.53	2.80	7.43			3.19	44.94
II. tábla 9. kép 2 pont	10.52			0.42	0.79	0.59	0.13	0.28			1.48	85.79
II. tábla 9. kép 3 pont	10.62			0.42	0.46	0.54	0.14	0.13			1.50	86.19
II. tábla 10. kép 1 pont	26.50		1.65	4.79	41.54		5.49	14.14			0.71	5.17
II. tábla 10. kép 2 pont	26.03		1.55	4.39	40.58		5.72	15.91			0.63	5.19
II. tábla 11. kép 1 pont	25.89		0.72	2.21	41.95		4.99	16.27			3.46	4.52
II. tábla 11. kép 2 pont	26.14		0.76	2.31	42.54		5.71	14.07			3.79	4.70
II. tábla 11. kép 3 pont	26.43		0.62	2.30	42.97		5.73	13.66			3.76	4.53
III. tábla												
III. tábla 11. kép 1 pont	19.13		0.61	1.81	27.57		2.03	9.62			15.75	23.49
III. tábla 11. kép 2 pont	16.44		0.75	1.57	27.16		1.98	9.46			16.12	26.53
III. tábla 11. kép 3 pont	16.23		0.37	1.78	27.90		2.67	7.14			17.34	26.57
III. tábla 11. kép 4 pont	16.56		0.60	2.16	25.42		1.99	9.84			23.54	19.90
III. tábla 12. kép 1 pont	11.31		0.55	0.38	0.56		0.15	0.42			0.94	85.69
III. tábla 12. kép 2 pont	18.93		0.28	0.05	16.47		0.19	16.39			1.24	46.46
IV. tábla												FeK
IV. tábla 10. kép 1 pont												100.00
IV. tábla 10. kép 2 pont		1.06	0.94	7.87	65.59		4.06	4.86	1.01		2.37	12.24
IV. tábla 10. kép 3 pont		0.85	0.72	8.27	70.23		3.90	2.97	0.89		1.96	10.20
IV. tábla 11. kép 1 pont	12.14			2.51	20.74	1.64	0.89	0.59				61.47
												FeK
IV. tábla 12. kép 1 pont												100.00
IV. tábla 12. kép 2 pont	12.32		0.38	4.44	14.33	3.42	1.42	1.84			2.33	59.52
IV. tábla 12. kép 3 pont	13.58		0.61	6.91	20.35	3.88	1.65	2.19			2.65	48.17
V. tábla												
V. tábla 9. kép 1 pont	21.86	0.52	1.23	5.78	48.05		4.83	9.87			1.44	6.41
V. tábla 9. kép 2 pont	24.26	0.49	1.18	5.78	47.54		4.93	9.69			1.48	4.66
V. tábla 9. kép 4 pont	22.58	0.19	0.79	4.43	46.58		5.01	9.67			1.56	9.18
V. tábla 9. kép 3 pont	21.55	0.51	0.84	4.50	45.69		6.30	9.99			1.72	8.90
V. tábla 10. kép 1 pont	23.95	0.35	0.74	4.16	48.42		6.29	10.19			1.20	4.70
V. tábla 10. kép 2 pont	25.20	0.30	0.93	3.51	47.61		6.60	11.09			1.30	3.46

	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Ba	Mn	Fe	Pb	Sn	Cu
VI. tábla															
VI. tábla 9. kép 1 pont	17.79		1.09	4.58	26.07	0.31	3.00	9.76				37.40			
VI. tábla 9. kép 2 pont	27.57		1.04	6.45	40.48	0.30	4.79	12.91				6.45			
VI. tábla 9. kép 3 pont	28.02		1.05	6.51	41.27	0.16	4.55	13.18				5.26			
VI. tábla 10. kép 1 pont	10.55		0.63	0.57	0.54	0.44	0.11	0.13				87.04			
VI. tábla 11. kép 1 pont	11.08		0.56	0.49	0.60	0.51	0.13	0.18				86.45			
VI. tábla 11. kép 2 pont	20.31		0.24	2.76	21.01	3.13	3.16	11.29				38.12			
VII. tábla															
VII. tábla 9. kép 1 pont	30.13		2.01	6.55	48.40	0.12	2.90	5.43	0.68		1.93	1.87			
VII. tábla 10. kép 1 pont	14.60		1.86	1.50	21.39	0.33	0.86	1.04	0.26		4.08	54.09			
VII. tábla 10. kép 2 pont	20.06		0.46	7.85	31.74	0.82	2.87	6.14	0.66		2.27	27.15			
VII. tábla 10. kép 3 pont	15.82		1.30	2.03	21.19	0.62	1.00	1.72	0.23		3.35	52.73			
VII. tábla 10. kép 4 pont	19.75		0.04	9.17	29.18	0.83	2.82	6.72	0.80		1.81	28.87			
