

PhD értekezés

Bán Attila alezredes

- 2018 -

**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA**

Bán Attila alezredes

**A műszaki-technikai fejlődés hatása
a hazai használatú tüzérségi eszközök
fejlődésére**

Doktori (PhD) értekezés

Témavezető: Prof. Dr. Turcsányi Károly DSc

BUDAPEST, 2018.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	1
A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA	1
KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK	3
KUTATÁSI HIPOTÉZISEK MEGFOGALMAZÁSA	4
KUTATÁSI MÓDSZEREK	4
IRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ	7
I. A TÜZÉRSÉGI ESZKÖZÖK FEJLŐDÉSÉT MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐK	12
I.1. A gazdasági fellendülés hatására létrejött műszaki-technikai fejlődés	17
I.1.1. A gazdaság fellendülése a mezőgazdasági forradalom és a gyarmatok hatására	18
I.1.2. A gyártási módszerek fejlődése az ipari forradalom korában	22
I.1.3. Az ipari fejlődés hatására létrejött mennyiségi növekedés	25
I.1.4. Az ipari fejlődés hatására létrejött minőségi fejlődés	27
I.1.5. Az ipari fejlődéstől elmaradó tüzérségi eszközrendszer	30
I.2. A fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer hatása	32
I.2.1. Mennyiségi növekedés: az elöltöltő hajóágyúk számának változása	33
I.2.2. Minőségi haladás: az elöltöltő hajóágyúk tulajdonságainak fejlődése	35
KÖVETKEZTETÉSEK	36
II. AZ ELÖLTÖLTŐ LÖVEGEK FEJLŐDÉSÉNEK ÁTTEKINTÉSE, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A LÖVEGCSŐ GYÁRTÁSÁRA	39
II.1. Harangok és korai bronzágyúk öntése	40
II.2. Az abroncsos ágyúk	42
II.3. Hosszú bronzágyúk öntése	44
II.4. Öntéstechnológiai problémák a hosszú bronzágyúk gyártása során	49
II.4.1. Az alkalmazott anyagvizsgálati módszerek ismertetése	51
II.4.2. A Hadtörténeti Múzeum műtárgyain végzett vizsgálatok	58
II.4.3. Kísérlet az agyagformába öntött bronz dermedési jellemzőinek meghatározására	69
II.5. Öntöttvas lövegcsövek kifejlesztése	77
II.6. A vasgyártás fellendülése az ipari forradalom időszakában	78
II.7. A szén forradalma	83
II.8. 18. századi fejlesztések a lövegek előállítására	85
KÖVETKEZTETÉSEK	89
III. A HÁTULTÖLTŐ LÖVEGEK FEJLŐDÉSÉNEK ÁTTEKINTÉSE, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A LÖVEGCSŐ GYÁRTÁSÁRA	93
III.1. A korszak acélgyártása	95
III.2. Krupp és versenytársai	99
III.3. Acélbronz ágyúk	107
III.4. Az első világháború indukálta fejlődés – folytacél csövek	109
III.4.1. Kettős falú (frettált) és autofrettált lövegcsövek	110
III.4.2. Az Osztrák-Magyar Monarchia hadiiparának áttérése az acél lövegcsövekre	112
III.5. Lövegcsövek gyártása a második világháború előestéjétől napjainkig	116
III.5.1. Az alkalmazott autofrettáló eljárások	119
KÖVETKEZTETÉSEK	128

IV.	A MAGYAR TŰZÉRSÉG ESZKÖZEI	
	EGYÉB EURÓPAI TŰZÉRSÉGEK TÜKRÉBEN	132
IV.1.	Késő középkor, kora újkor	132
IV.2.	Habsburg és K.u.K. idők: fejlett elöltöltő rendszer	138
IV.3.	Gábor Áron ágyúi	140
IV.4.	A világháborúk	150
IV.4.1.	Első világháború: utolsó bronz csövek, gyors fejlesztések	150
IV.4.2.	A második világháború: fejlesztés a semmiből	154
IV.5.	A második világháborút követő időszak	157
	KÖVETKEZTETÉSEK	160
V.	A MÚZEUMI GYŰJTEMÉNY SZEREPE	
	A TŰZÉRSÉGI ESZKÖZÖK FEJLŐDÉSÉNEK BEMUTATÁSÁBAN	166
V.1.	A gyűjtemények bemutatása	167
V.2.	A gyűjteményi szerkezet összevetése a 2. és 3. fejezetben leírtakkal	167
V.2.1.	A Korai Lőfegyver Gyűjtemény vizsgálata	
	az elöltöltő ágyúk fejlődésének tükrében	168
V.2.2.	A Gépesített Haditechnikai Gyűjtemény vizsgálata	
	a hátultöltő ágyúk fejlődésének tükrében	168
V.3.	A gyűjteményi szerkezet értékelése	170
	KÖVETKEZTETÉSEK	173
	ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK	175
	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	188
	AJÁNLÁSOK	189
	TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM	190
	FELHASZNÁLT IRODALOM	192
	MELLÉKLETEK	197
	FOGALMAK JEGYZÉKE	XI

BEVEZETÉS

A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

A történelem folyamán a tüzérség fejlődésének lehetőségeit alapvetően a lövegek jellemzőinek változása határozta meg. Ezeknek az eszközöknek a fejlődése nem egy magában álló folyamat, hanem az általános tudományos, műszaki és technikai haladás része, mint ahogy a hadviselés is része a társadalom tevékenységeinek. Magától értetődik, hogy a tüzérség eszközparkja, annak műszaki fejlettsége tükrözi az azt létrehozó társadalom műszaki-technikai fejlettségét. Mégis, feltűnnek olyan történelmi példák, amikor ez a látszólagos evidencia nem valósul meg. Az ilyen esetek vizsgálatát nehezíti, hogy nincs olyan összefoglaló mű, amely a kezdetektől napjainkig vizsgálná a tüzérségi eszközök alapvető képességeit meghatározó készítés- később gyártástechnikát és különösen ennek hazai leképeződését.

A képet árnyalja, hogy a hagyományos csöves tüzérség feladatait a történelem folyamán részben átvették egyrészt az első világháborúban elterjedt aknavetőkkal felszerelt alakulatok (ezeket nem mindig sorolták a tüzérség kötelékébe) másrészt a második világháborútól egyre nagyobb szerepet kivívó rakétatüzérség. Az eszközrendszer specializálódott, átalakultak az addigi kategóriák: az első világháborúig a (szárazföldi) lövegeket tábori- erőd- és ostromlövegekre, míg a világháború után egyre inkább tábori- páncéltörő- és légvédelmi lövegekre osztották.

A hagyományos, csöves lövegek a legkorábban megjelent és máig a leggyakoribb, legjellemzőbb típusát alkotják a tüzérség eszközeinek. Az ilyen fegyverek osztályozása, kategóriába sorolása a lövegcső tulajdonságai – méretei, arányai – alapján történik. Ez a központi elem, ami a legkorábbi lövegeken is felismerhető, tehát az ilyen eszközök teljes vizsgált történetének időszaka alatt tanulmányozható.

A tüzérség eszközeinek korszerűsítése a korai időkben egyszerűen a lövegcső tulajdonságainak fejlesztését jelentette. A fejlődő lövegcső adta lehetőségeket aztán egyre nagyobb mértékben voltak képesek a lövegtalp, a löveg kiszolgálására való eszközök és eljárások, majd a lövedékek és a lőpor, végül (napjainkig) ismét a lövegtalp és a löveg kiszolgálására való eszközök és eljárások fejlesztésével kihasználni. Ez azt jelentette, hogy a hasonló lövegcsőveket használó tüzérségek eltérő eredményességgel működhettek, attól függően, hogy mennyire tudták kiaknázni ennek az alapvető elemnek a tulajdonságait.

Nyilvánvaló, hogy – a határterületet jelentő rakétapóthajtású lövedék kivételével – az összes, nem a lövegcső tulajdonságainak javítását célzó fejlesztés arra szolgál, hogy eme legfőbb alkatrésznek a jellemzőit a lehető legteljesebb mértékben ki lehessen aknázni. A hagyományos tüzérség esetében a lövegcső maradt a meghatározó tényező, a fentebb felsorolt egyéb összetevőkkel ennek az alapvető alkatrésznek a működtetését próbálták, próbálják a lehető leghatékonyabbá tenni. Ez azt jelenti, hogy a fejlesztéseket kettéoszthatjuk a lövegcső fejlesztésére, illetve az egyéb, a „lövegcsövet kiszolgáló” fejlesztésekre. A kétfajta innováció közül az előbbit érdemes elsőként vizsgálni, hiszen az adja meg a második típusú fejlesztés határait is.

Lehetetlen egy doktori értekezés keretein belül a magyar tüzérség egész eszközkészletét vizsgálni annak teljes történelme alatt. Találnom kellett tehát egy olyan alkotóelemet, amely a teljes korszakon keresztül létezik, és tulajdonságai jól reflektálnak az eszközrendszer fejlettségére, az abban rejlő potenciálra. A fentiek alapján a lövegcsövet választottam ki, mert ez az alkatrész az első ágyúktól kezdve napjainkig vizsgálható, előállításához fejlett ipar szükséges, és tulajdonságai adják meg azt a határt, ameddig az adott fegyverrendszer fejleszthető.

Az általános műszaki-technikai fejlődés hatásait elemezve mindennél fontosabb a gyártási módszerek vizsgálata: ezek az eljárások, technológiák határozzák meg a lövegcső tulajdonságait. Itt nemcsak arról lehet szó, hogy az adott korban a korszak csúcstechnológiáját használják a cső elkészítésénél: a történelmi példákat vizsgálva látszik, hogy néha meg is haladták azt, fontos technológiai ugrásokat téve lehetővé a békés célú ipar számára. Máskor egyszerűen nem korszerűsítették a gyártást a korszak színvonalára, a tüzérségi eszközök gyors elavulását hozva el ezzel. Visszatérve most a fejezet elején elmondottakra, átlagosnak, normálisnak értékelem azt, ha ezek a módszerek megfelelnek az adott állam műszaki-technológiai fejlettségének. Amennyiben viszont eltérnek attól, azt a normálistól való eltérésnek, rendkívülinek, vizsgálatra érdemesnek tekintem.

A fentiek okán nem vizsgálom a rakétatüzérséget, nem foglalkozom a hátrasiklás nélküli lövegekkel, és – mivel történetük rövid, és gyártástechnológiájuk nem tér el lényegesen a tábori lövegekétől – nem elemzem a légvédelmi és a páncéltörő tüzérség eszközeit és a fedélzeti lövegek nagyobb részét. A tengerészeti lövegek tekintetében kivételt teszek, de csak abban az esetben, ha itt vezettek be olyan újításokat a lövegcső előállítására, amelyek tárgyalása feltétlenül szükséges a vizsgált téma szempontjából.

KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

1. Egy olyan objektív, összehasonlító módszert kívánok kidolgozni és bevezetni, amely elősegíti a műszaki-technikai fejlődés és a fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer hatásának vizsgálatát a tüzérség eszközeinek fejlődésére.
2. Céлом, hogy pótolva a szakirodalomban mutatkozó hiányt, bemutassam a lövegcsövek gyártásának fejlődését a műszaki-technikai fejlődés tükrében, a kezdetektől napjainkig. Meg kívánom találni azt a korabeli forrásokban le nem írt technológiai lépést, ami lehetővé tette a hosszú, már valóban ágyúszerű arányokkal rendelkező előltöltő lövegcsövek öntését.
3. Elemezni kívánok egy, az általános műszaki-technológiai fejlődéstől leszakadó fegyverrendszert illetve lövegcső-gyártási módszert, és szándékozom megtalálni az elmaradás okát.
4. Kutatom és értékelem a fegyvernemmel szemben támasztott követelmények hatására létrejött, az általános ipari fejlettséget megelőző hadiipari technológiákat. Szándékom megtalálni azokat a műszaki megoldásokat, amelyek először a hadiipari termelésben jelentek meg, és nagy hatással voltak a békés célú iparra.
5. Elemzéseket kívánok végezni annak vizsgálatára, hogy a magyar használatban lévő tüzérségi eszközök mennyire tartoztak az élvonalba, azaz mennyiben vonatkoztatható rájuk az iparilag legfejlettebb államok általános műszaki-technikai fejlettsége és a löveggyártásuk (lövegcső-készítésük) műszaki színvonala közt megállapított kapcsolat.
6. Meg kívánom vizsgálni a Hadtörténeti Múzeum gyűjteményeiben található lövegek állományát abból a célból, hogy műszakilag megalapozott és gazdaságilag alátámasztott javaslatot tehessenek a gyűjtemények olyan rendezésére, ami az előzőeknél teljesebben mutatja be a magyar tüzérség által használt eszközöket.

KUTATÁSI HIPOTÉZISEK MEGFOGALMAZÁSA

Kutatási céljaim elérése érdekében az alábbi hipotéziseket fogalmazom meg:

1. Kidolgozható egy olyan vizsgálati módszer, amelynek alkalmazásával egyszerűen, egzakt módon kimutatható egy adott eszköz vagy eszközrendszer fejlettsége az adott kor általános műszaki-technikai fejlettségéhez képest.
2. Az előltöltő bronzágyúk öntése csak az öntőforma torkolati részének a szakirodalomban le nem írt előmelegítésével lehetséges.
3. Az első világháború kezdetének osztrák–magyar lövegei, különösen azok lövegcsövei mind a fegyvergyártás világszínvonalát mind az állam ipari lehetőségeit figyelembe véve elavultak voltak.
4. A lövegcső gyártásához kifejlesztett egyes eljárások meghaladták az adott kor műszaki-technikai színvonalát, és elősegítették a békés célú ipar fejlődését.
5. Az osztrák–magyar tüzérség eszközparkja az első világháború alatt jelentős, jól kimutatható fejlődésen ment át.
6. Egyértelműen meghatározható, hogy milyen eszköz vagy eszközök beszerzésével tehető teljessé a Hadtörténeti Múzeum lövegeket bemutató két gyűjteménye.

KUTATÁSI MÓDSZEREK

Kutatásaim alapját a szakirodalom tanulmányozása adta. A források összegyűjtése érdekében a klasszikus könyvtári és levéltári kutatások mellett nagyban támaszkodtam az elektronikus formában hozzáférhetővé tett könyvekre és publikációkra. Az írott források értékeléséhez, kiegészítéséhez, értelmezéséhez igénybe vettem az egyes részterületek szakértőinek segítségét személyes konzultáció, személyes riport formájában. Tanulmányoztam a múltban vizsgált eljárásokhoz hasonló mai technológiákat. Nagymértékben támaszkodtam a megőrzött, fellelhető löveganyagon végzett

megfigyeléseimre. Szükség esetén anyagvizsgálatokat, kísérletet végeztem a források igazolására vagy kiegészítésére.

Az irodalmi forrásokat a téma szerteágazó volta miatt csoportosítottam. Négy alapvető kategóriát állítottam fel: korabeli források, technikatörténeti művek, hadtörténeti munkák és műszaki szakirodalom. A könnyebb továbblépés érdekében első lépésként az egyes kategóriákon belül vettem össze a műveket. Itt igyekeztem visszanyúlni azokhoz a művekhez, amelyek a legtöbb elsődleges adattal dolgoztak. Ezért a korabeli munkák közül előnyben részesítettem azokat, amelyek a szerző közvetlen tapasztalatait írják le. A technikatörténeti és hadtörténeti munkák közt válogatva azokat kerestem, amelyek a legtöbb elsődleges forrást (levéltári, múzeumi kutatás, kísérlet) idézik. A műszaki szakirodalom kiválasztásánál az elméleti alapok mellett kifejezetten a múltbéli eljárások, technológiák, járatos anyagminőségek mai, modern megfelelőinek leírásait igyekeztem fellelni.

Az ágyúcső készítése, gyártása szempontjából legfontosabbnak a lövegcső-gyártó technológiákat kifejítő korabeli leírások bizonyultak. Jelentős eredménynek tartom, hogy az összes meghatározó lövegcső-gyártó technológia leírását sikerült korabeli forrásokban fellelnem. Az így kapott információkat ellenőriztem, értelmeztem, kiegészítettem a technikatörténeti, hadtörténeti, műszaki szakirodalomban fellelhető adatokkal, elméleti és gyakorlati öntészeti szakemberek tapasztalataival, a mai gyártási módszerek tanulmányozásával, a korabeli lövegek vizsgálatával illetve korábbi kísérleteim eredményeivel és azok továbbgondolásával.

Az adott kor műszaki-technikai fejlettségének meghatározásában leginkább a technikatörténeti művekre támaszkodtam. Az így kapott kép árnyalásához felhasználtam a korabeli művekben, a hadtörténeti munkákban illetve a műszaki szakirodalomban fellelhető adatokat. Ezek kiegészítésére, értelmezésére gazdaságtörténeti, gazdaságföldrajzi és általános történeti munkák tanulmányozása is szükséges volt. A korabeli ágyúcsőgyártó eljárások összevetése az adott korszakról szóló technikatörténeti és egyéb munkákkal olyan „azonnali” eredményekre is vezetett, mint a hadiiparból történő technológiakiáramlás egyes eseteinek (Bessemer-acélgyártás, Wilkinson-féle csőfűrés) felismerése és igazolása.

A szerteágazó források fellelése, értékelése és feldolgozása érdekében segítséget kértem és kaptam az egyes területek tapasztalt szakértőitől. Itt köszönöm meg Dr. Lengyelne Kiss Katalinnak, az Öntödei Múzeum nyugalmazott igazgatójának, Gombos Miklós harangöntő mesternek, Géczy Dezső öntőmesternek, Dr. Domonkos György hadtörténésznek, Dr. Ravasz István alezredes hadtörténésznek, Dr. Gulyás Géza alezredesnek a munkámhoz nyújtott segítségét. Itt mondok köszönetet témavezetőmnek, Turcsányi Károly professzornak,

aki folyamatosan oktatott, segített és inspirált, és rendszert adott munkámnak. Külön köszönöm parancsnokom, Dr. Kovács Vilmos ezredes támogatását.

Kutatásaimhoz felhasználtam a Hadtörténeti Múzeumban őrzött muzeális lövegeket. Az irodalmi forrásokban fellelhető információk értelmezése sok esetben az adott löveget szemrevételezve volt a legegyszerűbb. Ennél többre is volt azonban lehetőségem: jelen dolgozatomban felhasználtam egy korábbi kutatásom eredményeit, az előltöltő bronzágyúkon végzett anyagvizsgálatokat illetve egy öntészettechnológiai kísérletemet. Ezekkel egyrészt a leírásokban szereplő eltérő ötvözet-összetételek közül tudtam a valóságnak megfelelő kiválasztani, másrészt az előltöltő ágyúcső öntésénél az öntészettechnikai leírások alapján nyilvánvaló, de sem a korabeli, sem a későbbi szakirodalomban le nem írt öntészeti, dermedési problémát sikerült tisztáznom. Az akkor elért eredményeket kiterjesztettem, továbbgondoltam jelen dolgozatom érdekében.

Ahhoz, hogy a kutatások alapján nyert információk értékelése áttekinthetőbb legyen, dolgozatomat öt fejezetre tagoltam.

Az első fejezetben a tüzérségi eszközök fejlődését meghatározó tényezőket, a műszaki-technikai fejlődést és a fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszert értelmeztem, illetve bemutattam ezek hatását. Itt különválasztottam a minőségi fejlődést és a mennyiségi növekedést hozó gyártástechnológiai fejlesztéseket. Megkülönböztettem az adaptációt, tehát a már meglévő technológia hadi célra való alkalmazását és az új fejlesztést, azaz gyökeresen új eljárás kidolgozását.

A fenti kategóriák segítségével lehetővé vált egy adott technikai megoldás, technológia adott korra vonatkoztatott korszerűségének meghatározása. Azért, hogy az újítás, fejlesztés általános műszaki-technikai fejlettséghez, műszaki színvonalhoz való viszonyának meghatározását megkönnyítsem vagy lehetővé tegyem, vizsgálmátrixot dolgoztam ki, és ha szükséges volt, elhelyeztem abban az éppen tárgyalt esetet.

A második és a harmadik fejezetben a vizsgált tüzérségi eszközök fejlődését tekintettem át, elsősorban a gyártástechnológiát tanulmányozva, kifejtve. Ebben a fejezetben összefoglaltam az általános ipari fejlődés löveggyártás szempontjából releváns szegmenseit, illetve megadtam a lövegcső-gyártás korokon át alkalmazott technológiáinak leírását. Az öntészet-elmélet eredményeit felhasználva helyesbítettem, kiegészítettem az előltöltő lövegcsövek eddig ismert gyártástechnikáját, és ezt számítással igazoltam. Összevettem az általános műszaki-technikai fejlettséget az alkalmazott lövegcső-gyártó eljárások korszerűségével.

A negyedik fejezetben a magyar tüzérség, illetve a lövegcső-gyártás fejlettségét vizsgáltam. Az előző fejezetekben leírt eredményeket, megállapításokat felhasználva vontam párhuzamot az általános műszaki-technikai fejlődés és a hazai tüzérség eszközeinek fejlődése között.

Az ötödik fejezetben azt vizsgáltam, hogy a Hadtörténeti Múzeum gyűjteményi szerkezete mennyiben tükrözi az előző fejezetekben leírt fejlődési sorokat, mennyiben alkalmas a hazai tüzérség eszközeinek bemutatására. Ennek érdekében besoroltam a gyűjteményi állományt a második és harmadik fejezetekben bemutatott alapvető típusok valamelyikébe, és ezt a besorolást a negyedik fejezetben leírtak alapján értékeltem. Így fény derült a hiányokra és a többletekre, amelyek a gyűjtemények révén megjelenített és a hazai tüzérség által használt (hagyományos) tüzérségi eszközök sora között mutatkozik.

Következtetéseim levonásánál az egymásra épülő fejezetekben kifejtett, alátámasztott, igazolt eredményekre támaszkodtam.

IRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ

Az irodalmi összefoglaló és az irodalomjegyzék felvétele során is alkalmaztam a fent leírt eljárásokat és módszereket, ezek eredményeit részletesen a felvezetés helyén mutatom be.

Ahogy azt előzőleg írtam, a szakirodalom tanulmányozása során négy alapvető kategóriát állítottam fel: korabeli források, technikatörténeti művek, hadtörténeti munkák és műszaki szakirodalom. A könnyebb továbblépés érdekében első lépésként az egyes kategóriákon belül vettem össze a műveket, meghatározva a megbízható és számomra releváns információkat átadó adatközlőket.

Korabeli forráson azt a művet értem, ami a vizsgált technológia alkalmazásának ideje alatt, vagy azt még saját személyében megtapasztaló adatközlő által (tehát legfeljebb egy emberöltővel a metódus elhagyása után) született.

Az elöltöltő ágyúk előállításáról először Kritobulosz görög történetírónál olvashatunk, aki a Konstantinápoly 1453-as ostromhoz készített Orbán-féle (ld. később) óriáságyú öntését írta le. Itt a Charles ffoulkes (sic!) „The Gun-Founders in England” című könyvében [1] közreadott szöveget, illetve a Hegedüs Zoltán által a Bányászati és Kohászati lapokban közölt, értelmezett leírást használtam. [2] Az ágyúk gyártástechnológiáját és a korszak kohászatát, öntészetét igen részletesen leírja Vanoccio Biringuccio „Pirotechnia” című, 1540-

ben, Velencében kiadott könyve, amelynek 2005-ös, New York-ban kiadott fordítását vettem alapul. [3] Az itt közölt adatokat jól kiegészítette és világos, részletes ábrákkal megvilágította Anton Faulhaber 1670 és 1702 között Ulmban kiadott „Artillerienkunst” című többkötetes munkája. [4] Az előzőekből vett adatokat megerősítette Michael Mieth „Artilleriae recentior praxis oder neuere Geschütz-Beschreibung” című 1683-ban megjelent műve. [5] A gyártástechnológián kívül a tüzérség eszközrendszerét is részletesen, pontos ábrákkal ismerteti Surirey de Saint Remy „Memoires d’Artillerie” című, Párizsban, 1707-ben megjelent könyve. [6]

Az ágyúöntés reformált módszerét Gaspard Monge „Description de L’art de Fabriquer les Canons” című igen alapos, gazdagon illusztrált, 1794-ben kiadott könyve írja le, amelynek 1804-ben Moszkvában kiadott orosz nyelvű változatát használtam. [7] Mind a hagyományos, mind a Monge által kidolgozott metódus ábrákkal magyarázott leírása megtalálható az Encyclopaedia Britannica 1824-es kiadásában. [8]

Az utolsó előltöltő és a korai hátultöltő lövegek és az azokhoz való vas és acél alapanyag előállításáról rendkívül részletes képet kaptam Alexander L. Holley: „A Treatise on Ordnance and Armour” című, az amerikai kormányzat megrendelésére 1865-ben megjelentetett művéből. [9] Az Osztrák-Magyar Monarchia számára oly fontos acélbronz cső előállítását Dr. Carl Künzel: „Ueber Brunzelegirungen und Ihre Verwendungen für Gesützrohre und Technische Zwecke” című, 1875-ben megjelent műve tartalmazza. [10]

Általában az első világháborús és az azt közvetlenül megelőző időszak tüzérségi anyagának ismertetésében a „Magyar Tüzér” című, 1938-ban kiadott mű volt segítségemre, [11] különösen a Cziegler Gusztáv által írt „A tüzérség technikai fejlődése a világháború alatt” című fejezet, ami a lövegek szerkezeti leírásán kívül a fejlődés háború előtti megtorpanásának elemzését, majd újraindulásának bemutatását is adja.

A korabeli források közé kell a fentiekén kívül sorolni a magukat az ágyúcsöveket, és a korabeli levéltári forrásokat bemutató irodalmat. Jó példa erre A. Essenwein „Quellen zur Geschichte der Feuerwaffen” [12] és Bernhard Rathgen „Das Geschütz im Mittelalter” [13] című könyve, valamint a „The Armouries of the Tower of London” című összefoglaló mű általam használt I. „Ordnance” kötete, [14] amit H. L. Blackmore írt.

A modern lövegcsőgyártás tekintetében fontos korszakos forrásom volt a diósgyőri „új gyár” szerkesztési osztálya által készített összeállítás [15] a járatos csőanyagokról. A korszak legújabb haditechnikai eredményeit ismertette a Magyar Katonai Szemlében a HTI gárdája által írt, Turcsányi Gyula szerkesztette „Műszaki Közlemények” rovat. 1932-ben a Szemle harmadik és negyedik füzetében jelent meg egy-egy kitűnő cikk „Lövegcsövek nyersanyaga,

gyártási módozatai és szerkezeti megoldásai” illetve „Lövegcsövek szerkezeti megoldásai” címmel. [16][17]

A Hadtörténelmi Levéltár állományában két kitűnő 1985-ben készült összeállítás található a Diósgyőri Gépgyár tevékenységéről. Mindkét művet az üzemben dolgozó, vagy oda beosztott szakember jegyzi, a harmincas évektől tárgyalva a gyár működését. [18][19]

A második világháborúban megindult fejlődés folyamányaképp a Machine Design című amerikai folyóiratban jelent meg 1948-ban Henry O. Fuchs professzor: „Trapped Stresses” című cikke, elsősorban a csőgyártás elméleti kérdéseiről. [20] A gyakorlati kérdéseket is alaposan tárgyalja T. E. Davidson, C. S. Barton, A. N. Reiner, D. P. Kendall: „The Autofrettage Principle as Applied to High Strenght Light Weight Gun Tubes” című 1959-es jelentése, amelyben a Watervliet Arsenal-ban végzett autofrettáló kísérletek eredményeit közlik. [21]

A legmodernebb csőkovácsoló eljárásokról illetve azok szocialista blokkba való exportjáról a CIA honlapján találtam egy, titkosítását 1999-ben elvesztett, 1982-es feljegyzést, [22] míg magát az eljárást az általam talált források közül legrészletesebben a 2006-os „DoD Metal Plating Workshop”-on Michael Audino, a Benet Laboratories munkatársa által bemutatott „Gun Barrels” című előadás anyaga ismerteti. [23]

Fontosnak tartom megjegyezni, hogy a fenti források nem adják az áttanulmányozott, adott korszakban írt művek teljességét. Ezek azok az írások, amelyeket a legmegbízhatóbbnak, legteljesebbnek, leginkább jellemzőnek találtam. Ahogy azt fentebb írtam, az adott korban született műveket összehasonlítottam egymással. Itt az adott koron a technológia használatának idejét (és egy emberöltő, ld. a fejezet elején) értem. Így például a 16. századból nem ismerek más leírást a lövegcsövek öntéséről, mint amit Biringuccio 1540-ben közreadott, de összevetve ezt a Kritobulosz által leírtakkal a száz évvel korábban alkalmazott módszerről, nem találni ellentmondást a két mű között. A Surirey de Saint Remy által 1707-ben megjelentetett műben közölt módszer teljesen egybevág Biringuccio leírásával, ahogy az 1824-es Encycloapedia Britannica ágyúöntésről szóló szócikkében a régebbinek nevezett módszer leírása is.

A korszakos források összehasonlítása után minden esetben összevettem az információkat a technikatörténeti, történelmi, műszaki szakirodalomban olvasható adatokkal.

A legfontosabb felhasznált technikatörténeti munkák között voltak olyan összefoglaló jellegűek, amelyek nemcsak az áttekintéshez adtak alapot, de pontos, alapvető adatok megadásával is segítették munkámat. Ilyen volt Ian McNeil „An Encyclopaedia of the History

of Technology” című munkája, [24] vagy Hermann Heinz Wille „A szakócatól a dinamóig” című könyve. [25]

A hasonló művek által felállított vázra aztán az egyes korszakokkal vagy részterületekkel foglalkozó technikatörténeti munkák által lehetett felépíteni a téma ilyen irányú modelljét. Legfontosabb efféle könyvek voltak: Leslie Aitchison „A History of Metals” című nagyszabású munkája a fémek felhasználásának történetéről, [26] Rempert Zoltán rendkívül részletes, alapos könyvei [27][28] a vas-és acélgyártás históriájáról, Charles Ffoulkes már említett könyve az elöltöltő ágyúk korában vezető angol mesterek munkájáról és az ilyen európai ágyúk történetéről. Alapvető, kifejezetten a kutatott témát taglaló összefoglaló munka Heinrich Müller „Deutsche Bronzgeschützrohre 1400 – 1750” című műve [29] és Volker Schmiedchen „Bombarden, Befestigungen, Büchsenmeister” című könyve. [30] Szintén összefoglaló munka J. W. Ryan „Guns, Mortars & Rockets” című könyve [31] a modern lövegek fejlődéséről, felépítéséről.

Természetesen a fenti, legalább részterületeket egybefüggően tárgyaló munkákon és az itt meg nem említett hasonló műveken kívül rengeteg technikatörténeti könyvet, cikket tanulmányoztam, nem is beszélve az ilyen aspektusokat is tartalmazó, más témájú munkákról. Ezek egy kisebb részét a felhasznált irodalom jegyzéke tartalmazza.

A hadtörténelemmel, azon belül is a tüzérség történetével foglalkozó művek alkotják a felhasznált irodalom következő, talán legnagyobb csoportját. Ahogy fentebb utaltam rá, számos, nem kifejezetten technikatörténeti műben találni olyan részleteket, amelyek mégis ebbe a tudományágba tartozó információkat, megállapításokat közölnek, a tüzérséggel foglalkozó irodalom tipikusan ilyen.