VIII. tábla															
VIII. tábla 11. kép 1 pont	19.16			8.78	59.49		3.10	2.80	0.85		2.39	3.43			
VIII. tábla 12. kép 1 terulet	8.80			0.90	13.95		1.60	2.13			0.57	72.04			
VIII. tábla 13. kép 1 pont	7.79			0.87	4.95		0.00	0.38			0.33	85.68			
VIII. tábla 14. kép 1 terulet	8.83			0.70	5.82		0.16	0.30			0.25	83.94			
VIII. tábla 14. kép 2 pont	8.34			0.45	0.58		0.10	0.16			0.26	90.10			
VIII. tábla 14. kép 3 pont	12.01			0.13	18.45		0.26	0.60			0.48	68.07			
IX. Tábla															
IX. A tábla 10. kép 1 terulet	26.77		1.23	5.28	42.95		5.10	11.14			3.58	3.96			
IX. B tábla 8. kép 1 pont														0.65	99,35
IX. B tábla 8. kép 2 pont														82.05	17.95
IX. B tábla 6. kép 1 terulet	9.34												70.91	4.89	14.87
X. tábla															
X. tábla 11. kép 1 pont	23.35		3.18	6.16	32.24		4.84	25.28			1.18	3.77			
X. tábla 11. kép 2 pont	20.03		1.97	3.11	28.56		2.42	28.54			0.95	14.42			
X. tábla 12. kép 1 pont	16.05		1.63	0.54	18.32		0.35	2.78			4.37	55.96			
XI. tábla															
XI. tábla 10. kép 1 pont	26.42	0.29	2.63	8.69	27.96		4.14	19.03	1.28		5.64	3.91			

	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Ba	Mn	Fe
XII. tábla												
XII. tábla 10. kép 1 pont	11.90		0.99	18.79	38.19		4.60	6.98		10.18	4.21	4.16
XII. tábla 10. kép 2 pont	12.79		1.11	18.63	37.81		4.74	7.19		9.80	3.81	4.12
XIII. tábla												
XIII. tábla 11. kép 1 pont	22.08		1.49	7.67	41.11		3.33	12.03		1.13	6.64	4.53
XIII. tábla 11. kép 2 pont	19.99		3.56	6.79	33.29		1.75	9.91		1.73	19.91	3.08
XIII. tábla 11. kép 3 pont	22.91		2.15	9.21	34.33		2.79	9.07		1.50	14.86	3.17
XIII. tábla 12. kép 1 pont	11.23				16.45	1.09					0.69	70.54
XIII. tábla 12. kép 2 pont	10.55				15.54	1.02		0.54			0.76	71.58
XIII. tábla 12. kép 3 pont	13.82				17.49	0.92	1.02	1.28			1.46	64.03
XIV. tábla												
XIV. tábla 9. kép 1 pont	4.66		0.81	2.06	9.19	0.93	1.38	6.51				74.45
XIV. tábla 9. kép 2 pont	10.43		0.48	3.09	17.41	0.89	2.66	18.57				46.46
XIV. tábla 9. kép 3 pont	15.21		1.79	5.35	25.11	0.77	6.98	19.02			1.01	24.76
XIV. tábla 10. kép 1 pont	16.35		6.98	2.14	21.65	0.46	0.94	4.77			1.97	44.75
XIV. tábla 10. kép 2 pont	19.65		1.44	8.07	26.35	0.83	3.71	14.38	0.74		1.08	23.75
XV. Tábla												
XV. tábla 11. kép 1 pont	22.08		0.77	3.05	43.64		6.51	15.69			2.81	5.44
XV. tábla 12. kép 1 pont	15.13		0.54	1.96	20.31	0.66	1.22	3.20			1.19	55.80
XV. tábla 12. kép 2 pont	14.47		0.57	1.43	18.25	0.85	1.50	3.47			0.83	58.65
XVI. Tábla												
XVI. tábla 8. kép 1 pont	11.53		0.54	1.49	17.67	2.13	0.56	1.06			1.29	63.72
XVI. tábla 8. kép 2 pont	7.87										0.95	91.18
XVI. tábla 8. kép 3 pont	11.07			0.95	17.08	2.72	0.74	1.30			2.73	63.41
XVI. tábla 9. kép 1 pont	12.04			0.63	17.29	1.29	0.33	1.06			0.52	66.84
XVI. tábla 9. kép 2 pont	3.00			0.99	1.65	1.10	0.16	0.27			0.65	92.17
XVI. tábla 10. kép 1 pont	15.95			1.39	23.13	0.45	0.89	2.38			5.03	50.78
XVI. tábla 10. kép 2 pont	18.77			3.50	28.71	0.66	2.01	7.64			3.06	35.64