Időrendben haladva, számomra a következők voltak legfontosabb művek a tüzérség történetéről: Anton Dollaczek 1887-ben megjelent „Österreichischen Artillerie” című könyve, amely a kezdetektől, korszakok szerint mutatja be az osztrák tüzérséget és amelyben alapos leírása található többek között a különféle lövegeknek, a tüzérség hadiszereinek is. [32] Magyar nyelvű, de nemcsak emiatt jelentős Iványi Béla „A magyar tüzérség fejlődésének vázlata a XV. és a XVI. században” című 1916-os munkája [33] és Horváth Árpád „Az ágyú históriája” című összefoglaló jellegű könyve 1966-ból. [34] Szintén összefoglaló, amellet részletes és a legújabb eredményeket is tartalmazza Jeff Kinard 2007-es „Artillery – an Illustrated History of its Impact” című munkája. [35] Magyar szempontból kifejezetten alapvető mű a Horváth Csaba szerkesztette „A magyar tüzérség 100 éve” című adatokban gazdag könyv 2014-ből. [36] Korábbi eredményeimet jól összegzik a „Haderők és hadviselés

az elöltöltő fegyverek korában” címmel 2015-ben megjelent könyv általam írt részei, melyekből idézek is jelen dolgozatomban. [37]

Mint azt fentebb jeleztem, ebben a témában igen sok könyv, cikk, tanulmány jelent meg, amelyek egy-egy részterületet tárgyalnak, ezek felsorolására itt nem vállalkozom.

A műszaki szakirodalom, mint kategória tulajdonképpen tovább osztható: a kohászati, öntészeti és gépész szakkönyvek mellett fontos szerepe volt a munkámban az anyagvizsgálattal foglalkozó könyveknek. A legfontosabb művek közül az előbbi kategóriába tartozik Verő József – Káldor Mihály „Fémtan” című alapvető munkája, [38] Végvári Ferenc „Fémes szerkezeti anyagok” című rendkívül gyakorlatias tankönyve, [39] Nándori Gyula öntészet-elmélet tárgyában írott könyvei, [40][41] míg az utóbbiba Tisza Miklós „Anyagvizsgálat” [42] és Josef Riderer „Műkincsekről vegyész-szemmel” [43] című munkái tartoznak. Rengeteg olyan műszaki tárgyú cikkel, visszaemlékezéssel dolgoztam, amelyeket részben a korabeli munkáknál sorolok fel, mivel a technikai fejlődés felgyorsulása a jelen korban alkalmazott technológiák tekintetében elavulttá, ám a múlt gyártási módszereinek vizsgálata terén pótolhatatlanná tette ezeket.

I. A TŰZÉRSÉGI ESZKÖZÖK FEJLŐDÉSÉT MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐK

A tüzérség eszközeinek fejlődésére nyilvánvaló hatással van az általános műszaki-technikai fejlettség, tulajdonképpen az a tudományos háttér és gyártási kultúra, ami meghatározza a fegyverek előállításának lehetőségrendszerét. Hatnak továbbá a fegyvernemmel szemben támasztott követelmények, azok az elvárások, amelyek a legtöbb esetben kikényszerítik a rendelkezésre álló műszaki-technikai fejlettség magas szintű alkalmazását.

A történelem folyamán a jobb és jobb fegyverekre való törekvés általában maximálisan kihasználta a tudomány és az ipar nyújtotta lehetőségrendszert, hiszen egy korszerűbb, előremutató, az ellenséges hadseregnek még rendelkezésére nem álló új fegyver alkalmazása csaták, háborúk, és végső soron az államok sorsát dönthette el.

Jó példa erre a Konstantinápoly 1453-as ostrománál használt, Kritobulosz görög történetíró által részletesen leírt ágyú. Az oszmán sereg ezzel az Orbán vagy Urbán nevű magyar renegát által öntött óriás ágyúval tudta a falat megbontani, majd a várost elfoglalni. Eszerint Bizánc bukása – legalább részben – a rendkívüli ágyúnak volt köszönhető.

A történet szerint a mester először a bizánci császárnak ajánlotta fel szolgálatait, aki nem adta meg neki a kért fizetséget, ekkor állt a másik lehetséges munkaadó, II. Mehmed zsoldjába. Ebből az általánosan elfogadott leírásból ítélve azt gondolnánk, csupán pénz kérdése volt, hogy nem a bizánciak, hanem a törökök lőhettek az ágyúszörnnyel. Amint azonban arra Ágoston Gábor rámutatott, [44; 13. o.] a császár sem a megfelelő számú munkást, sem a szükséges nyersanyagokat nem tudta Orbán rendelkezésére bocsátani. Ahhoz, hogy a kor műszaki-technikai fejlettségét ennyire magas szinten kiaknázó eszközt tudjanak készíteni, nem állt rendelkezésére a szükséges ipari háttér.

Ha megvizsgáljuk egy haditechnikai eszköz fejlettségét az általános műszaki-technikai fejlettség tükrében, az alábbi lehetőségeket vázolhatjuk fel:

Az eszköz

- elmarad az általános műszaki-technikai fejlettségtől, tehát nem aknázza ki a kor adott lehetőségeit,
- az általános műszaki-technikai fejlettség szintjén áll, azaz kiaknázza a lehetőségeket;
- megelőzi azt, azaz új (esetleg az általános ipari színvonalra is ható) lehetőségeket teremt.

A fenti kategóriák szerint tehát az oszmán birodalom 1453-ban képes volt az általános műszaki-technikai fejlettség akkori legmagasabb szintjén álló fegyver előállítására, míg Bizánc (nem utolsósorban az oszmánokkal folytatott háború okán) nem.

Ha tovább vizsgáljuk az esetet, látjuk, hogy Orbán első, oszmánok számára készült lövegét a Boszporuszt őrző egyik erődbe telepítették. Csak miután az ágyú elsüllyesztett egy velencei hajót, adta a szultán parancsba egy kétszeres méretű fegyver elkészítését kifejezetten az ostrom megvívására. Az uralkodó egy követelmény alapján – a falat le kell rontani – megfogalmazta azt a paraméterrendszert – legyen hasonló az előzőhöz, de kétszer akkora – amit teljesítve az ágyú győzelemhez segítette.

A fentieket úgy általánosíthatjuk, hogy egy haditechnikai (tüzérségi) eszköz vagy eszközrendszer fejlettségére hat az általános műszaki-technikai fejlettség illetve hat az adott fegyvernemmel szemben támasztott, a termelési kapacitás, valamint a gazdasági erőforrások alapján megvalósítható követelményrendszer.

A két ható tényező azonban nem független egymástól: egy kor műszaki-technikai színvonala alapvetően behatárolja a megfogalmazható követelmények szintjét, ugyanakkor a tartósan magas követelmények „felhúzzhatják” a hadiipar majd az általános ipar színvonalát.

Nem feltétlenül hiba az, ha az adott fegyver fejlettsége elmarad az általános ipari, műszaki, technológiai fejlettségtől, amennyiben a fegyvernem által támasztott követelményeknek megfelel. Ám ebben az esetben fel kell készülni arra, hogy más haderők végrehajthatják a lehetőség szintjén fennálló technológiai ugrást, új kihívást állítva a fejlesztők elé.

Előfordul, hogy a fegyvernem követelményrendszere teljesíthetetlen feladatot ró a fegyvereket előállító üzemekre. Ez azt jelenti, hogy az adott műszaki-technikai szinten rendelkezésre álló bevett eljárásokkal nem képesek megfelelő minőségű vagy mennyiségű eszköz előállítására. Ekkor a fejlett iparral és a megfelelő tudományos háttérrel rendelkező államok képesek lehetnek valamilyen gyökeresen új eljárás, technológia bevezetésére a fegyvernem által támasztott követelmények kielégítése érdekében. Ez a javulás viszont ismét csak nem lehet bármekkora: a kifejezetten hadicélú fejlesztés, a haderő által kikényszerített technológiai ugrás sem független a környezettől, hiszen csak ahhoz képest, abból kiindulva tud előrelépni.

Így azt mondhatjuk, hogy a tüzérség eszközeinek műszaki-technikai fejlettsége a legtöbb esetben megfelel az általános műszaki-technikai fejlettségnek, de a követelmények hatására eltérhet attól. Ez az eltérés azonban általában nem nagyobb egy fejlesztési lépésnél, egy generációnál.

Ennek az az oka, hogy ha a fegyverzet elavult, a szembenálló haderő előbb-utóbb kikényszeríti a generációváltást. Ha viszont egy fejlesztési ugrás hatására valami igazán újszerű és nyilvánvalóan előnyös fegyver vagy fegyverrendszer kerül bevezetésre, akkor azt más államok haderői is átveszik, tehát az lesz a következő generáció. Ebből a szempontból a felgyorsuló műszaki-technikai fejlődés szakaszai a legveszélyesebbek: azt látjuk, hogy például az ipari forradalom korában egy-egy ugrás akkora fejlődést jelenthetett, amely egész fegyvernemeket tett elavulttá. Ilyen volt a tűzérségi gránátok megjelenése, ami véget vetett a jó négy száz éve folyamatosan korszerűsített és addig a követelményeknek mindig megfelelni tudó fából épült hadihajók korának.

Az adott fegyvernemmel szemben állított követelményrendszer és az általános műszaki-technológiai fejlettség tükrében vizsgálva a fegyvernem egyes eszközeit vagy eszközrendszerét, a következő egyszerű táblázatot lehet felállítani a fejlesztés szükségszerűségéről:

1. táblázat: A fejlesztés szükségszerűségének vizsgálata

A vizsgált fegyver vagy fegyverrendszer		A fegyvernemmel szemben támasztott követelményekhez képest		
		rosszabb	megfelelő	jobb
Az általános műszaki-technikai fejlettséghez képest	rosszabb	fejleszteni	felkészülni a fejlesztésre	követelményeket felülvizsgálni
	megfelelő	fejleszteni	-	-
	jobb	követelményeket felülvizsgálni	-	-

(Készítette: Bán Attila. A továbbiakban nem jelölöm külön az általam készített táblázatokat.)

Akár meglévő technológia hadicélú alkalmazásáról, adaptációjáról, akár új fejlesztésről beszélünk, az elért eredmény lehet mennyiségi növekedés, amikor azonos idő alatt és/vagy azonos költséggel több eszköz válik előállíthatóvá, vagy lehet minőségi fejlődés, amivel az előállított eszköz olyan új, előnyös tulajdonságot kap, amellyel elődei nem rendelkeztek. Fontos, hogy itt – nem teljesen egybevágoan a fenntartható fejlődést tárgyaló szakirodalommal [45] – a mennyiségi növekedést minden esetben pozitív eredményként értelmezem.

A mennyiségi növekedés jól megfogható, ám az adott fegyver vagy fegyverrendszer minőségi fejlettségének, alkalmasságának megítélése a múltba visszatekintve, tehát az adott

kor fejlettségéhez viszonyítva sokszor igen nehéz. Nem mindig állnak rendelkezésre olyan összehasonlítható egzakt adatok, mint a lőtávolság vagy a tűzgyorsaság.

A mai, illetve a közelmúltbeli modern haditechnikai eszközök ilyen összehasonlítására van módszer. A Turcsányi Károly által kidolgozott módszertan [46; 98. o.] a haditechnikai eszköz műszaki fejlettsége, az alkalmazott műszaki megoldások korszerűsége alapján értékeli az egyes típusokat.

A régmúlt eszközeinek vizsgálatára nincs ilyen eljárás. Ezért kidolgoztam egy vizsgálómátrixot (Lásd: 2. táblázat) ami lehetővé teszi a múltban alkalmazott eszközök, technológiák összehasonlítását, fejlettségük meghatározását. Ilyen esetekben sokszor éppen a történelmi távlat segít: az egyes műszaki megoldások közül a sikeresek éltek tovább vagy terjedtek el jobban. Így fel lehet állítani egy paraméterrendszert, ami a fejlettebb megoldások meglétét, alkalmazását jutalmazza.

Amikor az adott lövegcső fentebb meghatározott sikerességét vizsgáljuk, egyértelműen megjelenik a fegyvernemmel szemben felállított követelményrendszer hatása. Különösen nyilvánvaló ez a hatás, ha gyökeresen új, addig az ipar területén nem használt technológiát tapasztalunk. Így a megfelelő paraméterek alapján felállított vizsgálómátrix – bár tisztán műszaki jellemzőket vizsgál – közvetetten reflektál majd a fegyvernemmel szemben felállított követelményrendszer hatására is.

2. táblázat: A vizsgálómátrix

		Az elért eredmény	
		Mennyiségi növekedés	Minőségi fejlődés
Az alkalmazott technológia	Adaptáció		
	Új fejlesztés		

Nyilván az a jó, (költséghatékony) ha adaptációval, meglévő technológiák célszerű alkalmazásával érünk el mennyiségi növekedést vagy minőségi fejlődést. Ha felvesszük a korban szokásos és élenjáró módszereket, és csak ezek alkalmazását tapasztaljuk, akkor adaptációról beszélhetünk. Ha azonban valami olyan műszaki megoldást tapasztalunk, ami nincs ezek között, de előnyösen befolyásolja a vizsgált fegyver tulajdonságait vagy növeli az előállítható mennyiséget, akkor új fejlesztésről beszélünk.

Ha a fenti óriáságyút hozzuk például, három paramétert érdemes felvenni: az ágyú anyagát, nagyságát és az előállítás helyének távolságát a felhasználás helyétől. A lövegeket ebben az időben vasból, dongás-gyűrűs szerkezettel kovácsolták, vagy bronzból öntötték. A

bronzöntés nagyobb méretpontosságot biztosított, és a bronz a dongás-gyűrűs szerkezetbe kovácsolt vasnál tovább alkalmazásban maradt, mint csőanyag, ezért ezt kell fejlettebbnek tekintenünk. A korszak ostromait az óriás követő mozsarak, a bombardák vívták. Ezeknél a becsapódási energia kifejezetten a lövedék tömegétől függött, mert a kőlövedék illetve a lövegek arányai miatt a lövedéksebesség nem volt lényegesen növelhető. Ezért azt mondhatjuk, minél nagyobb űrméretű volt a löveg, annál hatásosabb volt. Végül, az eszköz nagy mérete és a fejletlen szállítási módok miatt a csövet a felhasználás helyéhez közel kellett elkészíteni, hogy egyáltalán tüzelőállásba tudják juttatni.

Fentiek szerint vizsgálva az Orbán mester által öntött löveget, ki lehet jelenteni, hogy mindhárom paraméter alapján fejlett volt, hiszen bronzból készült, kifejezetten óriási volt, és a várostól nem messze, egy ideiglenes öntőgödörben öntötték, több, erre az alkalomra rakott kemence olvadékának egybecsapolásával. Ha tehát a vizsgálómátrixban (3. táblázat) megjelenítjük mindhárom paramétert, látszik, hogy – a mi értelmezésünk szerint – korszerű volt a vizsgált löveg.

A minőségi fejlődés és a mennyiségi növekedés megkülönböztetése néha nem könnyű. Ebben az esetben is mondhatnánk, hogy az alkalmazott technológia eredménye mennyiségi növekedés, hiszen az ágyú ugyanolyan, mint elődei, csak nagyobb. Nem szabad azonban arról megfeledkezni, hogy éppen ennek a méretnek az elérése feszítette a korszak öntészeti lehetőségeit, tehát – ha minőségi ugrásra nem lett volna szükség – egyszerűbb lett volna több, kisebb ágyút önteni. Itt nem erről volt szó, olyan eszköz kellett, amely messzebbre és nagyobb lövedéket tud kilőni, tehát az előnyös tulajdonságok jelentős javulása volt szükséges.

3. táblázat: A török óriáságyú vizsgálata

		Az elért eredmény	
		Mennyiségi növekedés	Minőségi fejlődés
Az alkalmazott technológia	Adaptáció	0	+++
	Új fejlesztés	0	0

Az öntés leírásánál (Lásd: II. 3. alfejezet, 44-45. oldal) kitűnik, hogy nem alkalmaztak gyökeresen új technológiát. A bronz mint öntvények anyaga széles körben alkalmazott volt ebben a korban. A szállítási nehézségek miatt gyakori volt, hogy a felhasználás helyének közelében öntöttek pl. nagyméretű szobrokat. Az, hogy több kemence anyagát csapolták egybe, nem jelent gyökeres változást, valószínű, hogy egyéb nagyméretű tárgyak (harang, városkapu) öntésénél is így jártak el. Mégis, ha meggondoljuk azt a szervezőmunkát és

mesterségbeli tudást, ami ehhez az öntéshez kellett, biztosak lehetünk abban, hogy a mester magabiztosan, széleskörű tapasztalatokra támaszkodva, a kor legfejlettebb módszereit adaptálta. A Kritobulosz által leírt ágyú tehát azért lehetett sikeres, mert adaptáció útján elért minőségi fejlődést testesített meg.

Később konkrét példákkal, a vizsgálómátrix szükség szerinti alkalmazásával mutatom be a műszaki-technológiai fejlődés illetve a fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer hatását a tüzérségi eszközök fejlődésére.

I.1. A gazdasági fellendülés hatására létrejött műszaki-technikai fejlődés [37; 49. o.]

Ha megvizsgáljuk a tüzérségi eszközök, azon belül is a lövegcsővek előállításának hétszáz éves történetét, azt találjuk, hogy az ipari forradalom kiteljesedéséig, azaz térségünkben az első világháborúig komoly kihívást jelentett a megfelelő csőanyagok előállítása és a megmunkáló eljárások kiválasztása. Ez azt jelenti, hogy a lövegek fejlődését jóval kevésbé tudták a fegyvernemmel szemben támasztott követelmények meghatározni, az inkább az általános műszaki-technikai haladás eredménye volt.

Ez az első ágyúk megjelenésétől az első világháborúig tartó korszak forradalmi, gyökeres változásokat hozott a mindennapi életben, a termelési viszonyokban és a hadviselésben egyaránt. Ez az az idő, amikor a 15–16. század földrajzi és tudományos felfedezései termékeny talajra leltek az ipari fejlődés és a társadalmi változások egymásra ható, folyamatosan fejlődő környezetében. A mezőgazdaság és az ipar soha nem látott fejlődése zajlott le, ami magával hozta a kereskedelem átrendeződését is. A 16. századra a távolsági – tengeri – kereskedelem a luxuscikkek – tea, fűszerek – szállítójából egyre inkább a mindennapi élethez szükséges cikkek élelmiszerek, majd az ipari alapanyagok szállítójává vált. A 17. századra komoly, nagy volumenű kereskedelem zajlott az alapvető fémek, de a kész fegyverek terén is.

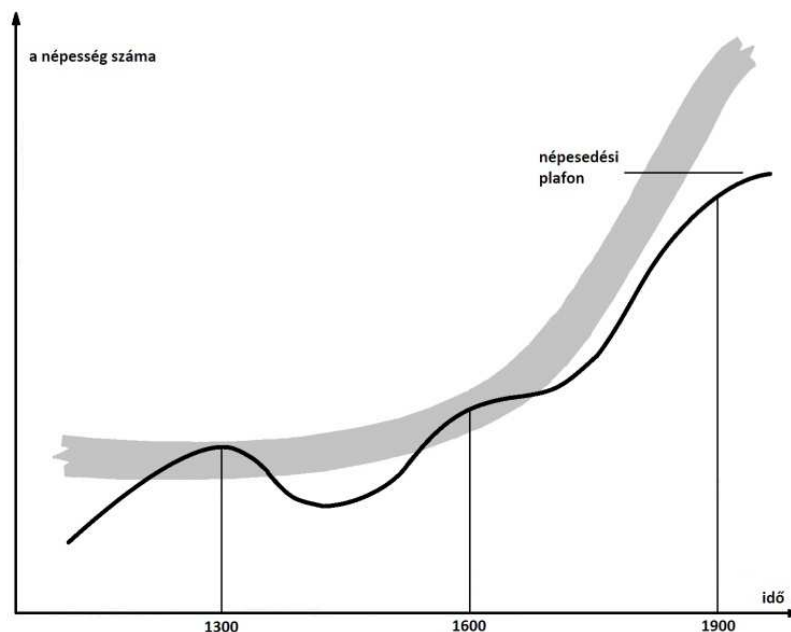
Az új gyártási módszereknek köszönhetően a fegyverek és a hadfelszerelés előállítása mennyiség és minőség terén is óriásit fejlődött. A 17. század közepén még céhes keretek közt készülő fegyverek a 19. század közepére már mai értelemben vett, valódi gyárakban készültek, és alkatrészeik részben felcserélhetőek voltak. A fegyverek és az előállításukhoz szükséges alapanyagok kereskedelme azonban könnyen a gazdasági és politikai nyomásgyakorlás eszközévé válhatott. Ezt felismerve a nagyhatalmak igyekeztek saját, független hadiipart kiépíteni, és annak nyersanyagforrásait minden eszközzel biztosítani. Ez

Európában Nyugatról Keletre haladva egyre nagyobb állami áldozatvállalást jelentett, egyértelműen az adott állam általános ipari fejlettségének függvényében.

I.1.1. A gazdaság fellendülése a mezőgazdasági forradalom és a gyarmatok hatására [37; 49-52. o.]

Európa népessége a 14. század elejére elérte azt a szintet, amely a járatos mezőgazdasági technikákkal még éppen eltartható volt. Az éghajlat hűvösebbé válása („kis jégkorszak”) viszont felborította ezt az addig stabilnak látszó rendszert: óriási területek estek ki a termelésből. Éhínség köszöntött be, majd a legyengült népességet az ázsiai eredetű pestis tizedelte, nagyjából a lakosság harmadát elpusztítva. Az erősen visszaeső lélekszám a 15. századra indult ismét növekedésnek. A 16–17. század fordulójára a populáció nagysága újra elérte azt a veszélyes szintet, ami az élelmiszertermelés lehetőségeinek határát feszegette. Nem alakult ki azonban az előző népességi plafonhoz hasonló veszélyhelyzet: a mezőgazdaság „vette az akadályt”, a 17. század második felében felesleget kezdett termelni, majd a 17–18. század fordulójára beállt egy stabil többlet a termelési lehetőségekben, ami a 18. század végével meredeken növekedni kezdett. Ez számunkra azért fontos, mert mind az állandó hadseregek legénységének biztosításához, mind pedig a gyárak munkáskézzelel való ellátásához az kellett, hogy a fegyverrel szolgáló és az üzemekben dolgozó embereket ki lehessen vonni a mezőgazdasági termelésből.

A vetésforgó Lombardiában [47; 139. o.] kidolgozott módszere kihatott a teljes mezőgazdaságra: alapvető változást hozott az állattenyésztésben is. Az addigi két- vagy háromnyomásos földművelés ugaron hagyott területei legfeljebb legeltetésre voltak alkalmasak: a vetésforgóban azonban a haszonnövények gondosan kiválasztott vetési sorrendje miatt nem kellett ugart hagyni. Lehetett viszont takarmánynövényt termelni, és ez a változás az, ami a legeltető állattartást az istállózó tartási forma felé vitte el. Ennek azért volt nagy jelentősége, mert így az állatok intenzívebb növekedése mellett könnyebbé vált az olyan fontos iparágak fejlődése, mint a tejtermelés és a sajtgyártás.



1. ábra: A mezőgazdaság eltartó képessége és a lélekszám változása Európában.

A szürke sáv az eltartóképesség, a fekete görbe a népesség változása az idő függvényében.

[47; 138. o.]

Ez az az időszak, amikor elkezdik termesztetni az amerikai eredetű haszonnövényeket. Az élelmiszerellátás szempontjából legfontosabb a burgonya és a kukorica, amelyek kevésbé érzékenyek a környezeti feltételekre, és nagyobb termést adnak, mint a termőföldre és az időjárásra érzékeny hagyományos kenyérgabonák.

Mivel az élelmiszer már megvásárolható volt, az olyan kevés termőfölddel rendelkező vidékek, mint Hollandia, a nagyobb haszonnal termelhető ipari növények felé fordultak. Ilyen volt a komló, a repce, a len és a kender, valamint a festékanyagokat szolgáltató növények. A mediterrán térségben is hasonló jelenség játszódott le, azonban ott szőlőt, olajbogyót és más hasonló jó áron eladható „luxustermékeket” kezdtek nagyobb mennyiségben előállítani a kenyérgabonák rovására.

Voltak azonban olyan luxustermékek, amelyeket helyben nem lehetett előállítani. A 15. században megindult távolsági kereskedelem és a gyarmatosítás lehetővé tette a kelet-ázsiai fűszerek vagy a selyem behozatalát. Amikor aztán a két legfőbb gyarmatosító, Spanyolország és Portugália a német helyett¹ már az Újvilág ezüstjével fizetett a Kelet kincseiért, egy olyan világgazdasági rendszer alakult ki, ami európai kézbe adta a kereskedelem kormánykerekeit. A 17. század végére a hollandok már nagyrészt kiszorították a portugálokat Kelet-Ázsiából, a 19. században viszont teljesen átadták a gyeplőt Angliának. A

¹A gyarmatokról behozott ezüst inflációt indukált és tönkretette a német ezüsbányászatot.

17. századra már nem csak luxuscikkek érkeznek a gyarmatokról, de ipari nyersanyagok (pl.: réz, ón) és alapvető élelmiszerek is.

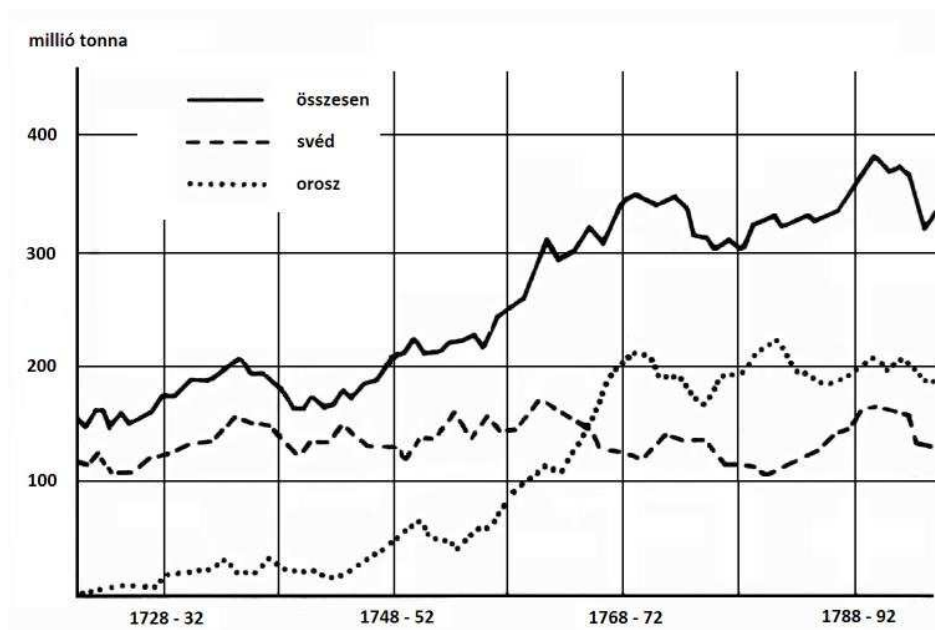
A holland Kelet-Indiai Társaságot két évvel angol megfelelője után, 1602-ben alapították. Nemcsak a távolsági kereskedelmet célozta meg, de átvette és felfejlesztette az ellenőrzött térségek egymás közti, partmenti kereskedését is. Ez szintén óriási hasznot hozott, hiszen például India kétszer annyi fűszert fogyasztott, mint Európa. A holland Kelet-Indiai Társaság rendkívül sikeresen működött a 17. század folyamán, 1691-ben 160, 30-60 ágyúval ellátott hajójuk volt. [47; 91. o.] Jó volt a holland hajógyártás, és a magas fizetség reményében sok tapasztalt külföldi (például francia) tengerész szolgált a hajóikon.

A gyorsan fejlődő és agresszív angol konkurencia (szabályos kis háborúkat vívtak egymás ellen) és a Társaság adminisztratív szervezetének elképesztő túlduzzadása² miatt azonban a holland Kelet-Indiai Társaság a 18. század végét már nem érte meg, 1798-ban megszüntették, és az állam átvette gyarmataikat, de adósságukat is. Anglia nemsokára kiszorította Hollandiát legtöbb gyarmatáról, tudatosan építve saját hatalmas birodalmát. Ezzel olyan gazdasági előnyhöz jutott, amelynek segítségével az első világháborúig vezető hatalom maradhatott.

A gyarmatok elképesztő haszna Hollandiát a 17. században Európa pénzügyi központjává tette. Amszterdam lett a pénzforgalom feje. Az angol hatalomátvétel a gyarmatokon lassan ezt is megváltoztatta. Az új helyzet egy nem várt, közvetett hasznot is hozott Angliának: a pénzüket a gyarmati kereskedelembe befektetni nem tudó holland tőkések olcsó hitelt nyújtottak – éppen a fellendülő angol gazdaság szereplőinek. Az angol ipari forradalmat tehát részben a hollandok pénzelték.

Joggal merül fel a kérdés, hogy a kis Hollandia hogyan válhatott jó két évszázadra a távolsági kereskedelem és a pénzvilág központjává. A válasz a Balti-tengeri kereskedelemben rejlik. A holland kereskedők itt szerezték meg tapasztalataikat, alakították ki eljárásrendjüket és nem utolsósorban komoly hajóflottát tartottak fenn. A Baltikum fontos árucikkait szállították az általuk kiszorított Hanza szövetség utódjaként. Ilyenek voltak a balti gabona, amellyel elsősorban az Ibériai-félszigetet, és a svéd majd az orosz vas, amellyel Angliát látták el. Ezeken kívül számtalan olyan árucikk gazdát cserélt ebben a nagyszabású kereskedelemben, mint a sózott hering vagy a kátrány, amelyek nélkül távolsági hajózás elképzelhetetlen, de olyan, a hadiipar számára fontos áruk is, mint a svéd réz vagy ólom, a német területek által gyártott jó minőségű fegyverek vagy az oroszoknak szállított puska.

²1788-ban több mint 150 000 fő dolgozott a társaság adminisztrációjában.



2. ábra: A svéd és az orosz vas szállítása Angliába [47; 92. o.]

A kereskedelem kulcsa ezen a tengeren a balti gabona szállítása volt a hiányt szenvedő Ibériai-félsziget számára. A hollandok itt tanultak rá arra, hogy elegendő a néhány kulcsfontosságú cikk kereskedelmét uralni – a többi aztán jön magától. A gabonáért Spanyolország és Portugália az Újvilágból származó ezüsttel fizetett, így – bár a hollandok nem tudták lábukat tartósan megvetni Amerikában – a gyarmatok hasznából busásan részesültek. Mintegy mellékesen létrehozták azt a kereskedelmi rendszert, ami nyersanyagokkal látta el a rohamosan iparosodó Angliát.

A 17. századi svéd katonai sikerek pénzügyi háttere nagymértékben volt köszönhető azoknak a királyi kohóknak, amelyek termékeit aztán a holland kereskedők váltották hadianyaggá. A híresen jó minőségű svéd réz és vas keresett árucikk volt. Eközben az óriási nyersanyagkincsekkel rendelkező, de iparilag fejletlen orosz állam hatalmas erőfeszítéseket tett saját iparának – ezen belül is a vasgyártásnak – fellendítésére. A munka gyümölcsei a 18. század elejére már megmutatkoztak, a század közepére pedig értékelhető kivített eredményeztek. Az angol ipari forradalom számára kulcsfontosságú volt a könnyen hozzáférhető, jó minőségű svéd és orosz vas.

I.1.2. A gyártási módszerek fejlődése az ipari forradalom korában [37; 53-55. o.]

A 17–18. század jellegzetes termelési formája a manufaktúra volt. A háziipari rendszer is tovább élt: a legtöbb iparcikk még a 19. század elején is ilyen módszerrel készült. [48; 318. o.] A céhek sem tűntek el, a nagy szaktudást igénylő cikkek – például az ékszerek, de a 17. században még jellemzően a lőfegyverek is! – céhes keretek között készültek. Azt mondhatjuk, hogy a manufaktúra, de a „gyár” is a textilipar felől kezdett beszivárogni a termelésbe, és a folyamatok egyre nagyobb irányú gépesítése, az alkatrészek felcserélhetőségének egyre szélesebb körű alkalmazása tette lehetővé a termelékenyebb módszereknek a bonyolultabb termékek felé való terjedését. Hozzá kell tennünk, hogy a gyár fogalma nem jelentette feltétlenül vízi- vagy gőzerő alkalmazását a termelésben. Azt mondhatjuk, hogy a 18. század első valódi gyárai inkább csak méretükben, és a munkaszervezés magasabb fokában tértek el a manufaktúráktól. Az egyre növekvő üzemeket először folyók mellé helyezték a vízienergia kiaknázására, majd a gőzgépek elterjedésével a szénmedencékre alapuló ipar vált jellemzővé.

Ami gyökeresen változtatta meg a gyár fogalmát a 18. században, az éppen az Angliában feltalált gőzgép volt. Savory és Newcomen gőzgépe még nehézkes, rosszul használható alkotmány volt, mégis, a bányák víztelenítésében komoly szerepet kapott. James Watt továbbfejlesztett gőzgépe azonban már kifejezetten alkalmas volt a forgó mozgásokat kívánó gépek, gépsorok működtetésére is, ezért Angliában az 1770-es évektől a legtöbb új gyárat a gőzgép felhasználására tervezték. [48; 319. o.] Az erdők területe Angliában ekkorra már drasztikusan lecsökkent: a kőszén volt a fűtőanyaga a gőzgépeknek és a belőle előállított koksza a kohóknak, mert a faszén egyre elérhetetlenebbé vált. A gőzgép megjelenésének folyamánya volt, hogy a gyáraknak nem kellett többé folyók mellé települni – de a szénmezők közelsége elsődlegessé vált. Ez az oka annak, hogy egyre inkább a szénmedencékre épült nemcsak a nehéz-, de a könnyűipar is.

Nem lehet elhallgatni Anglia szerepét az ipari forradalom kibontakoztatásában. Túlzás nélkül mondhatjuk, hogy az összes olyan – legtöbbször szabadalommal védett – előremutató műszaki megoldás Angliában született, amit az ipari forradalommal azonosítunk. Ennek okait az előzőekben már részben bemutatam, ezekhez hozzá kell még tenni azt az akkor rendkívül korszerű törvényt, amit 1624-ben vezettek be. [49; 47-48. o.] Ez kimondta a monopóliumok adományozásának tilalmát, de kivette alóla a szabadalom után járó jogot. Ahhoz viszont, hogy ezt megtehesse, körül kellett írni – talán elsőként a világon – hogy mi is az a szabadalom. Ez a szabályozás tette lehetővé, hogy Watt szabadalma egészen 1800-ig védelmet élvezzen,

komoly hátrányba hozva ezzel a kontinentális Európát. Hátrányai is voltak persze, például Savery olyan ügyesen fogalmazta meg – mozgó alkatrészeket nem is tartalmazó – gőszivattyújának szabadalmi leírását, hogy az első működő dugattyús gőzgépeket feltaláló és megépítő Newcomen az ő neve alatt és az ő hasznára kellett hogy dolgozzon.

Európa kontinentális része tehát a műszaki fejlődés terén Angliához képest komoly lemaradásban volt. Általában elmondható, hogy a műszaki újdonságok nyugatról kelet felé terjedtek el, Franciaország és Németalföld (ideértve a későbbi Belgiumot) volt az élenjáró ezek bevezetésében.

A kontinentális Európában az angliaihoz hasonló folyamatok jóval lassabban játszódtak le. Itt tovább volt jellemző a szétszórt háziipar, a kis manufaktúrák rendszere, (Verlag-rendszer) [48; 320. o.] ahol a kereskedő látta el alapanyaggal, olykor szerszámokkal a bedolgozókat, majd a készterméket begyűjtötte. Eltért a brit körülményektől az erdők megléte: az olcsó faszén vagy a gőzgép fűtésére használható jó minőségű keményfa itt még sokáig rendelkezésre állt. A gyáripar megszületése azonban itt is új városrészek, városok születését eredményezte. Nyugat-Európa sikerrel vette fel a versenyt a brit-szigetekkel a könnyűipar terén, ám kifejezetten a vasipar némi lemaradást mutatott. A kontinens uralkodói által nagyra becsült és jól pénzelt tudomány haladó vívmányainak dacára a legtöbb gyakorlatban alkalmazható újítás ezen a téren Angliában született.

Franciaországot belső vámok terhelték, igen magasak voltak az adók, amelyeket részben adóbérlők hajtottak be, a hivatalnoki rendszer a vásárolható pozíciók miatt túlduzzadt volt és kevésbé hatékony. A francia gazdaság termelékenységét Colbert és utódai rendeletek útján, a szolgáltatások és gyártmányok paramétereinek előírásával próbálták növelni. [50; 189. o.] Ez – ha a gazdaságot nem is javította jelentősen – komoly szolgálatot tett az olyan tömeges gyártmányok esetében, mint a fegyverek és hadiszerek. A fenti nehézségek ellenére az ország ipari kapacitása és fejlettsége a kontinentális Európában vezető volt, és a vitathatatlanul világelső francia természettudomány eredményei nagyban hozzájárultak egész Európa fejlődéséhez. Igen sokat lendített az ipar helyzetén a hajózható csatornák nagyszámú létesítése a 17. század elején a nagy folyók összekapcsolására, (1681-ben nyitották meg a Canal du Midi-t, amely a Garonne folyót köti össze a Földközi-tengerrel, megteremtve a kapcsolatot a Földközi-tenger és az Atlanti óceán között) majd a gyors vasútépítés az 1850-es évektől.

Poroszország még a 18. században sem mutatta jeleit annak az ipari nagyhatalomnak, amivé a 19. század végére vált. A központosított állam hatékonyan irányította a gazdaságot, akár a jövedelmek felét a hadseregére fordítva. [50; 182. o.] A koronabirtokok (amelyek közt

nemcsak mezőgazdasági területek, de bányák, vasöntödék is voltak) szép hasznot hoztak. Ennek ellenére a lakosság túlnyomó többségét a mezőgazdaság foglalkoztatta. [50; 183. o.] A porosz állam tudatosan törekedett erőforrásai bővítésére, akár az iparilag fejlett vagy ásványkincsekben bővelkedő területek uralma alá hajtásával és szisztematikus fejlesztésével (Felső-Szilézia) akár az új technológiát, ipari eljárásokat ismerő szakemberek befogadásával (hugenották).

A Habsburg-birodalomba az ipari forradalom jókora késéssel érkezett. A 19. század elején mindössze egy gőzgép működött a Monarchia területén, de 1841-ben már több mint 230, 1854-ben pedig 670. [51] Az élenjáró technológiák átvétele szempontjából kulcsfontosságú volt a Habsburg-fennhatóság alatt álló Dél-Németalföld. Az ipar kialakítása szempontjából rendkívül jó adottságokkal rendelkező (1526-tól osztrák fennhatóság alatt álló) Szilézia a 18. századra Európa egyik vezető ipari központjává vált. Ezért érintette érzékenyen a Birodalmat Szilézia nagy részének elvesztése 1742-ben, majd Dél-Németalföld francia annektálása (1795). Ráadásul az iparilag fejlettebb osztrák, cseh és morva területekkel szemben a Magyar Királysághoz tartozó országokban az iparosodás inkább csak 1867, a kiegyezés után indulhatott meg.³

Oroszországban az egyéni kezdeményezéseknek, vállalkozásoknak határt szabott a középosztály, a polgárság hiánya, és beruházásra váró tőke sem állt rendelkezésre. Visszafogta a termelési kedvet, hogy minden terméket először az államnak kellett felajánlani, és csak akkor lehetett a piacra vinni, ha az nem tartott rá igényt. Így Oroszország iparát többnyire a nemesek működtették, birtokaikon jobbágyaikat dolgoztatva. Nemegyszer el is költöztették ezeket az embereket, hogy az új gyárak munkásai legyenek, az uráli vasmunkások jó része például így került az Urál-vidékre. [48; 325. o.]

Igen fontosak voltak a kikötők, az első időkben talán kiemelten Arhangelszk kikötője, amelyek a 17. század végéig nyersanyagokkal látták el a fejletlen orosz ipart, és fegyverekkel a hadsereget. Nagy szerepük volt a fejlett technológiát képviselő hadianyagokat szállító, de azért busás hasznot elváró, koncessziót vásárló nyugat-európai vállalkozóknak is. Ezek a kereskedők álltak aztán a fejlett technológiákat meghonosító új üzemek alapítása mögött is. A 18. század elejére Oroszország gyakorlatilag önellátóvá vált fegyverekből,⁴ vastermelése pedig annyira felfutott, hogy komolyan fenyegette, majd pár évtized múltán meg is haladta a svédet.

³ Ezeknek a területeknek amúgy is nagy lemaradást kellett behozniuk, maradéktalanul csak az 1718-as pozsareváci békével sikerült kiűzni az oszmánokat a királyságból.

⁴ Arra azonban még hosszú ideig képtelen volt, hogy a háború esetén megnövekedett igényeket is kielégítse!

Amerika éppen a tárgyalt időszakban vált gyarmatból független állammá, fejletlen iparú, az iparcikkek, gyártmányok terén az anyaországtól függő tengerentúli birtokból vezető ipari hatalommá. Míg a függetlenségi háború alatt komolyan rászorult a külföldi fegyverszállításokra (eddig igazából még az acélját is Angliából hozta be) addig a polgárháború időszakára nemcsak hogy komoly fegyvergyártó kapacitást épített ki, de a nagyfokú szabványosításnak, az alkatrészek felcserélhetőségének köszönhetően kiszervezett gyártásfolyamatok segítségével (legalábbis Északon) óriási felfutást is el tudott érni. Az 1830-as években lendületet kapott vasútépítések összekapcsolták a vasérc- és szénmezőket egymással és a kikötőkkel is, a nyersanyagok és a munkaerő szabad áramlása soha nem látott ipari fellendülést hozott létre.

I.1.3. Az ipari fejlődés hatására létrejött mennyiségi növekedés

Az általános ipari háttér és fejlettség fontos abból a szempontból, hogy egy adott fenyegetésre, kihívásra az állam milyen mennyiségben képes előállítani haditechnikai eszközöket, hiszen egy modernebb, jobb technológia adaptálása a hatékonyság növekedését, a költségek csökkentését vonhatja maga után.

Tipikusan ilyen volt a hosszú (modernebb típusú) elöltöltő bronz lövegcsövek előállítása (bővebben ld. a 2. fejezetben). Ha most egy kis szűkítéssel élünk, és csak a tábori tüzérség eszközrendszerét vizsgáljuk, akkor azt mondhatjuk, hogy a bronz mint csőanyag az elöltöltő tábori lövegeknél legalábbis domináns volt. Az elöltöltő tábori tüzérség eszközrendszere meglepően keveset változott az évszázadok során: a kétkerekű lövegtalp és a hozzátartozó lövegmozdony jobbára fából készült, a korok előrehaladtával egyre több vasalással megerősítve. A kiszolgálás eszközei szintén egyszerűek voltak. A gyártás szűk keresztmetszete a lövegcső előállítása volt. A tábori tüzérség által felhasználható lövegek száma tehát a lövegcső előállításának idő- és költségigényétől függött.

A hagyományos módszer szerint agyagból készítették a cső öntőmintáját, hogy a szintén agyagból készülő, majd kiégetett, bonyolult, cső alakú öntőformából legalább feldarabolva (tönkretéve, megsemmisítve) el lehessen majd távolítani. A forma szintén megsemmisült, mert abból, ahogy az öntőmintát, úgy a kész munkadarabot sem lehetett kihúzni, ezért az öntőformát le kellett verni, tördelni a kész öntvényről.

A fentiek okán tehát a termelékenység növekedését és a fajlagos költség csökkenését hozta a homok öntőforma alkalmazása. Itt nemcsak a homok formázóanyag a fontos, hanem a

formázószekrény, azaz a láda vagy edény, amibe a homokot beledöngölik. Ennek segítségével a formát több darabból lehetett elkészíteni, úgy, hogy az összekapcsolt formázószekrényekbe bedöngölt homok üregei együttesen adják ki az ágyú formájú űrt. Így az öntőminta nem semmisült meg, azt teljes bedöngölése után – szétkapcsolván a formaszekrényeket – ki lehetett emelni.

Ennél is hatékonyabb volt a kokillaöntés, ahol nem is volt szükség mintára, mert az ágyút alkotó üreget összeállítása után a fém öntőforma (kokilla) adta ki. Itt nem volt szükség öntőmintára, és az öntőforma is sokszor felhasználható volt, így elmaradhatott a hosszadalmas formázási eljárás. Táblázatos formában összefoglalva:

4. táblázat: A bronzcsövek öntési eljárásainak összehasonlítása

	Agyag öntőforma	Homok öntőforma	Fém öntőforma
Öntőforma	megsemmisült	megsemmisült	továbbhasználható
Öntőminta	megsemmisült	továbbhasználható	szükségtelen
Formázóanyag	nem használható tovább	továbbhasználható	szükségtelen

Itt bemutatom a vizsgálómátrix egy, az eddigiektől eltérő használati módját. Jelen esetben informatívabb, ha nem egy fejlesztési lépcsőt vizsgálunk, vagy mint azt majd a későbbiekben látjuk, konkrét gyártmányokat hasonlítunk össze, hanem egy hosszabb időszak fejlődését jelenítjük meg, tehát „megszámoljuk” a jelentős technológiai újításokat: a homokformába majd a kokillába öntést. Így használva a mátrixot, arra is lehetőség nyílik, hogy megjelenítsük az adott időszak fejlődésének gyorsaságát.

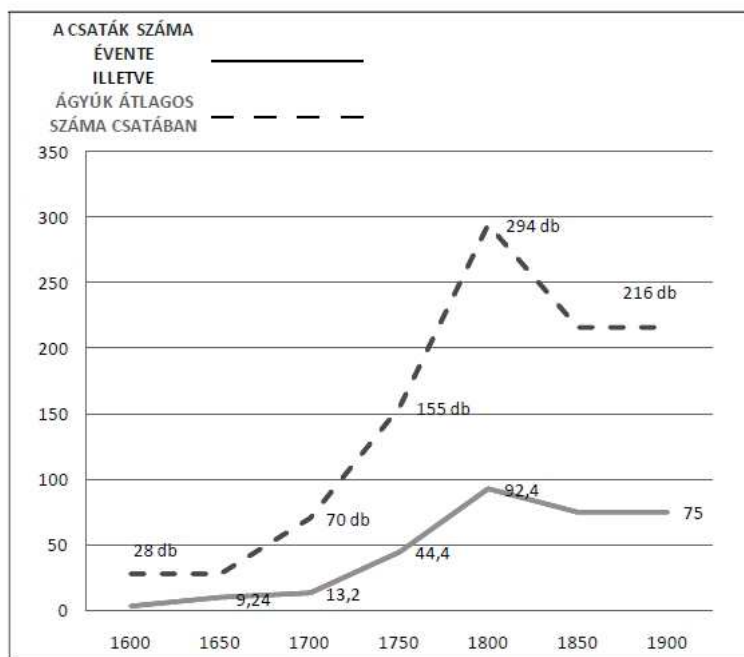
5. táblázat: A bronzcső-öntés fejlődése az 1400-as évek második felétől az 1800-as évek második feléig

		Az elért eredmény	
		Mennyiségi növekedés	Minőségi fejlődés
Az alkalmazott technológia	Adaptáció	++	0
	Új fejlesztés	0	0

Azt látjuk hát, hogy az első kiforrott ágyúöntő technológia megjelenésétől az előltöltő bronzcsövek alkalmazásának végéig eltelt 400 év alatt az általános műszaki-technológiai fejlődést követve két komoly technológiai ugrással, jelentősen nőtt az előltöltő bronz

ágyúcsövek öntésének termelékenysége. Szinte az egész időszak alatt nőtt a felhasznált lövegek száma.

A 3. ábrából látszik, hogy a 18-19. század fordulóján visszaesik a csaták száma és a csatánként felhasznált átlagos lövegszám. Ennek egyrészt politikai oka volt (a napóleoni háborúk befejezése és a Szent Szövetség létrejötte) másrészt viszont haditechnikai: a jóval hatékonyabb hátultöltő, huzagolt csövű ágyúk elterjedése.



3. ábra: Ágyúk átlagos száma csatánként [37; 346. o.]

I.1.4. Az ipari fejlődés hatására létrejött minőségi fejlődés

Az ipari fejlődés időről-időre olyan új anyagokat, technológiákat, műszaki megoldásokat hoz, amelyek alkalmasak a hadiipari felhasználásra is. Az újítások eredményeképp várható a minőség javulása, új képességek megjelenése. Itt az újítás nem gyökeresen új találmányt jelent, hanem a már meglévő technológiák, fejlesztések alkalmazását hadi célokra.

Ilyen eset volt a Kritobulosz által leírt elöltöltő óriáságyú (ld. bővebben az 1. fejezet bevezetőjét) amikor a bevett öntészeti technológiával egy addig nem látott méretű, tehát messzebbre és nehezebb lövedéket hajító ágyút készítettek.

Később, a huzagolt csövű ágyúk elterjedésének határt szabott az ilyen csővel szerelt lövegek nehézkes kezelhetősége. A problémát feloldották hátultöltő lövegek, de ezek elterjedéséhez szükséges volt a megbízható lövegzárak megjelenése. Olyan új anyagok kellettek, amelyek lehetővé tették a lövegzár kialakítását a csőfar kritikus meggyengítése nélkül. Amint ezeknek az ötvözt, nemesíthető acéloknak az előállítását a kor kohászata megfelelő mennyiségben és egyenletes minőségben meg tudta oldani, a hátultöltő, huzagolt lövegek elterjedtté váltak. Nemsokára ezeknek az új acéloknak az egyre megbízhatóbb alkalmazása már lehetővé tette a gyors, egy mozdulattal nyitható – zárható lövegzárak megjelenését.

Részben erre alapult egy fejlesztés, ami alapvetően határozta meg azt, milyen képet látunk magunk előtt ma, ha modern tábori ágyúra gondolunk.

Gusztáv Adolf óta a tábori tüzéség fontos feladatának tekintették, hogy az ne csak tüzével, de manővereivel is kövesse a gyalogságot. Ennek érdekében könnyű, jól mozgatható tábori ágyúkat rendszeresítettek. Az első világháború előestéjén – okulva a kisebb háborúk időszakából – felismerték azt a nyilvánvaló tényt, hogy az egyes löveg nagyobb tűzgyorsasága az adott tűzfeladathoz szükséges lövegek számát csökkentheti. A tűzgyorsaságot leginkább talán az a tény csökkentette, hogy a tábori lövegek tüzeléskor hátragurultak, így az újabb lövés előtt vissza kellett azokat eredeti helyükre gurítani.

A francia 1897 M 75 mm-es „gyorstüzelő” ágyú – az első igazán modern tábori löveg – évtizedekre irányt mutatott az ilyen eszközök fejlesztésében. (Lásd: 4. ábra) Tábori ágyúknál addig nem alkalmazott hatékony csőhátrasikló-fékező berendezése a lövegtalpat helyben tartotta, szükségtelessé tette a löveg lövés utáni helyregurítását. Az új konstrukció addig nem tapasztalt tűzgyorsaságot biztosított. Ennél a fegyvernél ötletesen kombinálták a könnyű acélcsővet, a gyorsan kezelhető Nordenfelt csavarzárat, a csövet fékező és helyretoló berendezést (amit a német Konrad Haussner talált fel és szabadalmaztatott 1881-ben), és még lövegpajzsot is helyeztek az ágyúra. Semmi olyan nem volt tehát az eszközön, ami addig – legalább papíron, találmány szintjén – ne létezett volna. Így együtt azonban valami olyasmi jött létre, ami addig nem volt. *„Ha az első világháború 1914 helyett 1900-ban kezdődött volna, a lövegnél alkalmazott újítások valószínűleg a háború megnyerésének kérdését is eldönthették volna.”* [52; 48. o.] Ezzel a löveggel (elméletben) 25 célzott lövést lehetett percenként leadni, [U.o.] ami nagyjából a duplája volt az addigi lehetőségeknek. Ez volt az oka, hogy a 75 mm-es francia fegyver új kategóriát teremtett, az ilyen lövegeket ezután gyorstüzelő ágyúknak nevezték. A francia 1897 M 75 mm-es ágyú egycsapásra elavulttá tette

az összes korábbi tábori löveget, és saját hasonló típus kifejlesztésére kényszerítette a többi haderőt vagy azok beszállítóit. Táblázatos formában megjelenítve:

6. táblázat: A francia 1897 M 75 mm-es ágyú vizsgálata

		Az elért eredmény	
		Mennyiségi növekedés	Minőségi fejlődés
Az alkalmazott technológia	Adaptáció	0	++++
	Új fejlesztés	0	0

Az acél lövegcső, a gyors lövegzár, a csőfékező-helyretoló berendezés és a lövegpajzs egyidejű alkalmazását jelenítem meg a fenti vizsgálómátrixban.

Az acél lövegcső és a gyorsan kezelhető zár nem volt igazi újdonság, ám ahogy azt később látjuk a Monarchia lövegeinél, alkalmazásuk ebben a korszakban még korántsem volt magától értetődő. A csőhátrasiklást fékező–helyretoló berendezés és a lövegpajzs mint a tábori lövegek részegysége, kifejezetten újdonság volt.

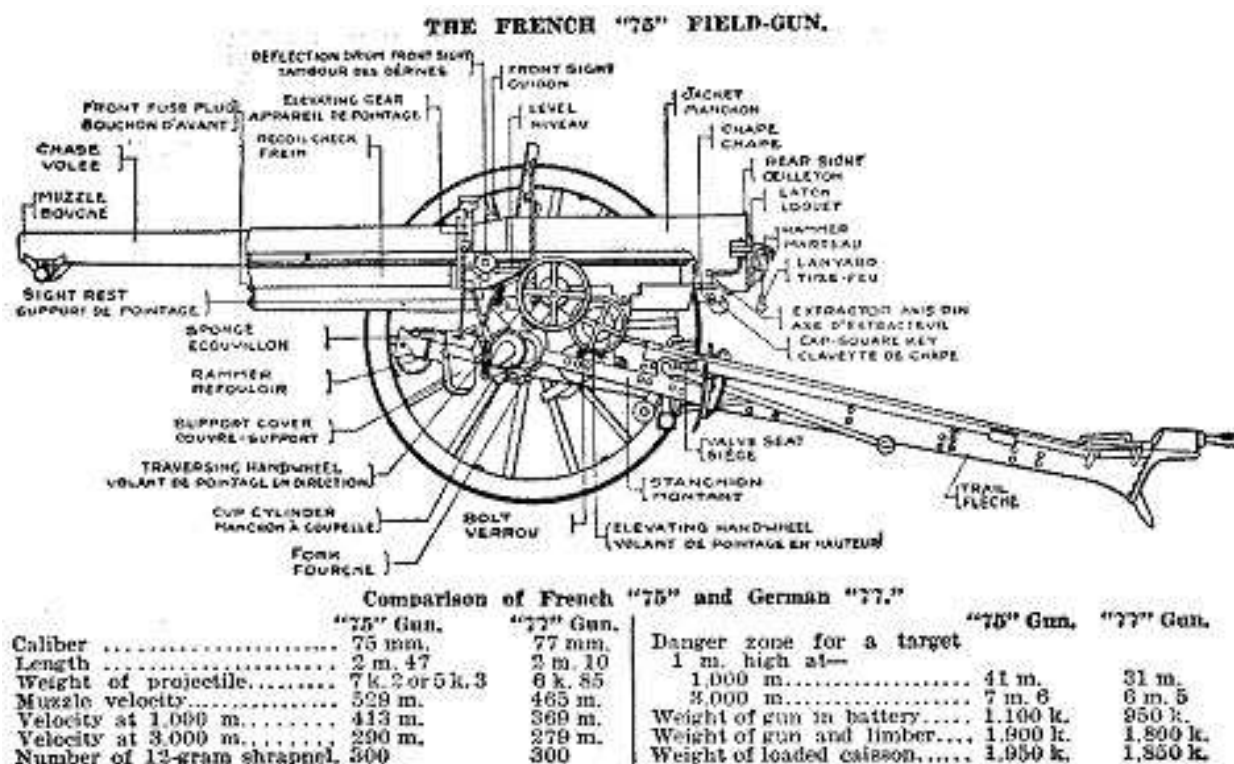
Ha hozzátesszük, hogy ebben az időben a tábori lövegek nagyjából úgy néztek ki, mint napóleon-kori elődeik (a hátultöltést szolgáló zár és a lövegtalp szerkezeti acél anyaga messziről nem látszik) különösen feltűnő a francia löveg modern formája, korát meghaladó felépítése. Azt látjuk, hogy a fejlesztés a meglévő találmányok, már alkalmazott fejlesztések újszerű, együttes használatával új technológiai szintet hozott. Történeti távlatból (azaz a mai nézőpontunkból vizsgálva) egyértelmű, hogy a második világháború végéig a „modern tábori löveg” a fent megnevezett négy fejlesztést magába foglaló tüzérségi eszközt jelentett.

Nem várható el, hogy egy ennyire előremutató fegyver megjelenését a szembenálló haderők fegyverzettechnikai szakértői előre lássák. Elvárható azonban, hogy reagáljanak arra, és előállítsák saját hasonló fegyverüket, vagy ha lehetséges, a már meglévő eszközt módosítsák az új irányelvek szerint.

Jó példa egy ilyen korszerűsítésre a német 1896 M 7,7 cm-es tábori ágyú, amelyet – kifejezetten az egy évvel később bemutatott francia gyorstüzelő ágyú hatására – modernizáltak, és 1896n/A jellel újra rendszeresítettek. A modernizálás keretében a tábori ágyút csőhátrasiklást fékező és helyretoló berendezéssel és lövegpajzzsal szerelték fel, és a csövet is lerövidítették a könnyebb kezelhetőség miatt. A rendkívül sikeres löveg alapvető fegyverré vált, a háború alatt 157 millió lövedéket lőttek ki ilyen ágyúból. [52; 51. o.]

Érdekes összehasonlítani a német löveg korszerűsítés előtti és utáni fejlettségét az új sztenderdnek mondható francia lövegével. A modernizált német löveg a négy, fejlettségét

jelző paramétert tekintve egyenértékűvé vált a példaként szolgáló francia ágyúval. A 4. ábra azt mutatja, hogy ez a technikai egyenértékűség a lövegek teljesítményében, használhatóságában is megjelent.



4. ábra: Francia 1897 M 75 mm-es táborigényező képe és alapvető adatainak összehasonlítása a német 1896n/A 7,7 cm-es táborigényező jellemzőivel egy első világháborús amerikai kiadványban [53; 96. o.]

I.1.5. Az ipari fejlődéstől elmaradó tüzérségi eszközrendszer

Van arra példa azonban, hogy az adott haderő egy-egy fegyverneme nem használja fel a rendelkezésre álló ipari háttér által nyújtott lehetőségeket fegyverzete modernizálására. Amint azt korábban bemutattam, ez nem jelent hátrányt abban az esetben, ha az eszközrendszer így is megfelel a fegyvernemmel szemben támasztott követelményeknek. Amennyiben azonban nem teljesíti a követelményrendszert, az alkalmazó haderő komoly hátrányokat szenved egy esetleges fegyveres konfliktusban.

Az Osztrák-Magyar Monarchia tüzérsége az akkor már legalább egy évtizede tartó fegyverkezési verseny ellenére kifejezetten elavult lövegekkel lépett az első világháborúba.

Ennek illusztrálására álljon itt egy, a francia ágyúnál felvett négy paramétert vizsgáló táblázat a háború előtt rendszeresített tábori és hegyi löveganyagról.

7. táblázat: Az 1914 előtt rendszeresített tábori és hegyi lövegek [11; 106, 145, 161. o.]

Megnevezés	Gyors lövegzár	Csőfékező - helyretoló	Lövegpajzs	Acélcső
1875 M 8 cm-es tábori ágyú				
1875 M 9 cm-es tábori ágyú				
1875/96 M 9 cm-es tábori ágyú				
1905 M 8 cm-es tábori ágyú	+	+	+	
1905/8 M 8 cm-es tábori ágyú	+	+	+	+
1899 M 10 cm-es tábori tarack	+			
1899 M 15 cm-es nehéz tarack	+			
1875 M 7 cm-es hegyi ágyú	+			
1899 M 7 cm-es hegyi ágyú	+	+		
1908 M 7 cm-es hegyi ágyú	+	+		
1909 M 7cm-es hegyi ágyú	+			
1899 M 10 cm-es hegyi tarack	+			
1902 M 10 cm-es hegyi tarack	+	+		
1908 M 10 cm-es hegyi tarack	+	+		
1910 M 10 cm-es hegyi tarack	+	+		

A 7. táblázatból látszik, hogy egy kivételével az összes addig rendszeresített, a világháború elején még használt tábori vagy hegyi ágyú bronzcsövű, többségük nem rendelkezik lövegpajzzsal, és csak a legújabb rendszeresítéseknek van csőfékező- és helyretoló berendezése.

8. táblázat: A 15 lövegtípus összevont vizsgálómátrixa

		Az elért eredmény	
		Mennyiségi növekedés	Minőségi fejlődés
Az alkalmazott technológia	Adaptáció	0	++++, vagy +++, vagy ++, vagy +, vagy 0.
	Új fejlesztés	0	0

Mindegyik lövegre felállítva a rá jellemző vizsgálómátrixot, a 14, különféle lövegtípus a következő fejlettségi megoszlást mutatja:

9. táblázat: A lövegtípusok korszerűségének értékelése

A vizsgált lövegtípus korszerűsége a 9. és 10. táblázatok alapján	Típusok száma
Korszerű (++++ , +++)	2 típus
Elavult (0; +; ++)	13 típus

A megfelelő paraméterekkel kitöltött vizsgálómátrixok alapján tehát további vizsgálatok nélkül, nagy biztonsággal ki lehet jelenteni, hogy a háborúba lépő Monarchia tábori és hegyi tüzérsége korszerűtlen eszközökkel volt felszerelve.

I.2. A fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer hatása

A fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer a haderővel szemben támasztott követelmények változása, vagy új harceljárások kifejlődése hatására megváltozhat. Optimális esetben rendelkezésre áll az a technológia, amelyet alkalmazva olyan fegyverzet állítható elő, ami megfelel az új követelményeknek. Ilyenkor egy, a polgári életben vagy éppen a fegyvergyártásban már létező eljárást adaptálnak, tehát a fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer hatására a meglévő, elérhető technológiák segítségével újítják meg az eszközparkot.

Ilyen fejlesztés volt a szárazföldön már alkalmazott tarackok mintájára a hajótarackok, karronádok megjelenése a csatasorban harcoló hajók alakzatának megtörésére.

Előfordul, hogy nem áll rendelkezésre az a technológia, ami a megnövekedett követelményeknek megfelelő nagysorozatú, olcsó gyártást vagy a kívánt tulajdonságok elérését lehetővé teszi. A fejlett iparral és megfelelő tudományos háttérrel rendelkező államok ilyen esetben képesek valamilyen gyökeresen új eljárás, technológia bevezetésére. Ebben az esetben tehát fellép egy új követelmény, aminek a hatására létrejön a technológiai ugrás, tehát a fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer hatására jön létre a technológiai fejlődés.

Ilyen, új technológiát létrehozó igény volt a 16-17. század fordulóján a lövegcső előállítási költségeinek csökkentése azok bronz helyett vasból való öntésével, hogy az egyre növekvő flottákat a tengeri hatalmak képesek legyenek megfelelően felfegyverezni.

I.2.1. Mennyiségi növekedés: az elöltöltő hajóágyúk számának változása [37; 122-123. o.]

A 16. századi hadigaleonból⁵ alakult ki az a teljes vitorlázatú háromárbcos hadihajó, amely a későbbi sorhajók alapját képezte. Ágyúkat már a 14. században alkalmaztak hajókon, a 15. században pedig már kifejezetten hadihajók – a gályák, majd a galeasszok, később a galeonok – használták azt fedélzeti fegyverzeteként. Ezek a kovácsoltvas,⁶ sárgaréz vagy bronz eszközök még rendkívül költségesek, szerteágazóan sokféle űrméretűek, illetve – csekély és eltérő lőtávolságuk következtében – kevésbé hatékonyak voltak.

A növekvő haderők és flották egyre több löveget igényeltek, ám ezek az alkalmazott bronz alapanyag miatt egyszerűen túl drágák voltak a tömeges alkalmazáshoz. A másik szóba jöhető alapanyag nyilvánvalóan az öntöttvas volt, ám a korszakban még nem voltak képesek ebből a rideg anyagból olyan jó minőségű öntvény előállítására, ami a lövés erőhatásait kibírta volna.

Az olcsó öntöttvas ágyúk gyártását kidolgozó William Hogge brit olvasztár, valamint németalföldi és svéd követői által 1543-tól elért eredmények lehetővé tették az egységes, nagy darabszámú haditengerészeti ágyúpark megteremtésére irányuló brit törekvések megvalósulását. A harmincéves háború (1618–1648) és a brit polgárháború (1642–1648) lezárultát követő évekre lehetővé vált a hajóágyúk tömeggyártása. [54; 15. o.]

A brit polgárháború 1648-as befejezését követően Oliver Cromwell azonnal utasítást adott egy hároméves flottaépítési program megindítására, amelynek eredményeképpen 1651-re 40 db új angol vitorlás hadihajó állt rendszerbe, hajónként mintegy 50 új ágyúval. Ez a mintegy 2000 hajóágyú legyártásával járó flottaépítési program jelzi a hajóágyúk tömeges elterjedésének kezdetét. Nemsokára Franciaországban Colbert is hasonló programot indított, ugyanúgy vaságyúkat felhasználva. [54; 86-87. o.] Az olcsó ágyúkon kívül ehhez kellett az ágyúk töltésének megoldása köteles-csigás, illetve lövegtalp-görgős hátrasikló szerkezet segítségével. [55; 19. o.] Korábban ugyanis a mereven beépített ágyúkat kívülről töltötték provizórikus állványokról, ami rendkívül nehézkessé tette ezt a műveletet.

Nemcsak a hajók darabszámának növekedése miatt nőtt meg a haditengerészetnél alkalmazott ágyúk száma, hanem – a hajón belüli töltés sikeres megoldása miatt – az egy hajón alkalmazott ágyúk számát is sikeresen növelték. „1652-ben a brit hadiflotta 97 hajója

⁵ Részben a portugál karakkból kifejlesztett, de annál jóval nagyobb, hosszú utakra is alkalmas vitorlás hajó. Jellemzője a többfedélzetes hajótörzs, a többemeletes tatfelépítmény, és a (legfelső-, harmadik-) kasvitorla.

⁶ A mai besorolás szerint szerkezeti- vagy szerszámacél.

közül még mindössze 3-nak volt 60 vagy több ágyúja, ám 1685-ben a 143 hadihajó közül már 63 volt ennyivel felfegyverezve.” [55; 16. o.]

Az oldalsó ágyúsorok jobb kihasználása érdekében rendelte el az angol Admirális a 17. század közepén, hogy a hajók egymás nyomdokvizében haladva harcoljanak. Ez a harcmodor viszont nagyjából egyenlő sebességű és fegyverzetű hadihajókat követelt meg: így születtek a hadigaleonokból az osztályokba sorolt sorhajók. A legnagyobb sorhajók a 18. század közepére – szemben az előző század közepén használt típusokkal – 12 helyett 18 és 18 helyett 24 fontos ágyúkat kaptak. Nelson zászlóshajóján, az 1759–65 között épült, Trafalgarig kétszer modernizált és egyszer átépített Victory-n a csata idején 30 db 32 fontos, 28 db 24 fontos, 42 db 12 fontos ágyú és két 68 fontos(!) karronád (hajótarack) alkotta a fegyverzetet. [56; 73. o.]

A sorhajók besorolása az ágyúk száma alapján történt. A hajók igen sok, és egyre több löveget hordoztak, a szárazföldön elképzelhetetlen tűzerőt koncentrálnak. Például Napóleon teljes északi hadserege háromszázhatvanhat 6-12 fontos ágyút vitt a waterloo-i csatába, míg Nelson flottája Trafalgarnál 2232 ágyút hordozott, és ezekből a legkisebbek voltak a 12 fontosak. [56; 53. o.]

A hosszúság és a szerkezeti méret növekedése és a viszonylag olcsó öntöttvas ágyúk alkalmazása tette lehetővé, hogy a sorhajó-hadviselés korszakának kezdetétől (17. sz.) a korszak végéig (19. sz.) a sorhajókon folyamatosan növekedjen az ágyúk száma és főként űrmérete. (Lásd: 6. melléklet: A brit sorhajók tűzerejének növekedése a 17-től a 19. századig) A leggyakoribb III. osztályban 56 db-ról 90 db-ra nőtt az ágyúsám, ami – az űrméret egyidejű jelentős növekedésének következtében – az oldalanként leadott sortűz során kilőtt lövedéktömeget 315 fontról 982 fontra, azaz a háromszorosára növelte. Az ágyúk darabszám-növekedésénél jóval fokozottabb mértékben növekedett az alkalmazott ágyúk űrmérete: a 17. században alkalmazott legnagyobb 32 fontos ágyú mérete az 19. század végére 50 fontra, a karronádok mérete 68 fontig nőtt. Az erősebb iparral rendelkező államok előnyben voltak a haditengerészeti fejlesztések – ezen belül főként az ágyúk számának és űrméretének növelése – területén.

Kifejezetten a haderők igényeinek kielégítésére jött létre tehát a 16. században az az új technológia, amelynek segítségével képessé váltak öntöttvasból lövegcsövet előállítani a bronz cső költségének töredékéért.⁷ Ezzel lehetővé vált a flották felszerelése addig nem látott mennyiségű elöltöltő hajóágyúval. Létrejöhetett a sorhajó-hadviselés, azaz az egymás mögött

⁷ McNeil [24; 86. o.] szerint egy-tizenkettédéért!

haladó, hasonló ágyúkkal felszerelt csatahajók egymás utáni tűzkiváltása egy vagy több célpontra.

I.2.2. Minőségi haladás: az előltöltő hajóágyúk tulajdonságainak fejlődése

A 18. század második felére a fentiek okán már éppen a sorhajók csatasorának áttörése vált a siker zálogává. Ehhez a közlőről megvívott harchoz viszont a lehető legnagyobb űrméretű löveg kellett, melynél a nagy lőtávolság másodlagos volt. Ez az igény életre hívta a skóciai Carron Company által kifejlesztett hajótarackot, azaz a karronádot. Itt azt látjuk, hogy a követelmények változása a korszak műszaki-technikai fejlettsége mellett kezelhetőnek bizonyult, azaz az ipar képes volt egy olyan új lövegtípus kidolgozására, egy új minőség bevezetésére, ami megfelelt a haditengerészet újonnan támadt különleges igényeinek.

A hadihajókon használt speciális tarack, a Nelsonnál már említett, 1779-ben felbukkant karronád rombolóereje nagyobb volt az ágyúkénál, lőtávolsága azonban elmaradt azoktól. [57; 173. o.] Emiatt sohasem cserélték le ilyenekre az összes ágyút, de azt láthatjuk, hogy a bevezetésüktől kezdve nőtt a számuk a brit flottában. [37; 123. o.] Fontos megjegyezni, hogy ez a lövegtípus sosem tüzelt a szárazföldi tarackokéhoz hasonló meredek szögcsoporthoz, sőt, mivel kifejezetten a közeli ellenfél hajótestének rombolására használták, nemegyszer éppen negatív szögben lőtt. Az új lövegtípus kialakítása kifejezetten annak a felismerésnek a következménye volt, hogy a sorhajó-hadviselés egymás mellett elhaladó soraival nehezen lehetett döntő győzelmet kieszközölni. Ha azonban át tudták törni az ellenséges csatasort, oldalsortűzet tudtak leadni a csatasorban haladó hajók védtelen tatjára vagy orrára. Volt azonban egy komoly veszélye ennek a harcmodornak: amikor az áttörést tervező hajók megközelítették a csatasort, azaz arra merőlegesen hajóztak, éppen abba a helyzetbe kerültek, amelybe ők szerették volna hozni az ellenfelet. Nem véletlen, hogy az első karronádokat éppen a brit hadihajók orra és tatja kapta. Az egy sortűz által kilőhető lövedékek össztömegének 19. századra való hatalmas növekedésében igen nagy szerepe volt ezeknek a lövegeknek. Ez minőségi növekedést (nagyobb átütőerő) hozott a meglévő technológia újszerű alkalmazásával.

Itt említem meg, de részletesen nem térek ki rá, hogy szintén a követelmények megváltozása miatti minőségi ugrást hozott a huzagolt, majd huzagolt, hátultöltő tüzérség megjelenése. Ezt a változást a gyalogság fegyvereinek változása indukálta. Érdekes módon, a kritikus követelmény megfogalmazása nem változott: messzebből kell elérni a tüzérségi

tűzzel a gyalogságot, mint ahogy az viszonzni tudná azt saját tüzével. Ami nagyot változott, az a viszonyítási alap: a simacsövű puskák hatásos lőtávolsága 300 méter körül volt. A huzagolt, majd a huzagolt, hátultöltő fegyverek tömegessé válásával a hatásos lőtávolság kezdte elérni az ekkor még mindig elöltöltő, simacsövű lövegekkel felszerelt tüzérség hasonló mutatóját, alapvető szükségletté vált a lövegek hatásos lőtávolságának emelése.

A kor műszaki-technikai szintjén a huzagolást meg tudták oldani, de a hátultöltést eleinte nem. Az első lövegzárok megbízhatatlannak bizonyultak, ezért az osztrák tüzérség – de a jóval fejlettebb iparra támaszkodó angol is – első hátultöltő lövegeinek rendszeresítése után rövid időre visszatért az elöltöltő, huzagolt ágyúkhöz. A harmadik fejezetben leírt útkeresés aztán elvezetett a megbízható hátultöltő, huzagolt csövű lövegekig. A 19. század közepére tehát elterjedt az ágyúcsövek huzagolása, ami növelte a lőtávolságot. A huzagolás bevezetése jelentős mértékben növelte meg a hajótüzérség lehetőségeit a harcban, mind a hajók elleni küzdelem, mind a szárazföldi célpontok elleni harctevékenység során.

A technikai fejlődés utolsó, itt már nem tárgyalt eleme a tüzérségi gránát megjelenése volt, ami – fokozott pusztító hatása következtében – lényegében lezárta a faépítésű hajók korszakát és szükségessé tette a rátétpáncél alkalmazását, majd a tisztán fémépítésű vitorlás hadihajók építését. [37; 124. o.]

KÖVETKEZTETÉSEK

Az első fejezetben felvázoltam és bemutattam a tüzérség eszközeinek fejlődésére ható két legfontosabb tényező, az általános műszaki-technikai fejlődés és a fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer működését. Bemutattam, hogy a két tényező nem független egymástól. Megalkottam azt a táblázatot (1. táblázat), amelynek segítségével a két alapvető tényező vizsgálata alapján eldönthető a fejlesztés szükségessége.

Megvilágítottam, hogy az alkalmazott gyártástechnológia kidolgozása történhet a már meglévő műszaki megoldások, gyártási eljárások hadiipari célra történő átalakításával (adaptáció) vagy teljesen új eljárások kifejlesztésével.

Rámutattam, hogy a fentiek szerint kidolgozott eljárások hatása lehet mennyiségi, azaz a termelékenységet növelő, vagy lehet minőségi, azaz az előállított eszköz egy vagy több előnyös tulajdonságát erősítő. Felvettem egy vizsgálómátrixot (2. táblázat), amelyben a fejlődést leginkább jellemző paramétereket feltüntetve egyszerűen áttekinthető annak alapja (adaptáció / új fejlesztés) illetve eredménye (minőségi fejlődés / mennyiségi növekedés).

A haditechnika történetének tárgyalásában, de az általános műszaki múzeológia esetében is komoly problémát jelent egy adott eszköz vagy eszközrendszer alkalmasságát, az adott környezethez viszonyított korszerűségét megítélni. Bemutattam, hogy a vizsgálómátrix alkalmas arra, hogy egy adott eszköz vagy eszközrendszer fejlettségét értékelje az adott kor általános műszaki-technikai fejlettségéhez képest.

Rávilágítottam, hogy a módszer ezenkívül alkalmas az egyes eszközök fejlettségének összehasonlítására, illetve az egy adott időszakban létrejött fejlődés mértékének és gyorsaságának kimutatására.

Bemutattam egy tipikus esetét a műszaki-technikai fejlődés hatására létrejött mennyiségi növekedésnek. Az elöltöltő bronz lövegcsövek alkalmazásának több mint ötszáz éve alatt több olyan, a műszaki-technikai fejlődés hatására létrejött technológiai újítás ismerhető fel, amelyek mennyiségi növekedést hoztak. Ezek közül csak a legalapvetőbbet, az öntőforma anyagának változását foglalva a mátrixba, látjuk, hogy a homokba majd a kokillába való öntés által a vizsgált időszakban két mennyiségi növekedést eredményező technológiai ugrás valósult meg adaptáció, tehát máshol már alkalmazott eljárások hadiipari célra való alkalmazása útján.

Rávilágítottam egy olyan esetre, amikor a műszaki-technológiai fejlődés hatása minőségi ugrást eredményezett. A francia 1897 M 75 mm-es „gyorstüzelő” ágyú volt az első igazán modern tábori löveg. Négy alapvető konstrukciós jellemző együttese adta rendkívüli voltát. Csőhátrasikló-helyretoló berendezéssel, egyszerűen kezelhető gyors lövegzárral, könnyű acél lövegcsővel és lövegpajzzsal szerelték fel. Azt látjuk, hogy a fejlesztés a meglévő technológia újszerű alkalmazásával, a már ismert technikai megoldások kombinálásával új, addig nem látott minőséget eredményezett.

Összehasonlítottam a francia löveg fejlettségét a hasonló német eszközével. Az 1896 M német tábori ágyú az 1897 M franciához képest elmaradottnak bizonyult. Kimutattam, hogy az újdonság hatására korszerűsített német löveg (1896 n/A) már műszakilag egyenértékűvé vált a franciával, és ezt a hatásadatokkal igazoltam.

A fejezet első részének zárásaként bemutattam egy olyan – rendkívüli – esetet, amikor az állam általános műszaki-technikai fejlettségétől elmaradt a lövegyártás színvonala. A korszerű tábori lövegeket jellemző négy fenti paraméter alapján egy vizsgálómátrix-rendszer felállításával kimutattam, hogy az Osztrák-Magyar Monarchia tábori és hegyi lövegei az első világháborúba való belépéskor kifejezetten korszerűtlenek voltak. Itt a módszer segítségével elsőként sikerült az eddig a szakirodalomban fellelhető, de egzakt igazolást nélkülöző megállapítást alátámasztani.

A fejezet második részében néhány jellemző példán keresztül, a vizsgálómátrix segítségével bemutattam a fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer hatását.

Megmutattam egy olyan esetet, amikor egy, a polgári életben vagy a hadiparban már létező eljárást adaptálnak, tehát a fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer hatására a meglévő, elérhető technológiák segítségével újítják meg az eszközparkot. Ilyen, adaptációra alapuló fejlesztés volt a hajótarackok, karronádok megjelenése a csatasorban harcoló hajók alakzatának megtörésére. Ez az eset jó példa a minőségi előrehaladást eredményező fejlődésre is.

Bemutattam, milyen az, amikor nem áll rendelkezésre a megfelelő technológia, tehát újat fejlesztenek ki a követelmények kielégítésére. Kifejezetten a haditengerészet igényei miatt jött létre a 16. században az az új eljárás, amelynek segítségével képessé váltak az addig túl ridegnek tartott öntöttvasból lövegcsövet előállítani a bronz cső költségének töredékéért. Ezzel lehetővé vált a flották felszerelése soha nem látott mennyiségű elöltöltő hajóágyúval. Itt mennyiségi növekedést hozó, jelentős fejlesztést ismerhetünk fel.

A további fejezetek feldolgozását jelentősen megkönnyíti a fentebb felállított kategóriarendszert alkalmazó vizsgálómátrix használata.

II. AZ ELÖLTÖLTŐ LÖVEGEK FEJLŐDÉSÉNEK ÁTTEKINTÉSE, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A LÖVEGCSŐ GYÁRTÁSÁRA [58; 24-25. o.]

A 14. század kezdetére már ismerték Európában a katonai célokra alkalmazható puskaport. Az első tűzfegyverek ebben az időben jelentek meg: az ágyú legkorábbi ábrázolása, egy vázaszerű, nyilat lövő tüzes eszközről készült illusztráció Walter de Milemete 1326-ban kiadott művében látható.

Az ilyen, a 14. század elején megjelent, mozsárszerű vagy inkább váza formájú ágyúk anyaga bronz vagy sárgaréz volt,⁸ nyíl formájú lövedékük hegye – vagy akár az egész nyíl – kovácsoltvasból⁹ készült. Érdekes egybeesés, hogy szintén 1326-ból maradt fent egy firenzei határozat, melyben két embert kijelölnek fémből való ágyú készítésére. Ugyanez az irat említést tesz vas nyilakról is. [59; 21. o.]

Nagyon hasonló, bár a kódexben ábrázoltnál jóval kisebb (kb. 30 cm hosszú) fegyvert – valószínűleg a legkorábbi fennmaradt európai tűzfegyvert – találtak a svédországi Loshult mellett. Az ilyen ágyúk nyilván már korábban megjelentek: Dolleczek (közvetett adatok alapján) úgy gondolja, Frankfurtban 1313-ban már volt ágyúja. [32; 17. o.] 1345-ben a Tower szertárának őre megbízást kapott hajóágyúk javítására és munícióval való ellátására. [1; 3.o.] Clécynél 1346-ban már használtak ágyúkat.[60; 13. o.] Bízást elfogadhatjuk azt a tényt, hogy az ágyúk a század közepére már ismert fegyverek voltak.



1. kép: A Loshult-ágyú (Állami Történeti Múzeum, Stockholm. Lsz: 2891)

⁸ Bronznak az általános szóhasználat szerint az ónbronzt (réz alapfém, ón ötvöző) nevezem. A sárgaréz ötvözője a cink. (Ezt ekkor még nem tudták elemi formában előállítani, az ötvözéshez a cink egyik ércét, a gálmát használták.) Aitchison [26; 332. o.] szerint az ágyúk anyaga bronz, Kinard [35; 33. o.] szerint sárgaréz is lehetett – ezt alátámasztja, hogy a Loshult ágyú is sárgaréz.

⁹ A mai besorolás szerint szerkezeti- vagy szerszámacél.

II.1. Harangok és korai bronzágyúk öntése [58; 26-28. o.]

Az első ágyúk neve franciául „pot de fer”, olaszul „vassa” volt. [35; 33. o.] Ezeket a váza formájú, bronzból vagy sárgarézből öntött fegyvereket még a harangöntő mesterek készítették, a harangokhoz teljesen hasonló technológiával. A harangöntők igen komoly mesterségbeli tudással rendelkeztek: a kor csúcstechnológiájával dolgoztak, nagy tömegű olvadt fémet kezeltek igen precízen, hogy munkájuk szépen csengő eredménye a templomtoronyba költözhessen. Ezt a tudást és valószínűleg ezt az anyagot használhatták az első ágyúk megformálásakor. Bizonyára a harangokhoz jobban hasonlító, golyó alakú lövedékre tervezett mozsárágyúkat is öntöttek a század későbbi évtizedeiben – ilyenekről azonban nem maradt fenn leírás vagy ábrázolás.

Érdeemes megfigyelni, hogy a képen (Lásd: 1. kép) látható, váza alakú ágyú formája milyen jól megfelel a csőben uralkodó nyomáseloszlásnak: nyilván nem mérték azt, de a tapasztalatokból tanulva (ahol az előző megrepedt, ott a következő vastagabbra öntötték) alakították ki a fegyver formáját. A rideg harangbronz lehetett az oka ennek a furcsa, nagy átmérőkülönbségeket mutató alaknak: igen hasonló a szintén rideg anyagból, öntöttvasból készülő 19. századi osztrák erődágyúk vagy az amerikai polgárháborús Dahlgreen-féle palackágyú (Lásd: 21. kép) alakjához.

Az ágyúk és a harangok öntési módszerei tehát nagymértékben megegyeztek. Napjainkban még abban a szerencsés helyzetben vagyunk, hogy a korabeli krónikák és a korszerű anyagvizsgáló eljárások által nyitva hagyott kérdéseket a hagyományos módszerrel dolgozó harangkészítő mesterek munkája alapján megválaszolhatjuk.¹⁰

A harangöntés első lépése a harang üregének megfelelő mag elkészítése. A nagyobb méretű harangoknál ennek alapja egy téglából falazott, fűthető építmény, hiszen az érzékeny öntőformát nagyon óvatosan, egyenletesen kell kiszárítani. A kisebb harangok magja keményfából készül, amire agyagot tapasztanak, arra kötelet tekernek, amit ismét bevonnak agyaggal. A felületet sablondesztkával simítják, majd száradás után felületét faggyú-viasz-grafit keverékével vonják be.

A magon alakítják ki a harangköpeny alakjának megfelelő úgynevezett álharangot agyagból, szintén sablondeszka segítségével. A mag felületét azért vonják be faggyú-viasz-grafit keverékével, hogy az álharang ne tapadjon hozzá. Az elkészítendő harang az álharang

¹⁰ Gombos Miklós harangöntő mester szíves közlései alapján

pontos mása lesz, alakjuk megegyezik. Az agyag kiszáradása után felteszik az álharang felületére a viaszból készült díszeket, feliratokat.



2. kép: Az álharang formázásának kezdete



3. kép: Kész harang-öntőforma¹¹

Az álharangra nagyon óvatosan, 9–10 lépésben, ecsettel viszik fel az úgynevezett finomsár rétegeket; ez az anyag az agyagon, samottliszten, vízen kívül tejet, cukrot, tojást sőt emberi hajszálakat is tartalmaz az évszázadok során kialakult és féltve őrzött recept szerint. A szokatlannak tűnő alkotórészek az anyag homogenitását, szilárdságát, végső soron repedésmentességét biztosítják. Így alakítják ki az öntőforma külső részét, a köpenyt. A köpenyre vasabroncsokat és emelőhorgokat szerelnek, hogy kiszáritása után fel tudják emelni. A szárítás kiégetéssel történik, 800–900 °C-on. Nagyobb harangoknál a tüzelés a magban folyik, a kisebb harangok formáját parázs fölött forgatják.

Ezután a köpenyt leemelik az álharangról. Az álharangot eltávolítják, a köpenyt visszahelyezik a mag fölé, így létrejön a kívánt, harang formájú üreg. A harangformát az öntőgödörben földdel gondosan körbedöngölik. A köpeny és a mag között keletkező harangürbe öntik a megolvasztott bronzot a magra helyezett koronában, a harang felfüggesztő elemében kialakított beömlőnyíláson keresztül.

¹¹ Gombos Miklós műhelye, 2008. A szerző felvételei.

A folyékony fém teljes megszilárdulása után kiássák a harangot, kiemelik az öntőgödörből, a ráégett agyagot leverik. A harang testét óvatosan tisztítják, nehogy a finom díszítések megsérüljenek. A készremunkálás során köszörülés, reszelés, csiszolás után alakul ki a harang fényes, sima teste.

Az ágyúk formázása és öntése ehhez nagyon hasonlóan történhetett. A cső furatát megadó magot a kisméretű harangokéhoz nagyon hasonlóan készítették el; több forrás szerint vasrudat használtak a mag gerincéül, [35; 34. o.] [3; 242. o.] de keményfa rúd is megfelelt, mint azt a gyakorlatban a zseniális Gábor Áron igazolta.¹²

A legelső ágyúkat tehát a harangokhoz hasonlóan, torkolattal lefelé állítva öntötték. Az öntőforma égetett agyag volt, a furatot kialakító maggal. A forma felépítése igen hasonló volt a harangokéhoz, ám a mag hengeres volt, agyaggal bevont kovácsoltvas, esetleg hasonlóan bevont keményfa rúd alkotta. Az ágyúk anyaga ebben az időben bronz vagy sárgaréz.

Az ágyúk készítéséhez a harangöntő mesterek tapasztalata, mesterségbeli tudása kellett. Ezzel a tudással felvértezve nemcsak a korábban bemutatott vázaszerű, de a gyorsan megjelenő mozsárszerű, már kőgolyókat tüzelő lövegek öntése is lehetséges volt. A harangöntés tudományának felhasználása tehát lehetővé tette a használható méretű lövegek megjelenését. Ezt a minőségi fejlődést tehát adaptáció útján érték el.

II.2. Az abroncsos ágyúk [58; 28-30. o.]

Valamikor a 14. század közepe táján új technológia jelent meg az ágyúk készítése terén. A bronzöntés magas szintű szakértelmet követelt meg, ráadásul az ágyúk alapanyagául bevált ónbronzt ötvözője, az ón igen drága fém volt. Amint azt az előző fejezetekben láttuk, az ágyúk öntése nagyban hasonlít a harangok készítéséhez. Ez jól kiforrott technológiát szolgáltat a kisebb űrméretű eszközök, mozsarak elkészítéséhez, de kevésbé alkalmas hosszabb csövű lövegek készítésére.

Harang öntésekor az üreget kiképző mag a kiszélesedő alsó részén áll, olyan nagy biztonsággal, hogy tulajdonképpen erre rakják fel az öntőforma többi részét. Az ágyú furatát kiképző henger alakú mag azonban korántsem ilyen stabil. Bármilyen erős befogást készítenek neki az öntőforma alján, bizonyos hossz fölött óhatatlanul elhajlik, elmozdul. Ez az a nehézség, amit az öntőmesterek csak valamikor a 15. század közepén tudnak orvosolni az ágyú torkolattal felfelé öntésével és kovácsoltvas magtámaszok alkalmazásával.

¹² Gábor Áron tölgyfa rudat használt erre a célra első, vasból készült ágyúi öntésekor.

Bár vannak arra adatok, hogy kovácsolt vaságyúk és a bronzból készült eszközök egyaránt készültek viszonylag nagy méretekben ebben az időben, [1; 4. o.] a nagyobb űrméretű eszközökre kizárólag az előbbi típusból találunk példákat. Ennek oka lehet a fentebb leírt öntéstechnológiai nehézség okán a bronzágyúk igen kis száma, de nem lehet kizárni azt a kézenfekvő lehetőséget sem, hogy a régi rézötvözet lövegeket – a fém magas ára miatt – később egyszerűen beolvasztották, újraöntötték.

Az új, vasból készült fegyvereket tulajdonképpen egy jobban felszerelt falusi kovácsműhely is elkészíthette. Az abroncsos ágyú (vagy másnéven bombarda) felépítése nagyon hasonlít a hordóéra, azzal a különbséggel, hogy itt a dongák is vasból vannak. Szerkezetét tekintve ez az ágyú a faágyúk közeli rokona, melyekről Petrarca tesz említést 1344-ben. [33; 6. o.]

A fegyver készítését egy keményfa henger megfaragásával kezdték. Erre fektették a téglalap keresztmetszetű vasrudakat, melyeket kovácshegesztéssel kapcsoltak egymáshoz. Az így kapott csőre gyűrűket húztak. (Gyakori, hogy a gyűrűk nem egyforma átmérőjűek – ez előnyös lehetett az ágyazatba rögzítés szempontjából.) Ezeknek az ágyúknak a cső űrméreténél jóval kisebb átmérőjű, a lőpor befogadására alkalmas lőporkamrájuk van. A cső belsejét képző hosszanti vasrudak alakos kötással tartják a kovácsoltvas lőporkamrát. Ez úgy lehetséges, hogy – hasonlóan ahhoz, ahogy a hordó fenekét tartják a dongák – minden egyes rúd egy befelé álló karomban végződik, a kamra száján viszont egy körbefutó, kifelé álló perem van kiképezve.

A hátultöltő ágyú szerkezete ettől tulajdonképpen csak annyiban különbözik, hogy a dongák végéről hiányoznak a karmok, a kamrán pedig nincs perem. Így a lőporkamra kisebb átmérőjű szájrésze a csőbe becsúszik, de a csőtől elválasztható. Itt a kamrát a mögé vert faékkal feszítették a csőhöz, ennek érdekében a cső részét képezte egy kovácsoltvas, a kamra mögé nyúló tartókeret.



4. kép: Abroncsos ágyú a Hadtörténeti Múzeumban (Szikits Péter felvétele)

Azt gondolnánk, hogy az abroncsos ágyúk készítése a méret növelésével aránytalanul nehezebbé vált, mégis, kifejezetten nagyméretű példányok is fennmaradtak. Példa erre az Edinburgh-ben látható, 1449-ben készült, több mint hat tonnás Mons Meg, 50 cm-es űrmérettel és négy méter feletti hosszal, és nagy testvére, a hozzá igen hasonló, Gentben őrzött Dulle Griet, mely 1382-ben készült 64 cm-es űrmérettel és több mint öt méteres hosszal. Ezek a szörnyek nagyméretű kőgolyókkal tüzeltek.

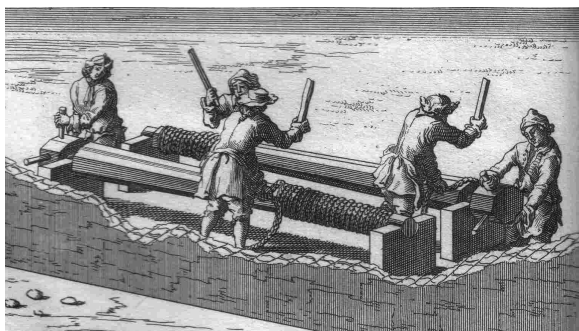
Az abroncsos ágyúk nem hoztak új minőséget, inkább a rendkívül drága és nagy mesterségbeli tudást kívánó bronzágyúkat pótolták, váltották ki. Ellentétben viszont azokkal, nem volt olyan előképük, mint a korai mozsaraknak a harangok. Ezt a technológiát kifejezetten ágyúgyártás céljára dolgozták ki, tehát új fejlesztéssel mennyiségi növekedést értek el.

II.3. Hosszú bronzágyúk öntése [61; 79. o.] [62; 36-37. o.]

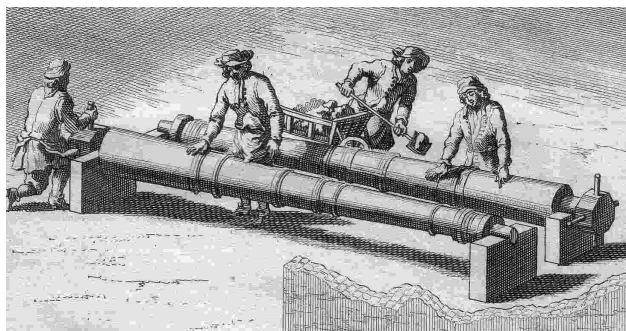
Az egyre fejlődő öntéstechnológiának köszönhetően a 15. század végétől inkább csak a kisebb méretű ágyúkat (pl. a folyami hajókon alkalmazott „sajkás” ágyúkat) és a kézfegyverek csöveit készítették kovácsoltvasból. Az ágyúk egyre jobban megnyúltak, a nagy űrméretű, kőgolyót tüzelő lövegek helyét részben átvették a hosszabb csövű, kisebb űrméretű, tehát könnyebben mozgatható, ugyanakkor pontosabb, többnyire bronzból öntött ágyúk.

A legkorábbi leírást Kritobulosz bizánci történetíró 1467-ben adja a magyar Orbán mester által készített, Bizánc ostromához használt ágyú 1453-as öntéséről. [1; 13-14. o.]

Eszerint néhány napig gyúrták a fellelhető legvilágosabb és legkövérebb agyagot, és mikor az homogén masszává állt össze, kendert és más növényi szálakat keverték bele, majd átdolgozták, míg szívós, sűrű massa nem lett. Ekkor csináltak egy nagyon hosszú, rovátkolt rudat a minta magjául. Ez negyven tenyér hosszú volt, a torkolati része pedig tizenkét tenyér területű. A hátsó rész, ami majd löporkamrául szolgál, négy tenyér vagy egy kicsit nagyobb területű volt, a mérete a csőfurat harmada. A tulajdonképpeni formát ehhez illeszkedő méretekkel készítették, egy tenyérnyi, vagy kicsit több teret hagyva körös-körül a fém befogadására. A formát megerősítették magvasakkal, fával, és körbeépítették földdel és kövekkel.



5. kép: A minta magja [6; II. 51. o.]



6. kép: A kész minta [6; II. 52. o.]

Hét kemencét emeltek a műhelyhez közel, téglákkal és nagyon kövér, jól átdolgozott agyaggal belülről kirakva, kívülről vágott kövekkel kerítve és lesúlyozva mindenféle anyaggal ami elég nehéz volt ahhoz, hogy a kemencét összetartsa. Ezután bronzot mértek és ónt, kb. 1500 talentum (~37 tonna) mennyiségben. Faszenet és fát dobáltak a kemencékbe, hogy a fém minden oldalról takarva legyen. Eztán lezárták a kemencéket, csak a kivezető nyílásokat hagyván szabadon. A kemencékben három nap és három éjjel égett a tűz, és amikor a bronz vízszerűen folyékonnyá vált, megnyitották a kivezető nyílásokat, és a fém az agyagsöveken keresztül a formába ömlött.

A formát teletöltötték úgy, hogy a fém egy pik-kel (kb. 70 cm) a majdani torkolat fölé emelkedett. Mikor a bronz megszilárdult és kihűlt, a formát és a magot szétszedték, és a fémet fényesre csiszolták. Az ágyú elkészítése mindennel együtt 18 napot vett igénybe. Ahogy azt korábban írtam, ezzel az ágyúval áttörték a falat, és végül elfoglalták Konstantinápolyt.

A 15. század hadviseléséhez hozzátartozott az ágyúk dőreje, már nemcsak a várak védelménél és ostrománál, de a csatatereken is.

Továbbra is használták, különösen várak ostrománál az óriás faltörő ágyúkat (magna bombarda) de ezek inkább örökségként vagy hadizsákmányként kerültek a király fegyvertárába. Az ilyen lövegeket szekéren szállították, az ágyútalpat vagy külön szekér vitte, vagy a helyszínen készítették el. Csigás emelővel tették az ágyút az ágyútalpra, ami a visszalökő erő elviselésére néha egész gerendarendszert jelentett lőportárolóval, golyótartóval.

A mozsarakon a század közepétől jelentek meg a csőcsapok, melyeknél fogva fel-le billenthetően rögzültek az ágyútalpra. A hosszabb, kisebb űrméretű, szűkebb értelemben is ágyúnak nevezhető lövegek mozgatását és irányzását ezen kívül először négy- majd kétkerekű lövegtalp segítette, ami mind a szállítószekér, mind az ágyútalp feladatait ellátta, szükségtelenné téve az ágyú fáradságos átemelését. Az ágyútalpak mozgatásához félkocsit

(böröcköt) vagy más néven lövegmozdonyt használtak. Ez a rendszer (ágyú – ágyútalp – lövegmozdony) az állati erővel való vontatás elhagyásáig (nagyjából a II. világháború vége) a tábori tüzérség ismerve lesz.

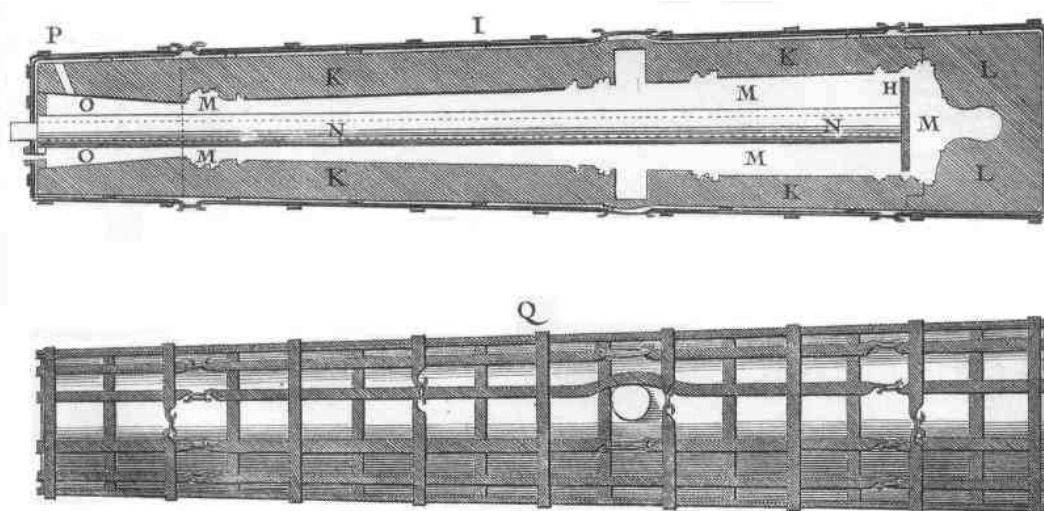
A bronz lövegcső öntésének fejlődése [37; 81-82. o.] [63; 7. o.]

Talán a témában a leggyakrabban idézett korabeli szerző Vanoccio Biringuccio, aki *Pirotechnia* [3] című munkájában összefoglalja kora fémtani és fémmegmunkálási ismereteit. Könyve 1540-ben, egy évvel halála után jelent meg, jó egy évtizeddel megelőzve Agricola „*De Re Metallica*” című munkáját. Nem ez az elsőbbség az, amiért művét a fejezet ezen része alapjául választottam: Biringuccio rendkívül világosan és már-már kézikönyvszerűen tárgyalja a különböző fémek és tárgyfajták öntési metódusait, így a bronzágyúk öntését is.

A régi rövid csövű ágyúkat, ahogy a harangokat, torkolattal lefelé öntötték. Ez addig nem okozott gondot, amíg az ágyúk rövidek, mozsárszerűek voltak. A lövegcsövek megnyúlása azonban a furatot kiadó mag rögzítését egyre nehezebbé tette. A filigránabb cső hűlési folyamatai kevésbé voltak kézben tarthatóak, és a megjelenő öntési hibák éppen a csőfarban sűrűsödtek. A 15. század közepén bevezetett és Vanoccio Biringuccio által jól leírt új eljárás szerint a lövegcsövet álló helyzetben, torkolattal felfelé készítették, hogy a folyékony fém nyomása a leginkább igénybe vett csőfARBól szorítsa ki a szennyeződések és a légzárványokat. Ebben az állásban a magot is „belógatták” azaz függesztve tudták a formába helyezni, az alsó, csőfari részen oldalirányban megtámasztva elmozdulás ellen. A csövet tehát már eleve üregesre öntötték, a furatát öntés után vízszintes helyzetben, egy egyszerű csigás fúróval simították. Itt tehát az új fejlesztés a torkolattal felfelé öntés technológiája (mint majd később látjuk, itt komoly öntészeti problémákat kellett megoldani) ami által új minőséget, hosszú csövű ágyút tudtak előállítani.

A technológia még mindig nagyban hasonlított a harangok öntésénél alkalmazott eljáráshoz. Az öntőforma tűz fölött szárított, finom, kóccal, szőrrel vagy emberi hajjal és lótrágyával kevert agyagból készült. A nedves agyagot a mintára vékony rétegekben hordták fel, és minden réteget külön, nagy gonddal szárítottak, a forma külsejét komoly vasalással (5. ábra, Q) megerősítve. A formát az öntőgödörben építették össze, legalul a csőfar kosárszerű formája volt (L), azon a löveg külső palástfelületének alakját meghatározó, rendkívül

bonyolult,¹³ csőszerű öntőformarész (K). Ezután helyezték be a csőfuratot kiadó magot (N), felül, a torkolatnál egy erősebb, hüvelyszerű megfogással, ami a sugárirányú elmozduláson kívül a folyékony fém felhajtóerejéből eredő tengelyirányú elmozdulást is megakadályozta. Alul, a csőfarban egy vasból készült, háromágú magtámasz (H) akadályozta meg a sugárirányú mozgást. Érdekesség, hogy ez a kész öntvényben bennmaradt, a csőfar szerves részét képezve.¹⁴ Végül az összeépített öntőformát földdel gondosan körüldöngölték. A legkisebb hiba az öntőforma elkészítésekor, annak összeállításakor vagy a folyékony fém kezelése során az öntés sikertelenségét idézte elő. A módszer előnye volt a technológia rendkívüli – sok évszázados – kiforrottsága, hátránya viszont az alacsony termelékenység.



5. ábra: Az összeállított ágyúöntő forma [6; II. 57. o.]

Két dolog okozta a munkafolyamat lassúságát. Először is, az agyagminta és -forma készítése során az egymás után felhordott rétegek szárítása, égetése nem volt lényegesen gyorsítható: amíg a felhordott rétegben nedvesség maradt, addig a következőt nem lehetett rávinni, de a túlságosan gyors szárítás az agyag repedését okozhatta. Másik oka a lassúságnak az volt, hogy a formázás végén az öntőminta, majd öntés után az öntőforma megsemmisült, hiszen az sem a mintát, sem az ágyúcsövet nem lehetett a bonyolult formájú, csőszerű fő formarészből roncsolás nélkül kihúzni.

¹³ Ezen a formarészen találjuk a csőcsapok, a delfinek (kötél átfűzésére szolgáló fülek) és a különféle ábrák, címerek, feliratok negatívját is!

¹⁴ A kortársak szerint legbiztosabban így lehetett megkülönböztetni Gábor Áron rézágyúút a jóval fejlettebb technikával öntött osztrák lövegektől!

Alapvetően az öntőminta kímélésével gyorsította a munkát az az új eljárás, amely a fentebb vázolt ősi módszer továbbfejlesztésének tekinthető. Alapvető változtatásként az öntőformát vízszintes síkban osztották meg, tehát a formakészítés eredménye két félcső lett, így azok közül az öntőminta egyszerűen kiemelhetővé vált. A többször felhasználható öntőmintát egy darabban esztergálták, fából vagy a nedvesség okozta méret- és alakváltozások elkerülése érdekében sárgarézből, esetleg öntővözetből. Ezt vízszintes homokágyra fektették, és középig belenyomták, úgy, hogy a minta egyik fele a homok síkja alatt, a másik felette volt. (Tehát képzeletbeli hossz tengelye a homok felszínének síkjába esett.) A kiálló mintafélre a már ismert módszer szerint hordták föl az agyagrétegeket, mindegyiket tűz fölött szárítva. A mintát ekkor a homokágyból kiemelték, megfordították, így a rátapadt formafél került alulra, és láthatóvá vált a minta másik fele. Az előzőekhez hasonlóan vonták be agyaggal a minta szabadon álló részét, külön ügyelve arra, hogy az erősítő vasalás pontosan ugyanolyan legyen, mint a másik félen, hogy a két formafelet ennek segítségével össze tudják majd kapcsolni.

Száradás után a felső formafelet leemelték, az alsóból kivették a mintát, és mindkettő belsejét gondosan fekecselték,¹⁵ nehogy a folyékony fém megégesse vagy az önvényhez hozzátapadjon. A két formafelet összeillesztették, és a vasalásokat kapcsokkal, csavarokkal vagy dróttal egyesítették. Ezután a formát így együtt még egyszer kiégették. A formát torkolattal fölfelé az öntőgödörbe állították, körbedöngölték, és mindenben ugyanúgy jártak el, mint a hagyományos módszernél.

A 18. század végén az ágyúöntés legmodernebb technológiája a homokformába való öntés volt. Az ágyú mintáját és öntöttvasból készült formázószekrényét¹⁶ több darabból állították össze. Ezt legegyszerűbb úgy elképzelni, mintha a függőlegesen felállított mintát és az azt jókora, de nagyjából állandó hézaggal körülvevő alakos formázószekrényt, mint egy szalámit, vízszintesen több darabra szeletelték volna.

Az adott szelet szekrényét szilárd, sima felületre állították, a közepére tették a megfelelő mintarészt, és a köztük lévő hézagot a formázóhomokkal¹⁷ bedöngölték. A homok tetejét vízszintesre lehúzták, és fekecselték, hogy a következő adag homok ne tapadjon hozzá. Egy-egy ilyen szelet tehát tartalmazta az ágyúcső adott szakaszának mintáját, öntőformáját és formázószekrényét. Ezután a formázószekrényre rátették a következő darab

¹⁵ A fekecs finomszemcsés tűzálló anyagot (pl.: korom) tartalmazó folyadék vagy paszta, amely bevonatot képez a forma felületén.

¹⁶ A formát vagy annak egy részét magába foglaló keret. Lehetővé teszi a forma mozgatását, az egyes formarészek összekapcsolását. Az agyagformánál ismertetett erősítő vasalás modern megfelelője.

¹⁷ Az iparban a mai napig használt formázóhomok tűzálló alkotója túlnyomó többségben homok, kötőanyaga pedig duzzadóképes (vizet felvevő) agyag.

formázószekrényét, és rögzítették azt. A belevaló minta alját ráültették a már körbedöngölt minta tetejére, és ismét homokot döngöltek a formázószekrény és a minta közé. Ezt mindaddig folytatták, míg az öntvényt teljes hosszában be nem formázták.

A teljes hossz elérésével a formázószekrényeket szétkapcsolták, mindegyik közepéből kihúzták a mintát, de benne hagyták a bedöngölt homokot. Az így nyert „szeleteket” szárítókamrában teljesen kiszárították. Mivel a formarészeket végig a formázószekrényekben hagyták, a formát az öntőgödörben könnyen össze tudták állítani. Az öntöttvas formázószekrények elég szilárdak voltak ahhoz, hogy az öntőformát ne kelljen homokkal körbevenni az öntés során fellépő erőhatások elviselésére.

A lövegek homokformába való öntése során egy, az iparban járatos öntészeti technikát adaptáltak a nagyobb termelékenység érdekében.

A 19. század utolsó harmadára már az ágyúöntésben is eljutottak a fém öntőformák, azaz kokillák használatához. Ezt a rendkívül termelékeny eljárást azonban már nem annyira az utolsó előltöltő, mint inkább az első hátultöltő ágyúk gyártásánál kamatoztatták.

II.4. Öntéstechnológiai problémák a hosszú bronzágyúk gyártása során [62; 45-87. o.]

A bronz lövegcsőre mint öntvényre tekintve két nyitott kérdés merül föl: az anyagösszetételre vonatkozó korabeli leírások eltérnek, tehát nem ismert a pontos ötvözet. Ami még ennél is szembetűnőbb, hogy az öntvény kitáplálása (a zsugorodó fém helyére folyékony bronz vezetése) legalábbis kétséges. A vékonyabb torkolati rész vélhetően korábban dermed meg, mint az alul levő, testesebb rész, tehát elzárja a felülről érkező, folyékony fém útját, azaz az alul lévő, vastag, erősen zsugorodó csőfari rész alakhibás vagy porózus lesz.

A bronzágyúk anyaga [61; 80-81. o.]

Gyakori, hogy a bronzból készült ágyúkat „rézágyúnak” hívják. Valójában rézből nem lehet ágyút önteni, a tiszta fém túlságosan puha és nagyon rosszul önthető. Ahhoz, hogy keményebb, szívósabb és jobban önthető legyen, ötvözni kell. Tudták ezt a régi mesterek is: a jó minőségű lövegcsövek anyagának összetétele a 16. századra kialakult. A közhiedelemmel

ellentétben a harangok anyagával nem mutat egyezést: a szépen csengő, rideg harangbronz a maga 20-23 százalékos óntartalmával nem alkalmas ágyú öntésére.

A számunkra legkedvesebb „rézágyú”, a jóval később, de nem sokkal fejlettebb technológiával előállított Gábor Áron-féle löveg az osztrák hatfontos ágyú mintájára készült, melynek az anyaga 10:1 arányú réz-ón ötvözet, [32; 299. o.] ami körülbelül 9 százalékos óntartalmat jelent. Tulajdonképpen a rézágyú megnevezés nem is olyan pongyola: mai anyagvizsgálatok szerint az ágyúk ónbronzból, tehát ónnal ötvözött rézből készültek, méghozzá minden esetben 8-10 százalék közötti [43; 60. o.] óntartalommal.

A bronzágyú öntése

Ahogy azt Kritobulosznál is láttuk, 15. század végén aknás kemencéket használtak a fém megolvasztására. Az akár 5-6 méter magas, felfelé keskenyedő kemencék hátfalához fűjtatók csatlakoztak, fűtőanyagul általában bükkfát használtak. A fémeket és a fűtőanyagot egyszerűen egymásra rétegezték. Az olvasztás az ilyen kemencében több napot is igénybe vehetett, és nagy tapasztalat kellett a fém szennyeződésének megakadályozására és a megfelelő ötvözési arányok beállítására. A 16. században aztán elterjedtek a lángkemencék, melyeknél már elkülönült a tűztér és az olvasztótér, így jóval könnyebbé vált az ötvözés illetve a megfelelő öntési hőmérséklet beállítása. Ekkorra a fémek kereskedelme bejáratott minőségeket hozott Európa-szerte: az öntőmester vagy megbízója meg tudta vásárolni a számára leginkább megfelelő minőségű rezet és ónt. A jó minőségű ón volt a kritikus tényező: az alacsonyabb minőségű óntáblák ólmot tartalmaztak, ami jóval olcsóbb, de nem oldódik a rézben. Ahogy azt később látni fogjuk, az ólom nagyjából gömb alakú zárványokat képez, és ezzel gyengíti az anyagot.

A 19. század végén kiadott Pallas Nagylexikona a következőt írja az ágyúbronzról: „Az Á. legyen kemény, szilárd és némi tekintetben szívós is, hogy a puskaapor robbanó erejét és a golyó ütéseit kiállhassa. A tapasztalás szerint legjobb az az Á., amelyben 89-90 rész réz és 11-9 rész ón van. A legtöbb államban ezt az összetételt használják. Az Á-t fával tüzelt lángalókban ömlesztik meg; a széntüzelés nem jó, mert a szén rendes kísérője a kén az égéstermékek révén az ötvénybe jut és megrontja. Először ömlesztik meg a rezet, azután teszik hozzá az előmelegített ónt, hogy az utóbbi el ne égjen; még így is az utóbbiból 2-3 %-kal többet kell venni, hogy a kívánt összetételű ötvény keletkezzék. Ha régi Á.-ot újra öntenek, ezt friss rézzel és ónnal 88 1/2: 10: 1 1/2 arányban keverik. Az ömledéket öntés előtt farudakkal

megkeverik, hogy a keletkező gázok a bronzban levő oxidokat kiűzzék. Öntés után 4-6% anyagveszteség mutatható ki.”

Azért is idéztem ezt a forrást, mert amit az olvadék kezeléséről leír, az teljesen megegyezik Vanoccio Biringuccio 1540-es kiadású könyvében [3; 258-259. o.] közöltekkel. Bizonyos részletekben a 16. századi szerző alaposabb, pontosabb leírást ad. Az általa közöltek rövidítve, átdolgozva a következők:

„Rendkívül fontos a forma tetején nyílásokat készíteni a levegő eltávozására. A bronzot olyan helyen kell a formába vezetni, ahol minden irányba folyhat. Ha bizonyos bonyolultabb részek kitöltése bizonytalan, a fém egy részét külön csatornán közvetlenül oda lehet vezetni.

A formát az öntőgödörben kell összeállítani, gondosan illesztve és erősen összekapcsolva horgokkal és drótokkal. Rendkívül fontos a mag biztonságos rögzítése, hogy a folyékony fém meg ne emelje. A formát földdel rétegenként körbe kell döngölni, és a fémet vezető csatornákat elhelyezni.

Ezután a fémet vezető csatornákat elő kell melegíteni. Gesztenyepálcával kell keverni az olvadt fémet, az esetleges meg nem olvadt részeket ezzel ki lehet tapintani. Ezután vasrudat merítve a fémbe, ha arról a bronz lefut, a fém már elég meleg. Ekkor kell próbát venni az ötvözetből, és ha kevés benne az ón, azt pótolni.”

Figyelemre méltó, hogy a 16. század közepétől a 19. század végéig a színesfém-metallurgia ezen szelete semmit nem változott.

II.4.1 Az alkalmazott anyagvizsgálati módszerek ismertetése

A fentebb vázolt két problémának természetesen van egy viszonylag kézenfekvő feloldása: a fennmaradt ágyúk anyagából kell mintát venni, és a mai kor adta lehetőségeket kihasználva olyan vizsgálatok alá vetni, amelyek megadják a pontos ötvözetet és a szövetszerkezet felderítésével információt adnak az öntés során lezajlott folyamatokról.

Mivel a vizsgálandó egyedek egyben műtárgyak is, a mintavétel kérdése etikai problémákat vet fel, a mintavételezés módja és mennyisége erősen behatárolt. Csiszolatok készítéséhez alkalmas nagyságú minta kiemelése csak rendkívül indokolt esetben kivitelezhető. [63; 9. o.]

A Poldi keménységmérés [42; 91. o.]

A Poldi keménységmérés egy összehasonlító keménységmérési eljárás. A vizsgálat során egy kalapács segítségével dinamikus terhelést hozunk létre, amely hatására egyforma nagyságú, de ismeretlen terheléssel nyomjuk a szűrő szerszámot a vizsgált darabba és egy ismert keménységű etalonba. (Lásd: 6. ábra) A szűrőszerszámunk egy üveggkeményre edzett acélgolyó, amelynek átmérője 10 mm. Az etalon keménysége Brinell keménységben van megadva. Az alábbi összefüggés alapján meghatározott keménység értéke hasonló pontosságú a Brinell keménységhez.

$$\frac{HB_{mdb}}{HB_{etalon}} = \frac{\frac{2 \cdot 0,102 \cdot F}{D \cdot \pi \cdot (D - \sqrt{D^2 - d_{mdb}^2})}}{\frac{2 \cdot 0,102 \cdot F}{D \cdot \pi \cdot (D - \sqrt{D^2 - d_{etalon}^2})}} = \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{etalon}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_{mdb}^2}} = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d_{etalon}}{D}\right)^2}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d_{mdb}}{D}\right)^2}}$$

1. képlet [42; 86-87. o.]

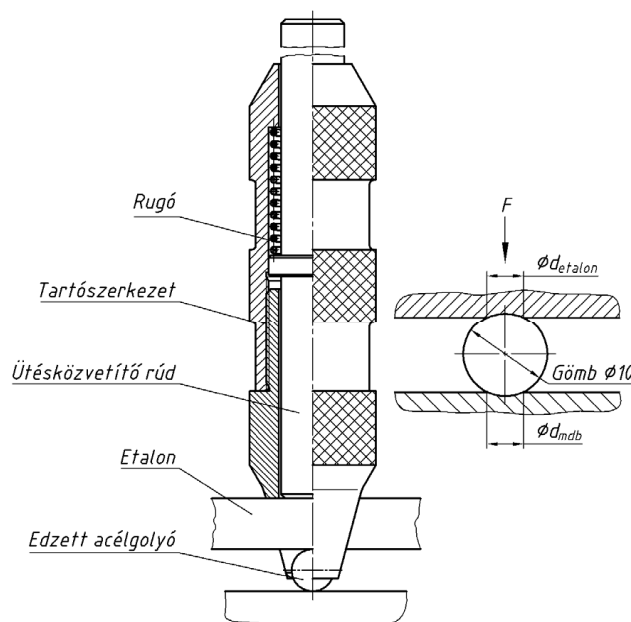
Ahol:

F a terhelőerő kp-ban, D az acélgolyó átmérője, d pedig a benyomódás átmérője.

Egyszerűsítve:

$$HB_{mdb} \cong HB_{etalon} \cdot \left(\frac{d_{etalon}}{d_{mdb}}\right)^2$$

2. képlet [42; 91. o.]



6. ábra: Poldi keménységmérő vázlata¹⁸

¹⁸ Kecskés Bertalan tanszéki mérnök rajza, GAMF 2007.

Mivel az eljárás során egy adott Brinell keménységű etalonhoz hasonlítunk, a kapott eredményt is Brinell keménységként értelmezzük. A mérés során az etalonon kapott lenyomat átmérője nem haladhatja meg a 4,2 mm-t és a lenyomatok között minimum 15 mm távolságnak kell lennie. A Poldi keménységnek külön jelölése nincs, így a Brinell-keménységgel azonos jelölést használunk (HB).

A Poldi keménységmérés előnyei a következőkben foglalhatók össze:

- egyszerűen és gyorsan elvégezhető a vizsgálat,
- helyhez kötött, vagy nagyméretű darabok esetén használható.

Az eljárás hátrányai:

- az acél golyós szűrőszerszám miatt a keménység értékét maximum 450 HB keménységig tudjuk meghatározni,
- a vizsgálat előkészítése időigényes,
- a lenyomat méretének lemérése szubjektív hibákkal terhelt,
- vékony kergek, vékony darabok keménységmérésére nem alkalmas,

A vizsgálat elsősorban nagyméretű, helyhez kötött alkatrészek helyszíni méréséhez terjedt el.

A pásztázó elektronmikroszkóp [64]

A pásztázó elektronmikroszkóp (Scanning Electron Microscope, SEM) olyan berendezés, amelyben egy jól fókuszált elektronnyaláb végigpásztázza a vizsgálandó test felületét. Ennek a sugárzásnak a hatására elektronok lépnek ki a minta felszínközeli rétegeiből.

A pásztázással szinkronban egy másik elektronnyaláb egy katódsugárcső (monitor) képernyőjét pásztázza, a mintából kilépő elektronok számával arányos intenzitással. Így a monitoron megjelenik a próbatest felszínének képe. A nagyítást a két pásztázás méretaránya adja.

A pásztázó elektronmikroszkóp népszerűsége elsősorban az elérhető nagyításnak és mélységélességnek köszönhető. Az optikai mikroszkóppal szemben, mellyel maximum 2000-szeres nagyítás és 1-10 μm mélységélesség érhető el, a SEM nagyítása elérheti a 200000-szerest, mélységélessége pedig akár a 3-4 mm-t is, melynek segítségével rendkívül plasztikus, már-már térhatásúnak tűnő képek készíthetők.



A beérkező elektronnyaláb a minta anyagával kölcsönhatásba lépve egy sor, az anyagra jellemző válaszjelet hoz létre.

A mintából kilépő, 50 eV-nál kisebb energiájú elektronokat szekunder elektronoknak nevezzük. Túlnyomó részük úgy keletkezik, hogy a besugárzó nyaláb leszakítja a minta atomjainak legkülső héján lévő, viszonylag lazán kötött elektronokat, amelyek aztán elhagyják a minta felszínét. Természetesen nem csak a besugárzó nyaláb hozhat létre szekunder elektronokat, hanem az anyag mélyebb rétegeiben keletkező visszaszórt elektronok is.

54

Visszaszórt elektronok

A visszaszórt elektronok a minta felszínéből kilépő 50 eV-nál nagyobb energiájú elektronok. A belépő elektronnyaláb elektronjai rugalmasan szóródnak a minta atomjainak Coulomb-terében. A mintából kilépő visszaszórt elektronok száma - egyebek mellett - a minta atomjainak rendszámától is függ: a nagyobb rendszámú atomok nagyobb visszaszórási hányadot eredményeznek. Emiatt a visszaszórt elektronokból előállított képen a magasabb átlagos rendszámú területek világosabbnak látszanak. A visszaszórt elektronok nagy felbontású képek készítésére nem alkalmasak, mivel nagy energiájuk révén a minta nagyobb térfogatából képesek a felszínre jutni, így a felület finom egyenetlenségei nem képezhetők le segítségükkel.

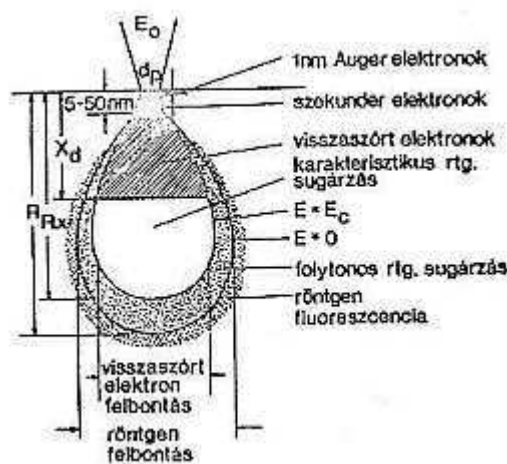
Karakterisztikus röntgensugárzás

A beeső elektronnyaláb képes a minta atomjainak valamelyik belső elektronpályájáról egy elektront kiűteni. Az így megüresedő elektronpályára egy külső héjon lévő elektron "visszaugorhat". Az így felszabaduló energia (azaz a külső és a belső elektronpálya energiáinak különbsége) röntgenfoton formájában kisugárzódik. Mivel egy adott atomfajtánál az elektronpályák energiái meghatározott értékűek, a kisugárzott röntgenfoton energiája (illetve az $E = h\nu = hc/\lambda$ egyenlet alapján a hullámhossza) jellemző lesz az adott atomfajta.

Az energiadiszperzív röntgenanalízis [64]

Ha egy adott mintából kilépő karakterisztikus röntgensugárzást energia (vagy hullámhossz) szerint felbontunk, meghatározhatjuk a mintát alkotó atomok fajtáit, az egyes energia- ill. hullámhosszértékekhez tartozó röntgenintenzitás összehasonlításával pedig relatív mennyiségi analízist végezhetünk. Ezt a módszert energia- ill. hullámhosszdiszperzív röntgenanalízisnek nevezzük. A karakterisztikus röntgensugárzás körülbelül ugyanakkora térfogatból képes a minta felszínére jutni, mint a visszaszórt elektronok.

A következő ábrán (8. ábra) láthatjuk az egyes válaszjelek egymáshoz viszonyított gerjesztési térfogatát, amelynek méretét a beeső elektronok energiája mellett a vizsgált anyag atomjainak rendszáma is befolyásolja.

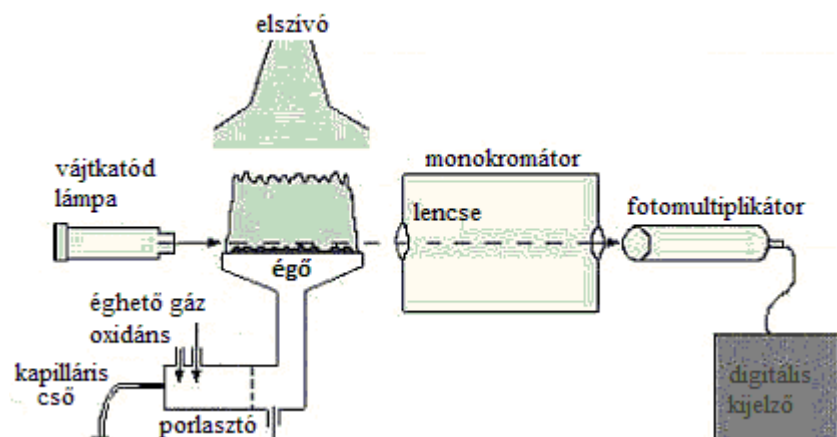


8. ábra: Gerjesztési térfogat [64]

A gyakorlatban az energiadiszperzív röntgenanalízis a korszerű eszközöknek köszönhetően gyorsan és egyszerűen elvégezhető vizsgálat. A mintákat – elektromosan vezető ragasztó segítségével - a tárgyasztalra rögzítjük, az elektronmikroszkóp vákuumkamrájában elhelyezzük, majd a levegő kiszivattyúzása után a vizsgálati területet az elektronmikroszkóppal megkeresve röntgensugárzást gerjesztünk. A megfelelő segédprogramok közreműködésével a gerjesztési csúcsokat definiáljuk, ezeknek a relatív mennyiségét a program megadja. Végül a kapott adatokat a későbbi feldolgozás érdekében rögzítjük.

Az atomabszorpciós spektrometria [65]

Atomabszorpció akkor jön létre, amikor egy alapállapotú atom adott hullámhosszú elektromágneses sugárzást nyel el és ezáltal gerjesztett állapotba kerül. Az alapállapotú atomok a rezonanciafrekvenciájuknak megfelelő energiát nyelik el, és a rezonanciaabszorpció révén gyengítik az elektromágneses sugárzást. Az energia abszorpciója gyakorlatilag közvetlenül a jelenlévő atomok számától függ. Az atomabszorpciós spektrometria olyan technika, amely lehetővé teszi a mintából származó gőzállapotú atomok által elnyelt elektromágneses sugárzás mérése révén a minta egy adott eleme koncentrációjának meghatározását. A meghatározást a kérdéses elem egyik abszorpciós (rezonancia-) vonalának megfelelő hullámhosszon végezzük. A Lambert-Beer törvény szerint az elnyelt sugárzás mennyisége arányos az elem koncentrációjával.



9. ábra: A készülék felépítése [66]

A készülék a következő alapvető részekből áll:

- sugárforrás;
- mintaadagoló egység;
- atomizáló egység;
- monokromátor vagy polikromátor;
- detektor;
- adatfeldolgozó egység.

A készüléket rendszerint háttérkorrekciós rendszerrel szerelik fel. Sugárforrásként vájtkatód lámpák vagy elektród nélküli kisülési csövek (EDL) használatosak. Az ilyen lámpák emissziós spektruma a meghatározandó elem nagyon keskeny, kb. 0,002 nm félértékszélességű vonalaiból áll.

Lángatomizációs technika

A lángatomizációs egység egy pneumatikus aeroszol-előállító kiegészítő elemmel ellátott porlasztó rendszerből, egy gázáramlás szabályozó egységből és egy égőfejből áll. A mintegy 2000-3000 K hőmérséklet előállítása általában egy éghető gáz és egy égést tápláló gáz elegyével történik. Éghető gázként propán, hidrogén vagy acetilén, égést tápláló gázként levegő vagy dinitrogén-oxid használható. Az égőfej felépítése az alkalmazott gázokhoz igazodik, amelyek áramlási sebessége szabályozható. A beporlasztott vizsgálati és összehasonlító oldatokat megsavanyított vízzel készítjük. Szerves oldószerek is használhatók, amennyiben biztosítjuk, hogy az oldószer nem zavarja a láng stabilitását.

II.4.2. A Hadtörténeti Múzeum műtárgyain végzett vizsgálatok [63; 9-10. o.]

A vizsgált tárgyak között 8 db elöltöltő, a 17-18. században öntött ágyú, 1 db 19. századi hátultöltő ágyú és két darab 15. századi ágyúkamra szerepel. A vizsgált tárgyak jól képviselik a bronzból öntött ágyúk történeti fejlődését.



7. kép: Osztrák, elöltöltő 24 fontos ágyúcső (A szerző fényképe)

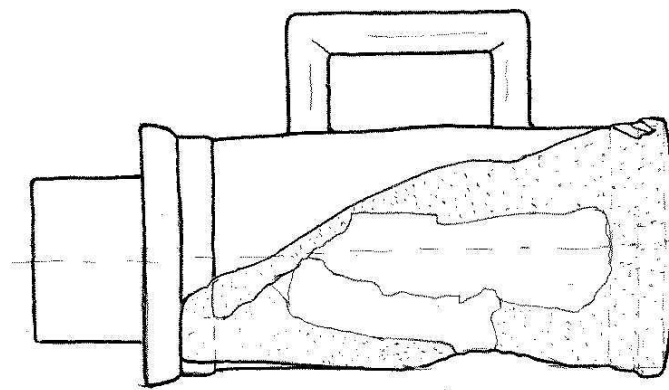
A műtárgyak szemrevételezése egységes képet adott: az oxidációs behatásoktól és az utólagos sérülésektől eltekintve homogén, zárt felületeket és pontos, művészien kivitelezett alakadást találtam. Kivételt ez alól két kínai ágyú és egy törött ágyúkamra vizsgálata hozott: mindhárom műtárgy felülete erősen porózus, lunkeres. Kisebb, felülettel érintkező gázhólyagok találhatók a többi ágyú némelyikén is, de ha vannak ilyenek, elhelyezkedésük egyértelmű irányultságot mutat: a torkolat közelében még jól láthatóak, az ágyú közepe táján alig-alig észrevehetőek, a löporkamra és a csőfar környékén pedig nincsenek látható méretűek. Ez az elhelyezkedés az ágyúk függőleges, torkolattal felfelé való öntésére utal.

Némelyik ágyún (ilyen például a török 17 cm-es ágyúcső) a csőfar közelében, nagyjából a gyújtólyuk csőfartól való távolságának megfelelően vasoxid látható a felületen. Ez a Biringuccio által javasolt vas magtámaszok meglétének bizonyítéka.

A viszonylag kis behatással járó keménységmérést mindegyik, vizsgálatba bevont tárgyon elvégeztem. Kiválasztottam egy jellemzőnek mondható műtárgyat, az osztrák 24 fontos ágyút (Lásd: 7. kép) és a szakrestaurátorral folytatott konzultáció alapján, javítható károsodást okozva több mintát vettem csigafúróval. A mintákat elektronmikroszkóppal vizsgáltam, és megkísértem energiadiszperzív röntgenanalízis segítségével képet kapni az összetételről és annak változásáról a mintavétel helyének függvényében. A kapott eredmények alapján (inkább a forgács képét semmint a pontatlannak bizonyult mért

összetételt figyelembe véve) választottam ki egy minta kiemelésére alkalmas, a megszokott kiállítási körülmények között nem látható pontot az említett ágyún.

Az osztrák 24 fontos ágyú anyagából nyert csiszolatról elektronmikroszkóppal készültek felvételek. A szabadabban vizsgálható törött ágyúkamra (Lásd: 10. ábra) anyagáról mind fény-, mind elektronmikroszkópos felvételek rendelkezésre állnak.



10. ábra: középkori hátultöltő ágyú ágyúkamrája (A szerző rajza)

A pontos összetétel meghatározása atomabszorpciós spektrometria segítségével történt. Ebbe a vizsgálatba belevontuk az átlagostól eltérő keménységet mutató magyar 24 fontos ágyút is.

Az elvégzett keménységmérések eredményei

A keménységmérések a megszokottnál jóval nagyobb szórást mutattak egy-egy tárgyra nézve. (Lásd: 10-20. táblázat) A nagy szórásért mikroporozitás, (Lásd: 12. kép) az óntartalom helyi változásai (Lásd: 10. táblázat) és a lehülési sebességben a nagyméretű magvasak okozta különbség a felelős.

Az értékek azonban általában jóval magasabbak az ötvözet összetétele alapján elvárt keménységeknél: a szabvány 60 HB keménységet ír elő öCuSn10 ötvözetre, míg a kapott eredmények többsége 110-130 HB közötti. Ennek oka a rendkívül lassú lehülés, ami lehetővé teszi az egyensúlyi állapotdiagramot inkább megközelítő szövetszerkezet kialakulását, vagyis a vegyületfázisok megjelenhetnek a kristályhatárokon. (Lásd 15. kép: a csiszolatok

visszaszórt elektronnal készült elektronmikroszkópos felvételein láthatók, hogy a kristályhatárokon nagyobb rendszámú atomokból álló részek vannak.)

10. Táblázat: Osztrák, elöltöltő 15 cm-es ágyúcső keménysége

Osztrák, elöltöltő 24 fontos (15 cm-es) ágyúcső <i>Leltári száma: 2156/pu; öntötte Leopold Halil Bécsben, 1726-ban, hossza: 365 cm</i>							
Ssz.	Mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB	HB 5. nélkül	3 leg-kisebb	3 leg-nagyobb
1	1,6	3,9	3,2	109,7383	109,7383	109,7308	
2	1,6	4,2	3,1	88,79989	88,79989	88,79989	
3	104	3,5	3	119,7551	119,7551		
4	104	3,5	2,7	97,00163	97,00163	97,00163	
5	204,5	2,5	3,2	267,0592			
6	204,5	2,8	3	187,1173	187,1173		187,1173
7	323	2,7	3,2	228,9602	228,9602		228,9602
8	323	3,5	3	119,7551	119,7551		119,7551
átlag				152,2734	135,8754	98,51077	178,6109

11. Táblázat: Magyar 15 cm-es elöltöltő ágyúcső keménysége

Magyar 24 fontos (15 cm-es) elöltöltő ágyúcső <i>Leltári száma: 2157/pu; öntötte Zechenter Antal Budán, 1729-ben, hossza: 365 cm</i>				
Ssz.	Mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB
1	32	4	2,7	74,26688
2	151	3,5	2,5	83,16327
3	303,5	3,6	2,6	85,0216
átlag				80,81725

12. Táblázat: Osztrák-magyar 1880 M 15 cm-es ostromágyú keménysége

Osztrák-magyar 1880 M 15 cm-es Uchatius-féle ostromágyú <i>Gyári száma: 106521, készült 1894-ben, hossza: 200 cm</i>				
Ssz.	Mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB
1	15,5	2,8	2,6	140,5459
2	107,5	3	2,6	122,4311
3	194,5	3,4	3	126,9031
átlag				129,96

13. Táblázat: Modenai 15 cm-es elöltöltő ágyúcső keménysége

Modenai 24 fontos (15 cm-es) elöltöltő ágyúcső (Leonello) <i>Leltári száma: 2158/pu; készült 1752-ben, hossza: 355 cm</i>				
Ssz.	Mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB
1	19	2,9	2,9	163
2	166,5	3,5	2,6	89,94939
3	308,5	3,9	3	96,4497
átlag				116,4664

14. Táblázat: Savoyai 10 cm-es elöltöltő ágyúcső keménysége

Savoyai 8 fontos (10 cm-es) elöltöltő ágyúcső (Edipo) <i>Leltári száma: 2155/pu; készült 1738-ban, hossza: 285 cm</i>				
Ssz.	Mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB
1	20	3,3	2,8	117,348
2	122	3,5	3	119,7551
3	256	3,3	2,8	117,348
átlag				118,1504

15. Táblázat: Kínai 12,5 cm-es elöltöltő ágyúcső keménysége

Kínai 12,5 cm-es elöltöltő ágyúcső <i>Leltári száma: 2152/pu; készült 1689-ben, hossza 302 cm</i>					
Ssz.	Mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB	HB pótlás nélkül
1	36	2,9	2,6	131,0202	131,0202
2	(pótlás) 135	3	2,7	132,03	
3	142,5	3,8	2,7	82,29017	82,29017
4	276,5	3,1	2,8	132,9781	132,9781
átlag				119,5796	115,4295

16. Táblázat: Kínai 14 cm-es elöltöltő ágyúcső keménysége

Kínai 14 cm-es elöltöltő ágyúcső <i>Leltári száma: 2151/pu; készült 1689-ben, hossza 330 cm</i>				
Ssz.	Mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB
1	22	2,9	2,9	163
2	162	2,7	2,3	118,2812
3	275	3,5	2,7	97,00163
átlag				126,0943

17. Táblázat: Francia 11 cm-es elöltöltő ágyúcső keménysége

Francia 12 fontos (11 cm-es) elöltöltő ágyúcső (Narses) <i>Leltári száma: 2154/pu; készült 1685-ben, hossza 305 cm</i>				
Ssz.	Mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB
1	21	3	2,7	132,03
2	153	3,1	2,7	123,6493
3	273	3	3	163
átlag				139,5598

18. Táblázat: Török 17 cm-es elöltöltő ágyúcső keménysége

Török 17 cm-es elöltöltő ágyúcső (Hosszú Hasszán) <i>Leltári száma: 2153/pu; készült 1683-ban, hossza 305 cm</i>				
Ssz.	mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB
1	22	3,2	2,7	116,042
2	209	3,6	2,5	78,60725
3	404,5	3,6	3	113,1944
átlag				102,6146

19. Táblázat: Középkori hátultöltő ágyú ágyúkamrájának keménysége

Középkori hátultöltő ágyú 3,5 cm-es ágyúkamrája <i>Készült a XV. században, hossza 31,5 cm</i>				
Ssz.	Mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB
1		2,7	2,8	175,2977
2		2,5	2,8	204,4672
átlag				189,8824

20. Táblázat: Középkori hátultöltő ágyú törött ágyúkamrájának keménysége

Középkori hátultöltő ágyú 3,5 cm-es ágyúkamrája (törött) <i>Készült a XV. században, hossza 30,5 cm</i>				
ssz.	mérés helye a torkolattól (cm)	Dx	De	HB
1		2,8	2,9	174,8508
2		2,8	2,8	163
átlag				168,9254

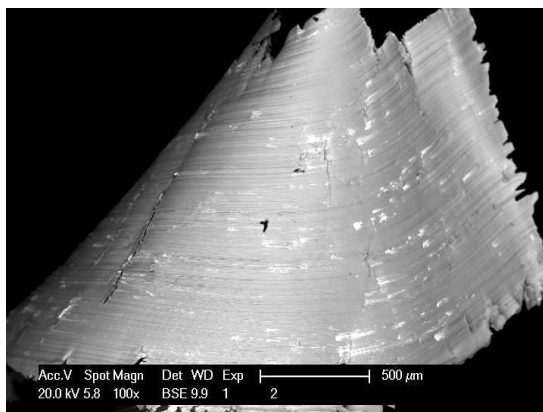
A mikroszkópi vizsgálatok eredményei

Fúróforgács vizsgálata elektronmikroszkóppal

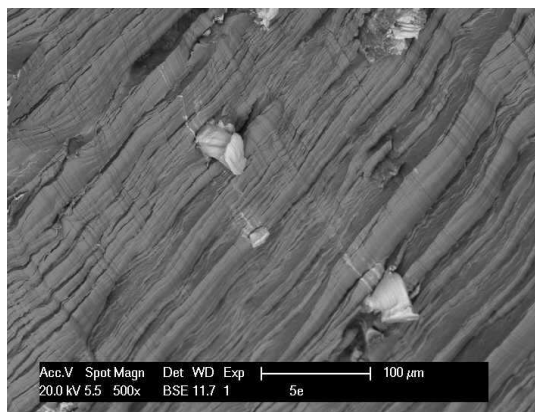
Az első vizsgálatok a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem anyagvizsgáló laborjában, Philips XL 30 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal készültek az osztrák 24 fontos ágyúból (Lásd: 7. kép, 10. táblázat) csigafúróval vett mintákról.

Az eredmények

Jól láthatóak a bronzba ágyazott ólomrögök a visszaszórt elektronokkal készült képeken, (Lásd 9-10. kép) és megfigyelhetők a forgácsok eltérő töretei. (Lásd: 8, 17. kép)



8. kép: Fúróforgács ólomnyomokkal



9. kép: Fúróforgács belső felszíne

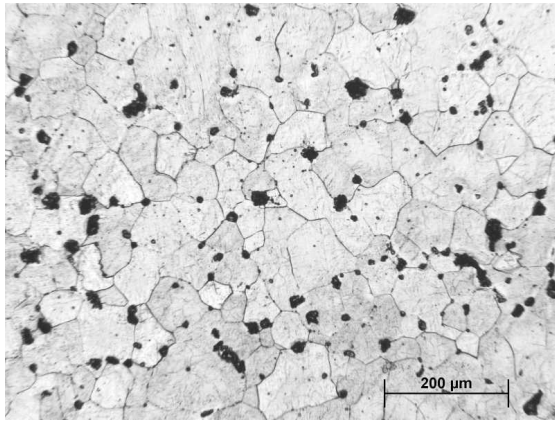
(A mikroszkópi képek a BMGE anyagvizsgáló laborjában készültek, a továbbiakban ezt külön nem jelölöm.)

A törött ágyúkamra vizsgálata fémmikroszkóppal

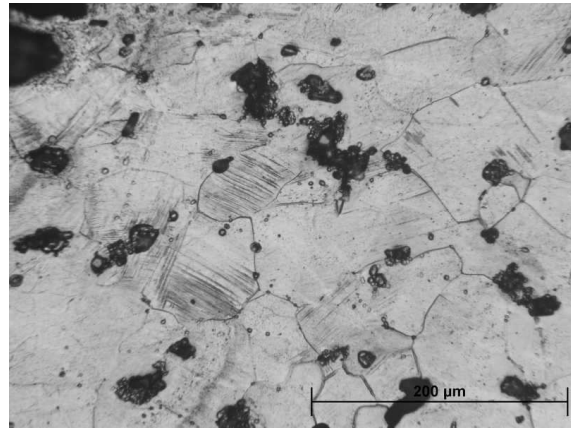
Ezután a törött ágyúkamrából készült csiszolat fémmikroszkópos vizsgálata következett. A vizsgálatok a Budapesti Gazdaságtudományi és Műszaki Egyetem anyagvizsgáló laborjában, Olympus PG3 fémmikroszkóppal készültek. Az anyag porozitása miatt a megfelelő maratás rendkívül nehéz volt, a bemutatott képeken is látszanak a „túlmart” üregek. A marószert 5%-os kristályos ferriklorid volt.

Az eredmények

Látható, hogy a bronz nem dendrites szerkezetű (Lásd: 11. kép) illetve, hogy az öntvény igen porózus. A kamrát károsító robbanás deformációkat hozott létre a kristályokon belül. (Lásd: 11. kép)



10. kép: Szövetszerkezet 100-szoros nagyítással



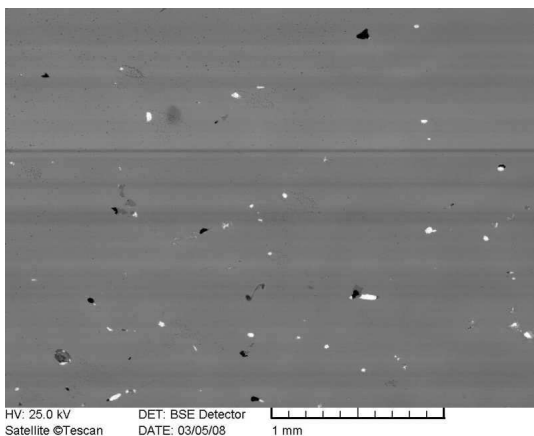
11. kép: Szövetszerkezet 200-szoros nagyítással

Ágyú és ágyúkamra vizsgálata elektronmikroszkóppal

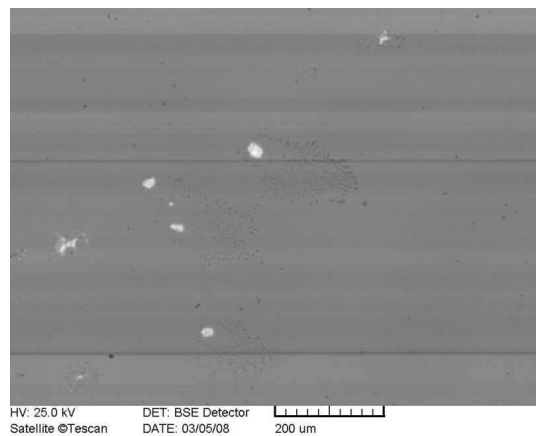
A vizsgálatok a Miskolci Egyetem anyagvizsgáló laborjában, AMRAY 18301 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal készültek, az osztrák 24 fontos ágyú (7. kép.) illetve a törött ágyúkamra (10. ábra) anyagából készült csiszolatokról.

Az eredmények

Látható az ágyú anyagának egyenletes porozitása és az anyagban jól eloszlott ólomzárványok. (Lásd: 12-13. kép) Kiugróan nagyméretű pórusok vagy egy helyre csoportosuló zárványok nem láthatók: az anyag szilárdsága megfelelő. A szövetszerkezet nem dendrites, ennek oka a rendkívül lassú (3 – 5 nap) lehűlésben keresendő. [40; 31. o.]

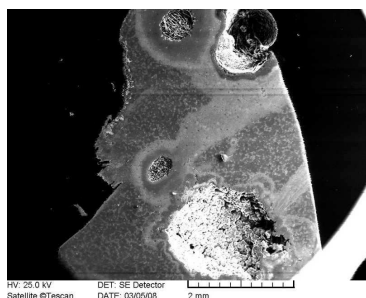


12. kép: Ágyú szövetszerkezete 100-szoros nagyítással

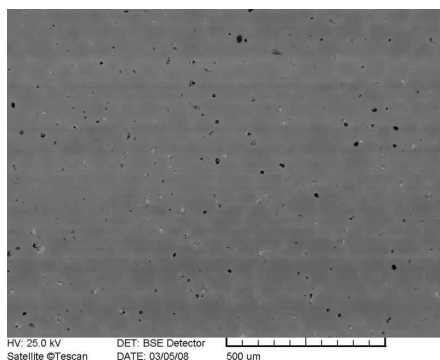


13. kép: Ágyú szövetszerkezete 300-szoros nagyítással

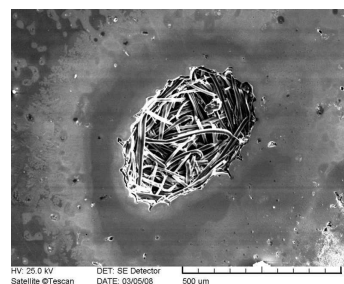
Az ágyúkamra anyaga gyökeresen más képet mutat: nagyméretű zárványok, erős pórusosság tapasztalható. (Lásd: 14-15. kép) Ólomból láthatóan kevesebbet tartalmaz ez a minta. Külön felhívom a figyelmet az elszenesedett szerves szálakat (haj?) tartalmazó zárványra (Lásd: 16. kép) ami a formázóanyagból sodródhatott be a fémbe, és így közvetlen bizonyíték a formázásra használt agyag állati (emberi) eredetű szálakkal történő megerősítésére. A lunkereket valószínűleg gáz tölthette ki, a pórus felületén levő szemcsék elhelyezkedéséből következtethetünk erre. (Lásd: 14. kép)



14. kép: Az ágyúkamra anyaga 40-szeres nagyítással



15. kép: Az ágyúkamra anyaga 200-szoros nagyítással



16. kép: Az ágyúkamra anyaga 250-szeres nagyítással

Fúróforgács vizsgálata energiadiszperzív röntgenanalízissel

A vizsgálatokat a Budapesti Gazdaságtudományi és Műszaki Egyetem anyagvizsgáló laborjában, Philips XL 30 típusú pásztázó elektronmikroszkópon, 20 kV-os gyorsítófeszültséggel végeztük.

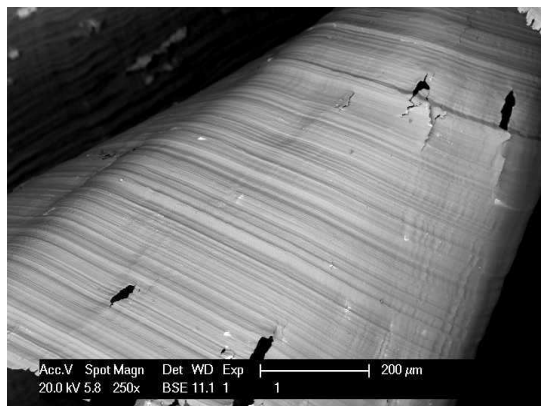
A mintákat egyetlen ágyúból, (7. kép) 5,5 mm-es csigafúró segítségével, 11 helyről, minden helyütt két különböző mélységből emeltük ki. (Lásd: 21. táblázat)

Az eredmények

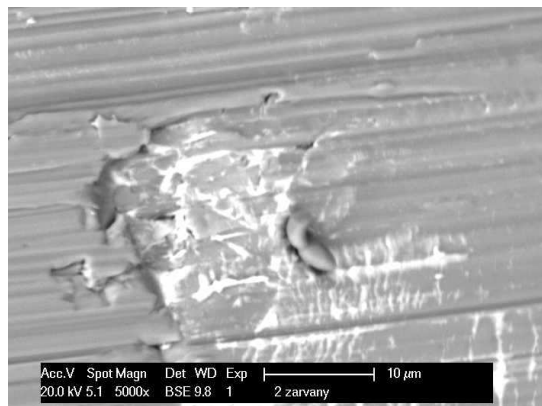
A vizsgálatok csak részleges eredményt hoztak: az összetétel-adatok között különös súllyal jelenik meg az ólomtartalom. Mind az ólom mennyiségének szórása a mintákban, mind pedig az átlagos ólomtartalom indokolatlanul magas. A képeket tekintve a pontatlanság oka nyilvánvaló: a fúró az ötvözetben jelenlevő ólomgöböket a forgács felszínére kente. (Lásd: 8. kép)

Az ólomzárványok jelenlétét jól mutatja az 5e jelű mintáról készült, a forgács belső oldalát mutató kép, (Lásd: 9. kép) amelyen az ólom az összenyomott anyagfélből kinyomódott. A 10e jelű (Lásd: 17. kép) minta alacsonyabb ólomtartalom mellett, illetve

annak okaként jellegzetesen töredezett forgácsot mutat. A minták arra utalnak, hogy az ágyú anyaga nem homogén.

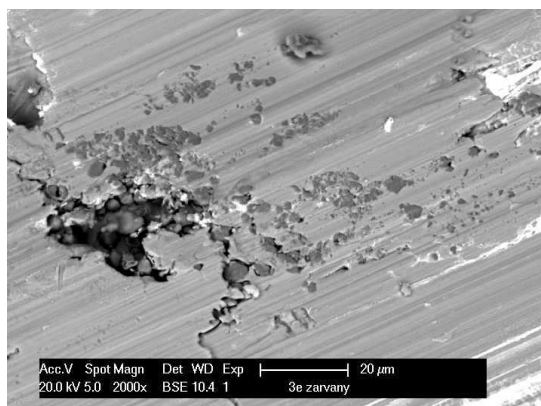


17. kép: fúróforgács

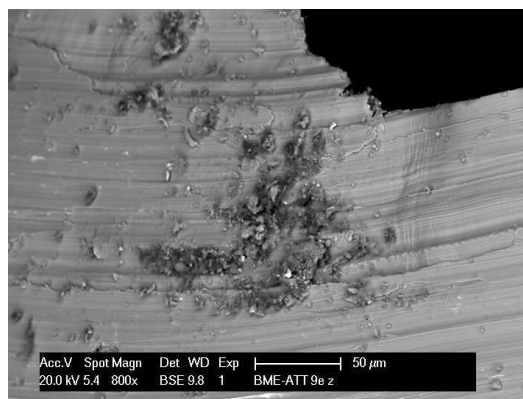


18. kép: Szilíciumtartalmú rög

Többféle zárvány látható az elemzett anyagban: a már említett ólomgöbök mellett találtunk szilíciumrögöt, (Lásd: 18. kép) magas vastartalma (60,82%) mellett cinket (7,34%) és oxigént (11,31%) tartalmazó, (Lásd: 19. kép) valamint valószínűleg agyagbesodródásból származó (4,93% O, 0,85% Mg, 1,1% Al, 4,98% Si, 2,96% Pb, 8,8% Sn, 3,58% Ca, 0,9% Fe, 70,67 % Cu tartalmú) zárványt is. (Lásd: 20. kép)



19. kép: magas vastartalmú zárvány



20. kép: agyagnyomok

21. Táblázat: Osztrák, elöltöltő 24 fontos ágyúcső anyagának elemzése

Osztrák, elöltöltő 24 fontos ágyúcső								
<i>Leltári száma: 2156/pu; öntötte Leopold Halil Bécsben, 1726-ban</i>								
sorszám	távolság a torkolattól (cm)	a mintavétel mélysége (mm)		összetevők				
		-től	-ig	Cu	Sn	Pb	Si	Fe
1e	1,6	0	5,55	92,22	6,22	1,06	0,2	0,29
1		5,55	5,7	94,91	5,09	0	0	0
2e	9,3	0	7	90,49	6,56	0,58	0,11	0,27
2		7	7,75	84,24	8,88	3,31	0,35	0,22
3e	32	0	5,45	85,74	7,44	6,82	0	0
3		5,45	6,5	90,75	7,32	1,92	0	0
4e	102,5	0	5,1	87,37	8,45	4,18	0	0
4		5,1	5,8	89,06	7,75	3,2	0	0
5e	162,5	0	5,5	87,52	7,88	4,6	0	0
5		5,5	6,6	90,2	6,74	3,07	0	0
6e	202,5	0	3,6	89,56	7,62	2,82	0	0
6		3,6	5,6	86,35	8,97	4,68	0	0
7e	262,5	0	4,2	85,35	8,71	5,94	0	0
7		4,2	6	88,42	7,74	3,84	0	0
8e	302,5	0	3,6	88,23	7,75	4,01	0	0
8		3,6	6	83,96	8,69	7,35	0	0
9e	321,5	0	4,8	89,01	8,67	2,31	0	0
9		4,8	5,8	87,2	7,96	4,84	0	0
10e	csőfargomb	0	3,6	90,18	8,65	1,17	0	0
10		3,6	4,8	89,3	9,04	1,69	0	0
11e	csőcsap	0	3	90,07	7,82	2,11	0	0
11		3	4,4	89,87	7,84	2,29	0	0
átlag				88,64	7,03	3,26	0,03	0,04

Ágyúk anyagának vizsgálata atomabszorpciós spektrometriával

A vizsgálatok a Miskolci Egyetem anyagvizsgáló laborjában, Philips PYE UNICAM PU 9100 típusú berendezéssel készültek. A mintákat csigafúróval, az osztrák 24 fontos ágyúból (Lásd: 7. kép, 10. és 21. táblázat) és a magyar 24 fontos ágyúból (Lásd: 11. táblázat) vettem.

A nedves kémiai előkészítés menete: 0,5 g forgácsot 10 cm³ 1:1 HCl és 5 cm³ 1:1 HNO₃ keverékében feloldunk. A nitrózus gőzök kiforrálása után 50 cm³-es lombikban a jelig desztillált vízzel feltöltve átmossuk.

A mérés lángatomabszorpciós módszerrel történik, Cu és Pb esetében sztöchiometrikus levegő-acetilén lángban, Sn esetén redukáló levegő-acetilén lángban, az adott elem ajánlott mérővonalain.

Az eredmények

Az elvégzett anyagvizsgálatok (Lásd: 22-23. táblázat) szerint a vizsgált korszakban használt bronz 7,7 - 9 százalék ónt, és 0,4 – 0,8 százalék ólmot tartalmazott. A kapott eredmények fényében a magyar ágyú eltérő keménységéért nem az összetételben tapasztalható eltérés a felelős, hanem nagy valószínűséggel az öntvény gyorsabb lehűlése, ami megakadályozta a vegyületfázisok megjelenését.

22. Táblázat: Osztrák 24 fontos (15 cm-es) elöltöltő ágyú összetétele

Minta	Cu tömeg%	Sn tömeg%	Pbtömeg%
Osztrák 24 £ / 2	88,8	9,01	0,71
Osztrák 24 £ / 2e	88,6	8,90	0,68
Osztrák 24 £ / 5	90,1	7,98	0,44
Osztrák 24 £ / 5e	90,5	8,56	0,61
Osztrák 24 £ / 9e	88,9	8,70	0,75
Osztrák 24 £ / 9e1	88,4	8,96	0,76
átlag	89,2	8,7	0,66

23. Táblázat: Magyar 24 fontos (15 cm-es) elöltöltő ágyúcső összetétele

Minta	Cu tömeg%	Sn tömeg%	Pbtömeg%
Magyar 24 £	90,7	7,69	0,79

II.4.3. Kísérlet az agyagformába öntött bronz dermedési jellemzőinek meghatározására

[63; 10-12. o.]

Mivel égetett agyagformába bronzot napjainkban csak harangkészítők öntenek, az ő mesterségük pedig nagyban a hagyományokra és csak kevésbé az elméleti számításokra épül, a szakirodalomban nem lehet adatokat találni ilyen öntvények dermedési számításaihoz. A továbblépés érdekében kísérletre volt szükség a dermedési állandó meghatározására.

A kísérletet Gombos Miklós harangöntő mester műhelyében, a harangokhoz hasonlóan, szárított, földbe ágyazott agyagformába öntve, a hőmérséklet regisztrálásával végeztük (Lásd: 1. melléklet) öCuSn20 összetételű „harangbronz” ötvözzel. Digitális berendezés regisztrálta a hőmérsékletet három csatornán, az öntvény közepére, a belső formafalhoz és a formafalba 4 cm mélységben beépített hőelemmel, 30 másodpercenkénti mintavétellel.

A próbatest dermedési idejének (T_d) meghatározása

A megrajzolt lehülési görbéből (Lásd: 2. melléklet) kitűnik, hogy a fém megszilárdulása 14 óra 01 perc 30 másodpercnél fejeződött be. Ha az öntés kezdetének 13 óra 46 perc 0 másodpercet tekintjük, ez 15 perc 30 másodperces dermedési időt jelent,

$$t_d = 15,5 \text{ min}$$

A próbatest redukált falvastagságának ($R_{próba}$) meghatározása

A próbatest redukált falvastagsága ($R_{próba}$):

$$R_{próba} = \frac{V}{A} = \left(\frac{D^2 \Pi}{4} \cdot h \right) \div \left(\frac{D^2 \Pi}{4} + D \cdot \Pi \cdot h \right), \quad 3. \text{ képlet [40; 19. o.]}$$

ahol V = térfogat, A = felület

A próbatest átmérője: $D = 120 \text{ mm} = 12 \text{ cm}$

A próbatest magassága: $h = 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm}$

$$R_{próba} = \left(\frac{12^2 \Pi}{4} \cdot 20 \right) \div \left(\frac{12^2 \Pi}{4} + 12 \cdot \Pi \cdot 20 \right) = 2,6 \text{ cm}$$

A dermedési állandó (m) meghatározása

$$m = \frac{R}{\sqrt{t_d}} \quad 4. \text{ képlet [40; 19. o.]}$$

$$m_{próba} = \frac{2,6}{\sqrt{15,5}} = 0,66 \frac{cm}{\sqrt{min}}$$

A kiválasztott ágyú dermedési idejének ($T_{d, \text{ágyú}}$) meghatározása

A szakirodalom [18] szerint a kiöntött ágyút 3-5 napig hagyták hűlni, mielőtt kiásták. A vártnál nagyobb keménységértékekre ez magyarázatul szolgálhat.

A vizsgálat céljára ismét a 24 fontos osztrák ágyút választottam. Az ágyút a torkolattól 168 cm-re a tengelyvonalára merőleges síkkal két részre osztottam.

A torkolati rész redukált falvastagsága így: $R_{\text{torkolat}} = 8,75 \text{ cm}$,

míg a csőfarhoz közeli részé: $R_{\text{csőfar}} = 11,25 \text{ cm}$

A dermedési idő számításához a nagyobb értéket választottam, tehát a következő számításban $R_{\text{ágyú}} = R_{\text{csőfar}} = 11,25 \text{ cm}$

$$t_d = \left(\frac{1}{m} \right)^2 \cdot R^2$$

$$t_{d, \text{ágyú}} = \left(\frac{1}{0,66} \right)^2 \cdot 11,25^2 = 290,55 \text{ min} \approx 4 \text{ h } 51 \text{ min}$$

A kiválasztott ágyú tehát 4 óra 51 perc alatt szilárdult meg.

Ez a dermedési idő igen hosszúnak tűnik, bár a korabeli leírásoknak megfelel. A rendkívül lassú dermedés okozza az összetétel által nem indokolt keménységet.

A hődiffúziós tényező (a) meghatározása

A lehűlés sebességére nézve jó támpontot ad a forma hődiffúziós tényezője. Agyagformára ilyen adat nincs a szakirodalomban, tekintve, hogy az iparban ez a formázóanyag már nem járatos.

$$\text{A Fourier-képlet szerint: } \frac{dT}{dt} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{d^2T}{dx^2}, \quad 5. \text{ képlet [40;14. o.]}$$

ahol a hőmérséklet térbeli és időbeli változása között kapcsolatot teremt a hődiffúziós tényező, a formázóanyag jellemzőitől függő tag: $\frac{\lambda}{c \cdot \rho} = a$ 6. képlet [40;14. o.]

A fenti képletben:

T: a forma hőmérséklete; t: az eltelt idő; x a formafaltól való távolság; λ a hővezetési tényező; c: a forma anyagának fajhője és ρ a forma anyagának sűrűsége.

A hődiffúziós tényező a próbatest lehűlésekor felvett adatok alapján, a Gauss féle hibaintegrál segítségével határozható meg, a következő összefüggés alapján:

$$\frac{x}{2\sqrt{t}} = \sqrt{a} \cdot G^* \left(\frac{T_D - T}{T_D - T_F} \right) \quad 7. \text{ képlet [40; 65. o.]}$$

Ahol t : az eltelt idő; x a (belső) formafaltól való távolság; T_D : a fém dermedési hőmérséklete; T : a pillanatnyi hőmérséklet; T_F : a formahőmérséklet; $G^* \left(\frac{T_D - T}{T_D - T_F} \right)$ pedig az a szám, amelynek hibaintegrálja $\left(\frac{T_D - T}{T_D - T_F} \right)$.

A hődiffúziós tényező a próbatest lehűlésekor felvett adatok alapján:

$$a = 0,000625 \text{ m}^2/\text{h} \quad (\text{Lásd: 3. melléklet})$$

Ez közel egy nagyságrenddel kisebb, mint a homokformára a szakirodalomban [40; 138. o.] megadott hasonló adat:

$$a_{\text{homok}} = 0,00137 \text{ m}^2/\text{h}, \text{ tehát a megszokottnál jóval lassabb dermedés reális.}$$

Ahhoz, hogy meghatározhassuk, hogy az adott ágyú esetében a dermedés homokformába öntve mikor jött volna létre, fel kell használnunk a dermedési idő Nándori-féle képletét.

$$t_d = \left(\frac{\sqrt{\Pi} \cdot \rho_{\text{fém}} \cdot (L_s + C_{\text{fém}} \cdot \Delta T)}{2 \cdot (T_{\text{fal}} - T_0) \cdot \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}} \right)^2 \cdot R^2 \quad 8. \text{ képlet [40; 17. o.]}$$

Mivel itt kizárólag a formázóanyag jellemzői változnak, a tört nevezőjében lévő $\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$ számot kell módosítani. Ezt a gyököt viszont ki lehet rendezni a törtből, így megkapjuk a változó részt.

$$t_d = \left(\frac{\sqrt{\Pi} \cdot \rho_{\text{fém}} \cdot (L_s + C_{\text{fém}} \cdot \Delta T)}{2 \cdot (T_{\text{fal}} - T_0)} \right)^2 \cdot R^2 \cdot \frac{1}{\lambda \cdot c \cdot \rho}$$

A számítást egyszerűsíti, ha a két változó tag, azaz az agyagforma anyagjellemzőit tartalmazó és a homokforma hasonló tulajdonságait befoglaló törtek arányát határozzuk meg, mert ez lesz a dermedési idők aránya is.

Az agyagforma szakirodalomban [40; 138. o.] megtalálható jellemzői:

$$c = 0,879 \text{ kJ/kgK} = 879 \text{ J/kgK}$$

$$\rho = 1,8 \text{ kg/dm}^3 = 1800 \text{ kg/m}^3$$

A hővezetési tényezőt a fenti kísérletben meghatározott hőátbocsátási tényező segítségével kapjuk. Ezt át kell váltanunk SI mértékegységekre: $a = 0,000625 \text{ m}^2/\text{h} = 1,736 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\lambda = a \cdot c \cdot \rho = 1,736 \cdot 10^{-7} \cdot 879 \cdot 1800 = 0,2747 \text{ W/mK}$$

A homokforma hasonló jellemzői a szakirodalom [40; 138. o.] alapján:

$$c = 700 \text{ J/kgK}$$

$$\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda = 0,39 \text{ W/mK}$$

A fenti adatokkal agyagformára:

$$\lambda \cdot c \cdot \rho = 437,63 \text{ kJ/m}^2,$$

$$\frac{1}{\lambda \cdot c \cdot \rho} = 2,3 \text{ m}^2/\text{kJ}$$

homokformára

$$\lambda \cdot c \cdot \rho = 723,45 \text{ m}^2/\text{kJ}$$

$$\frac{1}{\lambda \cdot c \cdot \rho} = 1,38 \text{ m}^2/\text{kJ}$$

A homokforma jellemzőit tartalmazó tag (1,38 m²/kJ) 6/10-e az agyagformára jellemző tagnak. Így a homokformába öntött hasonló ágyú dermedési ideje:

$$t_{d \text{ homok}} = t_{d \text{ agyag}} \cdot 0,6 = 290,55 \text{ min} \approx 4 \text{ h } 51 \text{ min} \cdot 0,6 = 174,33 \text{ min} \approx 2 \text{ h } 54 \text{ min}$$

Következtetés

Megállapítható, hogy a szárított (égetett) agyagformába öntött ónbronzzal rendkívül lassan dermed. A fenti gondolat-kísérlet alapján bizvást mondhatjuk, hogy a homokformába való öntés – csak a hűlési idő csökkentésével, nem számolva a minta- és formakészítés egyszerűsödését – szinte megduplázta a termelékenységet. Ne felejtjük el, hogy a fém teljes keresztmetszeti dermedése még egy kezelhetetlenül magas hőfokú öntvényt jelent: ahhoz, hogy a korabeli eszközökkel kezelhető 2-300 °C-ra hűljön, még hosszú időre van szükség.

Tudjuk, hogy a fémek ellaposodó hűlésgörbét mutatnak: ez azt jelenti, hogy a hőmérséklet csökkenésével lassul a hűlés sebessége.

Éppen a szokatlanul lassú hűlés az oka, hogy a harangöntők a mai napig agyagformát, ezt a rendkívül munkaigényes és kényes formázási eljárást alkalmazzák. Ez az egyensúlyi (végtelen lassú) lehűlést a lehető legjobban közelíti, így a harangok anyagául legkedvezőbb kristályszerkezetet adja.

Az öntvény kitáplálásának vizsgálata

Az ágyúcsövet, mint öntvényt vizsgálva szembetűnik, hogy a tápfej a legkisebb falvastagságú öntvényrészhez, a csőtorkolathoz csatlakozik. Ahhoz, hogy létrejöhessen a csőfar kitáplálása, a torkolati rész nem dermedhet meg előbb, mint a csőfari rész, tehát:

$$t_{d \text{ torkolat}} \geq t_{d \text{ csőfar}}$$

A redukált falvastagságok számított értékei:

$$R_{\text{torkolat}} = 8,75 \text{ cm},$$

$$R_{\text{csőfar}} = 11,25 \text{ cm}$$

Feltételezem, hogy nem csak az olvadt fémot vezető csatornákat melegítették elő, hanem a tápfej és a torkolati rész formáját is¹⁹.

A dermedési idő számításának Nándori [33] által megadott képletét (8. képlet) felhasználva a dermedési idő:

$$t_d = \left(\frac{\sqrt{\Pi} \cdot \rho_{\text{fém}} \cdot (L_s + C_{\text{fém}} \cdot \Delta T)}{2 \cdot (T_{\text{fal}} - T_0) \cdot \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}} \right)^2 \cdot R^2,$$

ahol a jelölések megegyeznek az előbb már ismertetett paraméterekkel, és T_{fal} : a (belső) formafal legnagyobb hőmérséklete; T_0 : a forma hőmérséklete az öntés megkezdésekor; L_s pedig a dermedés látens hője.

¹⁹Dr. Tóth Levente egyetemi docens szíves javaslata alapján. A feltételezés egybevág Gombos Miklós harangöntő műhelyében tapasztaltakkal, ahol öntés előtt a beömlőcsatornán kívül tápfej formáját is előmelegítik.

A lehűlési diagramból leolvasható adatok:

$$T_0 = 67 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{fal}} = 759 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tehát } 2 \cdot (T_{\text{fal}} - T_0) = 2 \cdot (759 - 67) = 1384 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Felhasználván még a nem változó mennyiségek adta egyszerűsítéseket:

$$t_{\text{d csőfar}} = t_{\text{d torkolat}}$$

$$\left(\frac{C_1}{1384 \cdot C_2} \right)^2 \cdot 11,25^2 = \left(\frac{C_1}{x \cdot C_2} \right)^2 \cdot 8,75^2 \rightarrow \left(\frac{C_3}{1384} \right)^2 \cdot 11,25^2 = \left(\frac{C_3}{x} \right)^2 \cdot 8,75^2$$

Ahol

$$C_1 = \Pi^{1/2} \cdot \rho_{\text{fém}} \cdot (L_s + c_{\text{fém}} \cdot \Delta T);$$

$$C_2 = (\lambda \cdot c \cdot \rho)^{1/2};$$

$$C_3 = C_1 / C_2$$

$$\rightarrow \left(\frac{11,25}{1384} \right)^2 = \left(\frac{8,75}{x} \right)^2$$

$$x = 1076 = 2 \cdot (759 - T_0)$$

$$\rightarrow T_0 = 221^{\circ}\text{C}$$

Tehát a vizsgált ágyú öntésénél a forma torkolati részét legalább 221 °C-ra elő kellett melegíteni.

Ez a hőmérséklet, illetve az általa biztosított $t_{\text{d csőfar}} = t_{\text{d torkolat}}$ egyenlőség azonban nem jelent biztonságot a kitáplálásra nézve: ha úgy tetszik, ez az az alsó határérték, ahol egyáltalán elképzelhető a megfelelő kitáplálás létrejötte.

Megfelelő biztonságot a Nicolas által bevezetett szabály ad, [33] mely szerint a biztos kitáplálás feltétele, hogy a tápláló rész redukált falvastagsága (R') legyen legalább 20 %-kal nagyobb, mint a kitáplált rész hasonló jellemzője (R), tehát: $R' \geq 1,2 R$.

Mivel itt a redukált falvastagság adott, a szabály hatását vizsgálva:

$$\left(\frac{1}{m} \right)^2 \cdot R_1^2 = \left(\frac{1}{m} \right)^2 \cdot (1,2 \cdot R_2)^2$$

$$t_{d1} = 1,4 \cdot t_{d2}$$

Tehát a redukált falvastagság 1,2 –szeres növelése a dermedési idő 1,4 –szeres növekedését hozza.

Hasonló a hatása a dermedési állandót tartalmazó tag emelésének is.

Ennek értelmében, felhasználva az előző egyszerűsítéseket és adatokat:

$$\rightarrow \left(\frac{11,25 \cdot 1,2}{1384} \right)^2 = \left(\frac{8,75}{x} \right)^2$$

$$x = 897 = 2 \cdot (759 - T_0)$$

$$\rightarrow T_0 = 310^\circ\text{C}$$

Tehát a forma torkolati részét a Nicolas szerinti biztos kitápláláshoz legalább 310 °C – ra kell előmelegíteni.

A vizsgálati eredmények összefoglalása

Az irodalmi források alapján nyilvánvaló, hogy az ónbronzot igen régóta, széles körben alkalmazta az emberiség²⁰.

A felgyülemlett tapasztalatok vezettek az ágyúk öntéséhez leginkább megfelelő alapanyag alkalmazásához. Az elvégzett anyagvizsgálatok megmutatták, hogy a vizsgált korszakban használt bronz 7,7–9% ónt, és 0,4–0,8% ólmot tartalmazott.

Ezt az összetételt hasonlítva a mai szabványos anyagminőségekről rendelkezésre álló adatokkal, látszik, hogy az óntartalom az öntött minőségek alsó, és a hidegalakításra alkalmas minőségek felső határa között van. Az öCuSn10 minőség erősen igénybevett gépalkatrészekhez ajánlott, szívós öntészeti bronzot takar, míg a CuSn8 hidegalakításra alkalmas rugóanyag. A mért keménységértékek (10-20. táblázat) inkább a CuSn8 anyagminőség 135 HB szabvány szerinti keménységéhez semmint az öCuSn10 60 HB hasonló értékéhez állnak közel.

A mikroszkópi vizsgálatok alapján az ötvözet szövetszerkezete globulitos. Kijelenthetjük, hogy a felhasznált alapanyag szívós, kemény ónbronz.

A bronzágyúk öntésére alkalmazott eljárás égetett agyagformát használt, a máig a harangöntéshez alkalmazott módszerrel nagymértékben megegyezően. A forma sajátos anyaga jelentősen nagyobb dermedési időt ad, mint a később járatos homokforma. Az ágyú

²⁰ A legrégebbi valódi ónbronz leleteket a mezopotámiai Ur első dinasztiájának korai királysírjaiban találták. Az ie. 2600 körül készített baltafejek 8-11 % ónt tartalmaznak, de 15 % óntartalom is előfordul.

jellegzetes geometriája eltéréseket kívánt a harangöntéshez képest. Míg a harangokat állítva, üregükkel lefelé, addig az ágyút állítva, de torkolattal felfelé öntötték.

Az öntvény kitáplálása, azaz a folyékony fém eljutása a dermedő-zsugorodó öntvény beömlőtől távol eső részeibe az alkalmazott tápfejjel kétséges. A fentiekben egy hipotézist vázoltam fel ennek megoldására. Kifejtettem, hogy a forma torkolati részének előmelegítése nagy biztonsággal lehetővé teszi az öntvény kitáplálását, és az előmelegítés szükséges mértékét egy adott ágyúra meghatároztam. Kiszámítottam, az adott ágyúnál mennyiben rövidíti meg a dermedés idejét a homok öntőforma alkalmazása.

II.5. Öntöttvas lövegsövek kifejlesztése

A kiforrott technikával öntött bronzágyúk a 16. század végére általánosan elérték azt a színvonalat a megbízhatóság és biztonság terén, amit csak a méretpontosság növelésével és a súlycsökkentéssel tudtak némileg a 19. századra túlszárnyalni. Egyetlen problémát az alapanyag viszonylag drága volta jelentette.

Ahogy azt az első fejezetben írtam, az olcsó öntöttvas ágyúk gyártását kidolgozó William Hogge brit olvasztár, valamint németalföldi és svéd követői által 1543-tól elért eredmények lehetővé tették az egységes, nagy darabszámú haditengerészeti ágyúpark megteremtésére irányuló brit törekvések megvalósulását, és az öntöttvas ágyúk elterjedését a szárazföldi harcászatban is. Ez a tábori tüzéséget tekintve pünkösdi királyságnak bizonyult: a szigorodó követelményeket (elsősorban a súlycsökkentés terén) öntöttvas ágyúkkal egyre kevésbé lehetett teljesíteni. Ennek egyik oka az öntöttvas rideg volta, ami miatt a falvastagságot nem lehetett annyira lecsökkenteni, mint a rugalmasabb ágyúbronzból készült lövegeknél. Másik oka, hogy a 18. század elejétől több hullámban jelentkező forradalmi ágyúfúró eljárások (Wilkinson később tárgyalandó újításáig) a vascsövekre nem voltak alkalmazhatók. Az ezek miatt nagyobb súlyú öntöttvas ágyúk egyre inkább visszaszorultak a haditengerészet és a várvédelem eszközeivé. Ebben a szerepükben is óriási jelentőségűek voltak: lehetetlen lett volna például a brit flottát drága bronzágyúkkal arra a tűzerő-szintre fejleszteni, amit végül az a napóleoni háborúk korára, vagy az előltöltő hajóágyúk korszakának végére elért.

Mi lehetett az a technológiai lépés, amire Hogge, vagy a derék flamandok rájöttek, és száz évvel megelőzték a fejlett világot? Ez az a kutatási irány, amerre tovább szeretném majd fejleszteni jelen eredményeimet. A kulcs valószínűleg a magaskohóból kikerülő nyersvas finomítása. Vannak arról adatok, hogy a kiolvadt vasat a kohó medencéjében egy ideig pihentették a csapolás előtt, majd újra megfűjtatták, mintegy előfinomítva a frissítési eljárások számára. Nos, ez a pihentetett, megfűjt vas már alkalmasabb lehetett homogén, kevésbé rideg öntvény előállítására, mint az azonnal csapolt nyersvas. Tudjuk továbbá, hogy a 18-19. század fordulóján a frisstüzeken első lépésben finomított vasat lángkemencékben olvasztották újra precíziós öntvények, például ágyúcsövek öntéséhez. [27; 182. o.] Lángkemencék, mint azt Biringuccionál látjuk, a 16. században már léteztek, elsősorban rézötvözetek olvasztására. Lehet, hogy már Hogge „megtalálta” azt a háromszáz fokot, amivel följebb kellett emelni a kemence hőmérsékletét a vas–karbon ötvözet újraolvasztásához. (A tiszta réz olvadáspontja 1085°C, a 3% körüli karbont tartalmazó nyersvas 1300 fok fölött már tisztán olvadék.)

Mindenesetre, amit leírtam a bronzágyúk öntéstechnikájának problematikájáról, különös tekintettel az öntvény kitáplálására, még inkább érvényes a rosszabb hővezető vasra.

Az ipari forradalom hozta el azt a magabiztos anyag- és technológiaalkalmazást, ami lehetővé tette a nagyteljesítményű öntöttvas- majd épített ágyúk létrejöttét. Ehhez viszont kellett az az eredmények, amit a metallurgia és a gépgyártás terén ebben a valóban forradalmi korszakban értek.

II.6. A vasgyártás fellendülése az ipari forradalom időszakában [37; 55-59. o.]

A vas és az acél egyre növekvő mértékű előállítása és felhasználása már a korábbi időszaknak is jellemzője volt, de a szénbányászat felfutása, a szénmedencékre alapuló ipar kialakulása egyértelműen az ipari forradalmat jellemzi. A szén nem csak a gőzgépek tüzelőanyagaként vált fontossá, hanem a kokszolás feltalálása után a vasgyártás egyik alapanyaga is lett. A vitathatatlanul előremutató eredmények azonban nem egyszerre jelentek meg az egész kontinensen: Angliában már nem lehetett faszénrel üzemelő kohót találni, amikor Poroszországban – állami kezdeményezésre – bevezették a kokszos vasolvasztást. Az élenjáró technológiák Angliában születtek, és nagy késéssel, nemegyszer csak a napóleoni háborúk után terjedtek át a kontinensre.

A vastartalmú érc kiolvasztása (tulajdonképpen redukáló környezetben való izzítása az oxidálódott elemi vas kinyerésére) ekkorra már évezredes múltra tekintett vissza.

A tiszta vas hidegen is alakítható, képlékeny, szívós fém. Legfontosabb ötvözője a karbon (szén). A vas-karbon (vas-vaskarbid) ötvözet keménysége a széntartalom növekedésével nő, de az ötvözet egyre ridegebbé válik. Az olvasztás hőmérsékletének növelése több szén felvételét teszi lehetővé. A tárgyalt korszak elején két módszer versenyzett az elsőbbségért. A régi típusú, rosszabbul fűjtatható, alacsonyabb hőmérsékletet létrehozni képes bucakemencék kisebb termelékenységssel dolgoztak, de alacsony karbontartalmú, azaz kovácsolható vasat adtak. A jobban átszellőztetett magaskohók adott idő alatt több, de magasabb karbontartalmú ötvözetet termeltek, amit újra kellett olvasztani, hogy kovácsolható legyen.

A régi eljárás tehát az ekkorra már fejlettségük legmagasabb fokára jutott bucakemencéken alapult. Senkit ne tévesszen meg ez a hagyománytisztelő név, ahogy azt majd a későbbiekben látjuk, a tárgyalt korszakra már ezek is igencsak kohószerűek- és méretűek voltak. Hátrányuk volt, hogy kialakításuknál fogva nem lehetett megfelelő

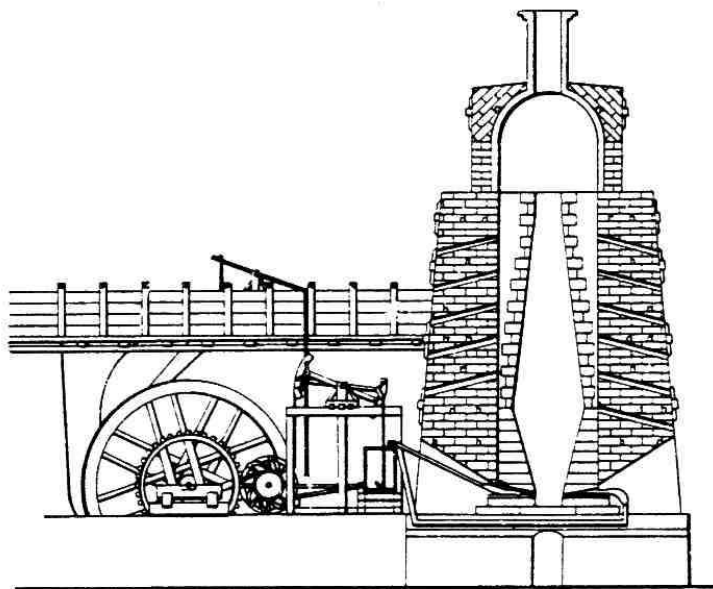
menyiségű levegőt beléjük táplálni. Az ilyen kemencékben kialakuló erősen oxigénhiányos környezet nem eredményezett elég magas hőmérsékletet ahhoz, hogy a redukált vas teljes egészében cseppfolyóssá váljon. A félfolyós állapotú vas a kemence alján, salakkal erősen szennyezett tapadékká gyűlt össze, ez a vasbucá. A vasbucát általában nem forgalmazták, annak félkésztermékké való feldolgozását a kohó mellé telepített vashámor végezte. A szennyezett vasbucát át kellett kovácsolni, tömöríteni. A vas a kemencében karbonnal ötvöződött, de a viszonylag alacsony olvasztási hőmérséklet miatt a szénttartalom alacsony maradt, ezért a bucavasak kovácsolhatóak. Mivel a salak olvadáspontja alacsonyabb, mint a vasé, az a kovácsolás során kilövellt a vasból, a szinte különálló cseppekből felépülő vasanyag pedig teljesen egybeforrott, homogenizálódott. Bár a technológia esetlegesnek tűnik, az ismert minőségű alapanyagok és a víz hajtotta kalapácsok segítségével már a korai időkben is megfelelő, viszonylag egységes minőségű termékeket állítottak így elő.

A bucakemencék legfejlettebb formájukat Stájerországban érték el, itt olvasztóterük négy méternél is magasabb volt, teljes magasságuk pedig meghaladta a korabeli nagyolvasztókét. (Máshol a kemencemagasság másfél és három méter között maradt.) Ezekben az óriásokban egy adagban akár egy tonna vasat is kinyertek az ércből, a 24 órás ciklusban kinyerhető mennyiség így egy akkori közepes nagyolvasztóban elérhető volumennél is nagyobb volt. Rendkívül fejlett formájuk miatt ezek a kemencék a 18. század közepéig üzemeltek. Általában elmondható, hogy a bucavasgyártás a 19. század első éveire erősen lecsökkent, Angliában teljesen eltűnt, Belgiumban, Svédországban és Szibériában háttérbe szorult, míg a francia, közép-német és spanyol területeken egyre csökkenő jelentőséggel, de még mindig a termelés jelentős részét adva élt tovább. [27; 12. o.]

Az új, indirekt redukciós²¹ eljárás eszköze a magaskohó, mai szóval nagyolvasztó. Ez minden esetben olyan, kettős falazatú, magas olvasztótérrel rendelkező kemencét jelent, ami alkalmas az erőteljes fűtítés eredményezte magasabb hőmérséklet elviselésére. A szerkezet legfontosabb ismérve, hogy a belső, tűzálló téglafalazat és a külső, kőből rakott fal közti teret terméskövekkel töltötték meg. Ennek a betétnek a kövei egymáson kissé elmozdulhattak, ami lehetővé tette a belső rész hő okozta tágulását anélkül, hogy a külső fal elrepedt volna. A bucakemencék lefelé bővülő olvasztótere itt már kiegészül a cseppfolyós vas felfogására és hőntartására alkalmas erősen szűkülő kemencealjjal, a medencével. A fűjtató már nem a kemenceajtó felől dolgozik, hanem ahhoz képest 90 fokban elfordítva, a téglalap alaprajzú

²¹ Indirekt, mert nem ad technikai tisztaságú vasat, ahhoz még további lépések kellenek, és redukciós, mert az oxidjaiban jelenlevő vasat redukálva állítja elő a fémét.

medence hosszabb oldaláról. A nagyolvasztó csapolható, tehát a vas cseppfolyós állapotban távozik belőle, ellentétben a bucakemence szilárd végtermékével.



11. ábra: Az 1814-ben telepített diósgyőri újmassa metszeti képe [27; 138. o.]

Az első nagyolvasztók már a 14. században megjelentek, elterjedésük azonban lassú volt. Ennek oka a magas karbontartalmú vasötvözet nehézkes finomítása volt. A karbont kiűző eljárást hagyományosan frissítésnek, a kemencét, amiben végezték frisstűznek nevezték. Ezek termelékenysége igen alacsony volt. Ezért nemegyszer a magaskohókat is „acélra járatták”: nem fűjtették meg az adagot a teljes levegőmennyiséggel, így – bár nem nyertek csapolható, folyékony nyersvasat – a kemence alján a bucakemencéből nyerthez hasonló alacsony karbontartalmú vasbuca szilárdult meg. A nagyolvasztó széleskörű elterjedéséhez tehát egy hatékony, termelékeny acélfrissítő eljárás megjelenése kellett.

Igazság szerint a magaskohóból kikerülő „túlságosan rideg” vasnak volt egy másik felhasználási módja, amelynek elterjedése a magaskohók pozícióját erősítette. A kohóból kikerülő nyersvas viszonylag magas karbontartalma alacsonyabb olvadáspontot és olvadt állapotban jó formakitöltő képességet adott az ötvözetnek, ezért az alkalmas volt öntészeti célokra. Az ipari forradalom korszaka hozta el az öntöttvas tárgyak soha nem látott elterjedését.

Az öntöttvas mint szerkezeti anyag rideg, kemény, húzással szemben kevésbé, viszont nyomással szemben erősen ellenálló. Az öntés mint alakadó technika, rendkívül termelékeny,

lehetővé teszi nagy sorozatok gyártását azonos munkadarabokból. Az öntöttvasból készített olcsó, de rendkívül stabil gépállványok teszik majd lehetővé azoknak a szerszámgépeknek a létrejöttét, amelyek segítségével elő lehet állítani egy gőzgép hengerét vagy éppen egy ágyúcső pontos furatát.

A 18. században még általában közvetlenül a nagyolvasztóból öntöttek. Ennek előnye a termelékenység és a gazdaságosság volt, hiszen a nyersvasat nem kellett újraolvasztani. Hátránya volt viszont, hogy az öntőgödrt a nagyolvasztó mellé kellett telepíteni, és az öntés idejét a nagyolvasztó csapolási ideje határozta meg, ráadásul a leöntött anyagmennyiségnek lehetőleg meg kellett egyeznie a csapolási adaggal. Ezek a nehézségek hozták, hogy a 19. századra egyre nagyobb teret hódítottak a megszilárdult nyersvas másodolvasztására szolgáló tégely- láng- és kupolókemencék, amelyek a vas minőségének javításán túl rugalmasabb termelési körülményeket is biztosítottak. A kohászat és az öntészet fejlődésével a mérnökök is egyre bátrabban alkalmazták az öntöttvasat. Készítettek hidat, uszályt, de mívés kályhát vagy éppen dísztányért is ebből a sokoldalú alapanyagból.

A nagyolvasztóból kikerülő nyersvasat felhasználhatták tehát öntészeti célokra, de – finomítás után – használhatták szívósabb, ellenállóbb kovácsolt (hengerelt) termékek készítésére is. A kovácsolt, később hengerelt termékek készítéséhez alacsonyabb szénttartalmú vasötvözetre volt szükség. A mai műszaki szaknyelvben a korabeli „vas”, „kovácsvas” kifejezéseket nem használjuk. Ma szerkezeti acéloknak nevezzük a 0-0,6 százalék karbont tartalmazó vasötvözeteket, szerszámacéloknak a 0,45-2,1 százalék közti szénttartalmúakat. Tudjuk továbbá, hogy az acél 0,6 százalék szénttartalom fölött jól edzhető,²² (régén csak ezt az anyagminőséget hívták acélnak) 0,8 százalékgig jól, 0,8 és 1,3 százalék között rosszul, afelett gyakorlatilag nem kovácsolható. Eszerint a kovácsvas karbontartalma 0,8 százaléknál kisebb kellett legyen, de egyes speciális felhasználási területek számára (pl.: dróthúzás) ennél jóval kisebb szénttartalom volt az ideális. Az acél (mai szaknyelvben edzhető acél) pedig nagyjából 0,6 és 1,3 százalék közti karbontartalommal rendelkezett. Ebből következik, hogy a nagyolvasztóból kikerülő négy százalék körüli karbont tartalmazó nyersvas széntelenítésére volt szükség.

A nyersvas finomítására szolgáló legkorábbi létesítmények a frisstüzek, frissítőkemencék voltak. Ezekben salakágyra terítettek faszenet, amelybe a nyersvas-darabokat beágyazták. A fújtató a faszénre dolgozott, így előtte egy magas hőmérsékletű,

²²A járatos méretekben. Az edzhetőség valójában a karbontartalom és a hűlési sebesség függvénye: egy vékony kardpenge vagy éppen egy tű jól átedzhető ennél kisebb szénttartalomnál is, hiszen teljes keresztmetszetében, gyorsan lehűthető.

erősen oxidáló zóna alakult ki. A hőmérséklet lefelé erősen csökkent, ezért a kemence alján lévő salak felső része olvadt, alsó rétege viszont már szilárd volt. A frissítendő vas a fúvóka előtt megolvadt és lecsepegett a salakon át a teknő fenekére. Eközben kísérő elemei oxidálódtak, majd a salakba oldódtak. Az ötvözőktől és szennyezőktől megfosztott vas olvadáspontja megemelkedett (ugyanis a karbontartalom csökkenése az olvadáspont növekedését hozza), ezért megkeményedve összegyűlt a tűzhely alján. Az eljárást a kiinduló anyag minőségétől és az elérni kívánt anyagminőségtől függően megismételhették, így az átolvasztások száma egy és hat között változott. Jellemzően egy átolvasztással finomított (öntészeti) nyersvasat, két átolvasztással edzhető acélt, míg hárommal kovácsvasat nyertek. Az eljárást később többféleképpen egyszerűsítették, általában a frissítendő vas valamilyen termelékeny előkezelésével („sütésével”, azaz sok tárcsa alakú félkésztermék kemencében való izzításával) próbálták egylépcsőssé tenni. [27; 46. o.]

A valódi áttörést a kavaró eljárás hozta, amelyet Henry Cort 1784-ben szabadalmaztatott. Ő tulajdonképpen a fémek átolvasztására, ötvözésére alkalmazott lángkemencét fejlesztette tovább. Ennek a kemencetípusnak megvolt az az előnyös tulajdonsága, hogy a fém nem érintkezett a tüzelőanyaggal, annak „lángja”: a forró, redukáló atmoszféra végezte az olvasztást. A Cort által kidolgozott kemencealak lehetővé tette, hogy a folyékony fémet hosszú vasrudakkal folyamatosan kavarják, így az olvadt fém felszínén zajló kölcsönhatások kiterjeszthetők voltak a teljes anyagmennyiségre. Ez a látszólag egyszerű újítás – kiegészítve a kemence mellé telepített hengerművel [50; 220. o.] – már a kezdetekben tíz-tizenkétszeres acélkihozataalt eredményezett a frisstüzekkel szemben. [25; 218. o.] A módszer Európa fában gazdagabb területein (például Magyarországon) lassabban terjedt, mert a lángkemencékben hagyományosan alkalmazott keményfa-tüzelés a kavaró eljáráshoz elégtelen volt, ahhoz ásványi szén (vagy faszén) kellett. [27; 171-172. o.]

A korszak utolsó fontos fejlesztése a kohó alakját változtatta meg: 1832-ben az angliai John Gibbons épített először kör alakú munkatérrel kemencét. Ennek kisebb volt a karbantartási igénye az addig bevett négyszögletű olvasztóénál, és a kedvezőbb alak miatt nagyobb adagot volt képes feldolgozni. Ezzel a nagyolvasztóval az addigi 75 tonnás heti termelési rekordot 100 tonnára növelték, ugyanolyan alapanyag és egyéb technológiai körülmények mellett. [24; 163. o.]

A nagyolvasztó napi termelése már a 18. század közepére meghaladta a 25 bécsi mázsát (1400 kg). [27; 14. o.] Ez legalább 3-4-szeres ércmennyiség adagolását, és körülbelül kétszeres kokszfelhasználást kívánt, ami iszonyatos mennyiség, különösen kézi erővel mozgatva. Hozzájön még ehhez a fújtatott levegő öt-hatszoros mennyisége [24; 158. o.]

(tömegben!) és azonnal megértjük, miért hozott a gőzgép áttörést a nyersvasgyártás történetében. A 19. század első fele az, amikor a gőzgép elterjed ebben a szegmensben, nemcsak az egyre nagyobb méretű kohók kiszolgálását, de a nagyméretű – mai szóval – félkésztermék-gyártó üzemek megszokottá válását is lehetővé téve. Ezekből a gyárakból az addigi különféle minőségű, rúd vagy tuskó formájú alapanyagokon kívül már hengerelt sínek és lemezek, előkovácsolt termékek is kikerültek. Nem lehet eléggé hangsúlyozni ennek a ténynek a hadiiparra gyakorolt hatását: a jó minőségű félkésztermék sokkal hamarabb alakítható fegyverré vagy hadfelszerelési cikké, tehát a haditermelés gyorsan felfuttatható.

A 18. század végére tehát kialakult az acélgyártás új, termelékenyebb módja. Ahogy az előzőekben bemutattam, ebben az időben már az új, Cort-féle módszerrel összemérhető termelékenységet tudtak elérni a kontinentális Európa továbbfejlesztett bucakemencéi is, így a nyersvas- és acélgyártás volumene határozott, folyamatos növekedést mutatott, legalábbis Európában. Amerikában – bár a vasgyártás egyre nőtt – az acél előállítása éppen eddig az időszakig, a 18. század második feléig nem volt számottevő.

A kohászat, vasművesség tehát vízi- vagy gőzenergiát igényelt és rengeteg helyben, vagy elérhető távolságban előállított faszenet fogyasztott.

Angliában 1740 körül a vasgyártás mélypontra jutott. Az ok az erdőségek kipusztítása, a rendelkezésre álló tüzelőanyag (faszén) mennyiségének csökkenése volt. Óriási nyomás volt a kohászati vállalkozásokon az új tüzelőanyag megtalálására.

II.7. A szén forradalma [37; 60-63. o.]

Az emberiség által használt tüzelőanyagok közül a fa a legrégebb. A jó minőségű keményfa megfelelt a színesfémek olvasztására szolgáló lángkemence fűtőanyagául, ami nem csekélység, tekintve, hogy a réz olvadáspontja 1085 °C. Később gőzgépek hajtására is használtak keményfát, de ezt hamarosan teljesen kiszorította az olcsóbb (és magasabb fűtőértékű) kőszén.

Az ipari forradalom fő mozgatójának sokszor a szén felhasználását tartják. Erre utal, hogy a vizsgált időszak alatt erősen növekedett a szénfelhasználás, de a tüzelőanyag ára is. A kőszén, ahol könnyen tudták bányászni, már a középkorban is olcsóbb fűtőanyagot adott a háztartások számára, mint a tűzifa. Alkalmasnak bizonyult az egyre terjedő gőzgépek fűtőanyagául is. Nem volt viszont megfelelő a kohókban történő felhasználásra, mert magas

szennyezőanyag-tartalma miatt nem égett olyan jól, és nem szolgáltatott annyi hőt, mint a faszén.

A faszenet a faanyag oxigénhiányos izzításával hozták létre. Ehhez viszonylag sík talajú tisztást kerestek az erdőben, majd az elegyengetett földre állították a gondosan összeválogatott fahasábokat. A boksa közepén üreget hagytak, amit forgáccsal, jól éghető, kisebb fadarabokkal töltöttek meg. A farakást lehullott falevelekkel, majd földdel betakarták. A tetején keresztül begyűjtötték, és 8-12 napig hagyták izzani. Ezután a boksát kitakarták, majd, hogy eloltsák, szénporral lefedték. Ezzel az eljárással tulajdonképpen az anyag szennyezőit égették ki, karbontartalmát növelték, a fát „szénre finomították”. A folyamat jelentős térfogat- és még nagyobb (74-80%) súlyveszteséggel járt. Különböző feladatokra különböző szeneket égettek, a kohóba való a fekete, nehéz, a kezét be nem fogó, ütésre „csengő”, nehezen törő fajta volt.

Bár a nagyolvasztó termelékeny, és szénfelhasználása még a frissítő újraolvasztás tüzelőanyag-szükségletével együtt is kisebb mint a bucakemencéé (ui. a magasabb hőmérséklet miatt tökéletesebb benne az égés) a korszak folyamatosan növekvő vaséhsége a kohókban addig alkalmazott faszénnél olcsóbb és nagyobb tömegben rendelkezésre álló tüzelőanyagot kívánt.

Kézenfekvő, hogy az olcsó kőszén finomítására is megpróbáltak a faszén készítéséhez hasonló eljárást kidolgozni. Ez tulajdonképpen sikerült is, és létrejött a koks, amelyet korlátozott mértékben használtak Angliában, jellemző módon leginkább sörfőzésre. Az öntödetulajdonos Abraham Darby volt az, aki kidolgozott egy használható módszert a koks vasgyártásban való alkalmazására.²³ Hozzá kell tennünk, hogy ilyen célra nem minden kőszén felel meg. A legtöbb szén porrá omlik a kokszolás – tulajdonképpen száraz lepárlás – során. Ráadásul a kőszének nagy része kénnel szennyezett, márpedig ha a vasgyártás folyamán a kohóban a vas a kokszból ként vesz fel, rideggé, törékennyé válik, a karbontartalom csökkentése után sem lehet majd kovácsolni, öntöttvasként pedig nehezen önthető, repedésre hajlamos lesz. Ez a probléma eddig nem merült fel, hiszen a faszén nem tartalmaz ként. Darby kissé átalakította a kohó formáját, hogy az alkalmasabb legyen az új tüzelőanyaghoz, és hosszú kísérletezéssel találta meg a feketeszén egyik típusát, ami alkalmas volt kokszolásra. Ez a szén szép darabos kokszot adott, ráadásul a kéntartalma is alacsony volt, így ez a vas ridegedését okozó szennyező a kokszolás során nagyrészt kiégett belőle.

²³ Többen is voltak Darby előtt, akik saját állításuk szerint képesek voltak erre, leghíresebb talán Dud Dudley (1600–1684), de az ő módszere – ha működött egyáltalán – nem volt elég sikeres ahhoz, hogy fennmaradjon.

A kokszt ekkor még – a faszénhez hasonló módon – boksákban állították elő, de azt – a kőszén kisebb zsugorodása okán – agyaggal tudták fedni. Nem sokkal később megjelentek a tűzálló téglából készült műboksák, amelyekben kamrákat képeztek ki a kokszoláshoz.

Az új eljárás természetesen nem terjedt el azonnal: maga a feltaláló sem iparkodott ezt riválisai tudomására hozni, hiszen nyilvánvaló üzleti előnye származott annak egyedüli alkalmazásából. Ennek ellenére 1788-ra Angliában és Wales-ben 53 nagyolvasztó működött koksszal és már csak 25 faszénnel. A 19. század elejére eltűnik a brit-szigetekről a faszenes eljárás, [24; 153. o.] és a kontinensen is megkezdődik a kokszt alkalmazása. Hozzá kell azonban tenni, hogy a kokszt alkalmazása leginkább ott volt fontos, ahol a faszén – ahogy az Angliában az elérhető erdők kivágásával bekövetkezett – elérhetetlenné vagy aránytalanul drágává vált. Ebben az időben az olcsó fában bővelkedő területeken (szinte az egész kontinentális Európában, még inkább Magyarországon) egyáltalán nem alkalmaznak kokszt a vas- és acélgyártás során, [27; 69-72. o.] bár Európa a Földközi-tenger medencéje és Skandinávia kivételével bővelkedett kőszénben. Még a 19. század elején is alig volt több a kőszénbányászat volumene a brit termelés negyedénél. [48; 334. o.] A kontinentális Európa legnagyobb szén szállítója Dél-Németalföld (a későbbi Belgium) volt. A kőszénből készített kokszt alkalmazása ebben a térségben azért volt fontos, mert megteremtette a lehetőséget a 19. század derekán megugró tüzelőanyag-igény már járatos módszerekkel való kielégítésére.

II.8. 18. századi fejlesztések a lövegek előállítására [37; 83-85. o.]

A 18. században jelentős változások zajlottak be a lövegcsövek előállítására. Ahogy azt az előzőekben leírtam, a csőöntése fejlődött, termelékenyebbé vált. Talán ennél is jelentősebb volt a csőfűrészesítés fejlesztése. Az egyre termelékenyebb és egyre pontosabb eljárások által könnyebbé és pontosabbá váló bronz lövegcsövek jelentősen növelték a tűzérő, különösen a tábori tűzérő lehetőségeit. Az 1700-as évek második felére az öntöttvas magabiztos alkalmazása és a csőfűrészesítés tökéletesedése még egyszerűbbé tette a haditengerészeti- és a vartűzérő öntöttvas csövekkel való ellátását. Már 17. század végén is természetes volt az azonos űrméretű lövegek lövedékeinek csereszabatos volta, az egyszerűbb ellátás érdekében viszont a 18. század első felében már a járatos űrméretet is csökkentették.

A lövegcsővel párhuzamosan zajlott a lövegtalpak továbbfejlesztése. Az osztrák Lichtenstein-rendszerben került a szerelékes láda a talpszárra, gyorsítva az ágyú tűzkészé-

tételét, és bevezették a csavaros csőfaremelő mechanizmust. A francia Jean-Baptiste Gribeauval kovácsoltvas tengellyel növelte a tábori lafetták ellenálló képességét.

Nemcsak a tábori-, de a hatékony lovagló tüzérség számára is létfontosságú volt a könnyű cső és robosztus lafetta. Önmagában a löveg nem volt vontatható, azt lövegmozdonyra – egy speciális, kétkerekű kocsira – kellett kapcsolni, hogy mozgatható legyen. A könnyebbé váló tüzérség már nemcsak tüzével, de eszközeivel is manőverezett a csatamezőn. Létfontosságúvá vált, hogy a szabványosítás elérje azt a fokot, hogy bármelyik mozdony kapcsolható legyen bármelyik lövegtalponhoz, illetve, hogy az adott lövegcső egy hasonló űrméretű löveg lafettájára átszerelhető legyen.

A lövegcső fúrásának fejlesztése

A hagyományos eljárás szerint az ágyúcsöveket üregesre öntötték, és egy egyszerű berendezéssel, vízszintes helyzetben „fúrták fel”, amivel valójában csak simították a furatot. Ez az öntési módszer rendkívüli gondosságot igényelt az öntőforma elkészítésekor: a komoly terhelésnek kitett magot (ami a csőfuratot alakította ki) egyrészt rendkívül gondosan kellett megformálni, másrészt pedig rögzíteni, nehogy a forró fém elmozdítsa. Akár a mag alakváltozása (a gerincéül szolgáló fémrúd elhajlása) akár a magtámasz kismértékű elmozdulása az öntés sikertelenségét idézhette elő, hiszen az üregesre öntött cső felfúrása tulajdonképpen csak a furatátmérő pontos beállítását tette lehetővé, a furat helyzethibáját illetve esetleges görbületét nem javította. A fejlesztések egyik kulcsa éppen ezért az ágyúcső fúrásának modernizálásában rejlett. Az első lépés a 17. század végére általánosan alkalmazott függőleges elrendezésű fúrógép volt. Itt az ágyúcső a saját súlyánál fogva ereszkedett a forgó fúrófejre. A pontosság nőtt: ez a módszer már nem engedte meg a furat tengelyének görbületét. A pontosság további növelését a svájci Jean Maritz által Franciaországban, [65; 17. o.] McNeil szerint 1713 körül [24; 396. o.] bevezetett vízszintes elrendezésű fúrógép (de: Weigley [68; 271. o.] szerint holland mesterek fejlesztették ki az eljárást 1747-re) tette lehetővé. Maritznál az ágyúcsövet forgatták, a szerkezet meghajtását állati erővel vagy vízienergiával végezték. Ezzel a módszerrel a furat helyzethibája (amikor a furat hossz tengelye és a csőköpeny hossz tengelye nem vág egybe) is kiküszöbölhető volt. A valódi áttörést az jelentette, hogy a gép teljesítménye jóval nagyobb volt, mint elődjéé, és ez lehetővé tette, hogy az üreg nélkül öntött, tömör lövegcsőbe készítsék el a furatot. Nem lehet eléggé hangsúlyozni az új technológia előnyeit: feleslegessé vált a nagy gondosságot igénylő magkészítés, és a mag rendkívül körülményes rögzítése az öntőformában. Az 1732-ben

bevezetett de Valerie-rendszer már kifejezetten ezen az új, Jean Maritz által kifejlesztett ágyúfúró eljáráson alapult.

Körülbelül öt évtized kellett az újabb fejlesztéshez: Jan Verbruggen holland mester adaptálta ezt az eljárást a woolwich-i Royal Brass Foundry-ban, (Királyi Rézöntöde) ahol a bronzágyúkat öntötték. Nem sokkal később, 1774-ben John Wilkinson is előállt szabadalmával: egy hasonló horizontális berendezéssel, amit kifejezetten az öntöttvas ágyúk felfúrására fejlesztett ki. [67; 18. o.] [24; 396-397. o.]

Ezeknél az eljárásoknál az ágyúcsövet – hasonlóan a puszkacsöveknél alkalmazott eljáráshoz – vízszintes helyzetben, egy esztergához hasonló géppel forgatták meg, és az álló fúrófejet nyomták bele. A fentebb felsorolt előnyökön kívül ez azt jelentette, hogy a függőleges eljáráshoz képest jóval könnyebb volt a munkadarabok cseréje. A fő nyereség mégis a minőség javulása volt: ezért nem rendeltek többet a skóciai Carron Company ágyúiból, az 1770-es évek végétől a fegyverek átvételét a brit állam részéről végző Board of Ordnance csak tömör öntvényből felfúrt ágyúkat fogadott el. [67; 18. o.] Wilkinson tehát ágyúfúrójával a korszak műszaki-technikai fejlettségét túlszárnyalva (azaz új technológiát létrehozva) minőségi fejlődést produkált.

Egy másik, nagyon fontos hozadéka is volt ennek a fejlesztésnek. Az új típusú, Watt-féle gőzgépek pontosabban illesztett dugattyúkat igényeltek, mint elődeik. Ezek a fejlettebb szerkezetek már nem a légköri nyomással, hanem túlnyomás keltésével működtek. Maga a Boulton & Watt vállalat is komoly nehézségekkel nézett szembe, míg meg nem találta Wilkinson cégét, mint azt a partnert, amely képes volt a nagy átmérőjű hengerek méretpontos és a lehető legkevesbé körhagyó megmunkálására. (Ekkor a hengereket már nem bronzból, hanem öntöttvasból készítették. Newcomen harangöntők által készített első hengerei még 250 fontba kerültek, de 1740-ben egy öntöttvas henger már csak 25 fontjába került.) [34; 61. o.] A korabeli források csodálattal írták le, hogy a 70,5 hüvelyk (1830 mm) belső átmérőjű henger olyan pontosan megmunkált volt, hogy mindössze egy kopott pénzérme (1,5-2 mm) fért volna a henger és a dugattyú közé. Az előző beszállító, John Smeaton 18 hüvelykes (457,2 mm) hengereinek ovalitása 3/8 hüvelyk (9,3 mm) volt. [25; 194. o.]

Itt egy nagyon fontos jelenséget látunk: egy, kifejezetten a hadiipar részére kifejlesztett technológia teszi lehetővé a polgári ipar legfontosabb szegmensének fejlődését, egy kitűnő elmélet – a kisnyomású gőzgép²⁴ – gyakorlati megvalósítását. Watt szabadalma – aminek legnagyobb vívmánya az atmoszferikusnál nagyobb nyomás alkalmazása –

²⁴ Ekkor még persze nem így hívták. Később alakultak ki a magasabb nyomással működő, még hatékonyabb gőzgépek.

kétharmadával csökkentette a szénfogyasztást, [25; 187. o.] és lehetővé tette kisebb méretű, mozgatható gőzgépek előállítását és az ilyen hőerőgépek széleskörű elterjedését.

A lövegcső megmunkálásának fejlesztése

A csőfurathoz hasonló módon fejlesztették a csőcsapok készremunkálását és a gyúlyuk kifúrását is. A csőcsap esetében ez azt jelentette, hogy a csővel egybeöntött henger alakú felfogási pontokat már nem kézzel simították, hanem egy megfelelő gépi eszközzel forgácsolták készre. Ez nyilván jótékonyan befolyásolta a pontosságot, de méginkább az elkészítés időigényét. A gyúlyuk esetében szintén a forgácsolási idő lerövidülése volt a legfontosabb, ám fontos fejlesztések valósultak meg a furat kiégésének megakadályozására, vagy legalábbis késleltetésére. A gyúlyuk a lövéskor itt kicsapó láng által oxidálódott, és az égéstermékek abrazív erejétől nagyobb átmérőre és szabálytalan alakúra kikopott, ami bizonyos határon túl már a lőszabatosság rovására ment. Ekkor általában a lyukat nagyobb átmérőre fúrták, menetet vágtak bele és belehajtottak egy középen furattal ellátott menetes orsót, így szűkítve a furatot ismét az eredeti méretre. Az ifjabb Jean Maritz (a cső fúrását fejlesztő Jean Maritz fia) fejlesztése az volt, hogy ő már eleve így, betétcsővel készítette a gyúlyukat, méghozzá hengerelt, tehát az öntöttnél tömörebb és kopásállóbb bronzot használva annak anyagául. [69; 56-57. o.]

Említésre méltó itt a tábori – és kisebb mértékben a haditengerészeti – tüzérségben a bronz lövegcsövek reneszánsza. Kijelenthetjük, hogy az elöltöltő tábori tüzérség legfejlettebb formájában bronz lövegcsövekre alapozott fegyverrendszereket alkalmazott. Ennek oka az volt, hogy az acélöntés technikai megvalósításáig az ágyúcső a viszonylag olcsó, de rideg, ezért nagyobb falvastagságot kívánó öntöttvasból, vagy a drágább, de bizonyos mértékig rugalmas, így kisebb tömegű fegyver előállítását lehetővé tévő ágyúbronzból készülhetett. A tábori, különösen pedig a lovagló tüzérség új harceljárásai azonban könnyű, mégis hatékony eszközöket kívántak, ezt az igényt pedig a kor technikai színvonalán legjobban a bronz löveganyag tudta kielégíteni.

KÖVETKEZTETÉSEK

A második fejezetben bemutattam az ágyúcsövek gyártástechnológiáját a 14. századi kezdetektől a hátultöltő lövegek 19. sz. második felére tehető elterjedéséig.

Az első ágyúkat a harangokhoz hasonlóan öntötték. Mind a legelső, kis űrméretű, váza formájú lövegeknél, mind a későbbi, egyre nagyobb űrméretű mozsárszerű arányokkal rendelkező eszközöknél sikeres volt a harangöntő módszer. A 14. század közepén – elsősorban a költségek kímélésére – kifejlesztettek egy új technológiát, melynek segítségével kovácsoltvasból, a hordóéhoz hasonló dongás-abroncsos szerkezettel készítettek mozsarakat, néha kifejezetten nagy méretben is. Mind az ilyen vaságyúk, mind mivesebb, bronzból öntött párjaik kőgolyókat hajítottak. Rámutattam, hogy a kovácsolt vaságyúk bevezetése növekedést tett lehetővé az ágyúk számában, egy, máshol még nem alkalmazott technológia segítségével.

Az egyre fejlődő öntéstechnológiának köszönhetően a 15. század végétől inkább csak a kisebb méretű ágyúkat (pl. a folyami hajókon alkalmazott „sajkás” ágyúkat) és a kézfegyverek csöveit készítették kovácsoltvasból. Az ágyúk egyre jobban megnyúltak, a nagy űrméretű, kőgolyót tüzelő lövegek helyét részben átvették a hosszabb csövű, kisebb űrméretű, tehát könnyebben mozgatható, ugyanakkor pontosabb, többnyire bronzból öntött ágyúk.

A régi rövid csövű ágyúkat, ahogy a harangokat, torkolattal lefelé öntötték. Ez addig nem okozott gondot, amíg az ágyúk rövidek, mozsárszerűek voltak. A lövegcsövek megnyúlása azonban a furatot kiadó mag rögzítését egyre nehezebbé tette. A filigránabb cső hűlési folyamatai kevésbé voltak kézben tarthatóak, és a megjelenő öntési hibák éppen a csőfarban sűrűsödtek. Ezt a problémát egy, a minőség javulását hozó innováció segítségével oldották meg. A 15. század közepén bevezetett új eljárás szerint a lövegcsövet álló helyzetben, torkolattal felfelé készítették, hogy a folyékony fém nyomása a leginkább igénybe vett csőfarból szorítsa ki a szennyeződések és a légzárványokat. Ebben az állásban a magot is „belógatták” azaz függesztve tudták a formába helyezni, az alsó, csőfari részen oldalirányban megtámasztva elmozdulás ellen.

A csövet tehát már eleve üregesre öntötték, a furatát öntés után vízszintes helyzetben, egy egyszerű csigás fúróval simították. A technológia még mindig nagyban hasonlított a harangok öntésénél alkalmazott eljáráshoz. Az öntőforma tűz fölött szárított agyagból készült.

Az öntési eljárást többször modernizálták, a legjelentősebb ezek közül a homokformába való öntés kidolgozása volt. Itt öntöttvas formázószekrényeket használtak, ezekbe döngölték a formázóhomokat, és az öntőformát ezek egybekapcsolásával, több

darabból állították össze. Mind a formázás, mind az öntvénytisztítás ideje lényegesen lecsökkent ezzel az eljárással.

A 19. század utolsó harmadára már az ágyúöntésben is eljutottak a fém öntőformák, azaz kokillák használatához. Ezt a rendkívül termelékeny eljárást azonban már nem annyira az utolsó előltöltő, mint inkább az első hátultöltő ágyúk gyártásánál kamatoztatták. A homokformába, majd a kokillába öntés nagymértékben növelte a termelékenységet. Ezt a példát használtam az első fejezetben a vizsgálómátrix új alkalmazásának bemutatására, az adott időszak alatt végrehajtott fejlesztések számosságát, a fejlődés gyorsaságának megjelenítését szolgáló mátrix felvételével.

A bronz lövegcsőre mint öntvényre tekintve két nyitott kérdés merül föl: az anyagösszetételre vonatkozó korabeli leírások eltérnek, tehát nem ismert a pontos ötvözet. Ami még ennél is szembetűnőbb, hogy az öntvény kitáplálása (a zsugorodó fém helyére folyékony bronz vezetése) legalábbis kétséges. A vékonyabb torkolati rész vélhetően korábban dermed meg, mint az alul levő, testesebb rész, tehát elzárja a felülről érkező, folyékony fém útját, azaz az alul lévő, vastag, erősen zsugorodó csőfari rész alakhibás vagy porózus lesz.

Az összetételt két, 18. századi ágyún végzett korábbi vizsgálatom alapján 7,7–9% ónt, és 0,4–0,8% ólmot (itt szennyező) tartalmazó ónbronzként határoztam meg. Ez az összetétel megfelel a Dollaczek [32] által megadott 10:1 (~9%) réz-ón aránynak, ami nem meglepő, mert a két vizsgált 24 fontos ágyú az Osztrák Császárság területén, Bécsben illetve Budán készült. Az ötvözési arányok ettől kismértékben eltérhettek a földrajzi hely és a kor függvényében. Riderer [43] 10% körüli értéket ad meg jellemzően nyugat-európai, az általam vizsgáltaknál korábban öntött ágyúk elemzése után. Tekintve, hogy az ón mindig rendkívül drága volt, úgy gondolom, a Riderer által megadott érték a kohászati eljárások finomodásával egyre inkább a felső határává vált az ötvözet óntartalmának.

A lövegcső dermedésére nézve 2008-ban végeztem kísérletet a leghosszabb ideig használt, agyagformába való öntést véve alapul. Mivel égetett agyagformába bronzot napjainkban csak harangkészítők öntenek, az ő mesterségük pedig nagyban a hagyományokra és csak kevésbé az elméleti számításokra épül, a szakirodalomban nem lehet adatokat találni ilyen öntvények dermedési számításaihoz. A továbblépés érdekében kísérletre volt szükség a dermedési állandó meghatározására. A kapott adatokból számolva a 24 fontos osztrák típusú ágyú közel öt óra alatt (4 óra 51 perc) szilárdult meg. Jelen dolgozatom érdekében a számítást elvégeztem homok öntőformára is ami 2 óra 54 perces eredményt hozott, megerősítve az első

fejezetben szakirodalmi források alapján tett kijelentést, rámutatva, hogy az új eljárás nemcsak a gyorsabb formakészítés, de a gyorsabb dermedés miatt is termelékenyebb volt.

A kapott adatok alapján kiszámítottam, hogy az agyagformába öntött bronz ágyúcső irányított dermedése nem valósulhat meg, az öntvény kitáplálása elégtelen. Bár illet sehol nem írtak le, feltételeztem, hogy az öntőforma felső, torkolati részét előmelegítették. Számítással igazoltam, hogy 310°C-os előmelegítés már biztonsággal elég a megfelelő minőségű öntvény létrehozására. Ezzel rekonstruáltam egy eddig le nem írt technológiai lépést.

A bronz mint csőanyag kiválóan alkalmas volt az elöltöltő ágyúk alapanyagául, egyetlen, fontos jellemzőjét, az árát kivéve. Az olcsó öntöttvas ágyúk gyártását kidolgozó William Hogge brit olvasztár, valamint németalföldi és svéd követői által 1543-tól elért eredmények tették lehetővé az egységes, nagy darabszámú haditengerészeti ágyúpark megteremtésére irányuló törekvések megvalósulását. Nem tudjuk azonban, mi lehetett az a technológiai ugrás, aminek segítségével Hogge ezt elérte. A kulcs valószínűleg a magaskohóból kikerülő nyersvas finomítása, utókezelése. Ebben a tárgyban még további kutatásokra van szükség, jelen tanulmányaimat ebben az irányban szeretném továbbfejleszteni.

Az ipari forradalom aztán elhozta az öntöttvas egyre magabiztosabb alkalmazását. A magas karbontartalmú nyersvasat adó magaskohók az acélgyártó eljárások tökéletesedése okán kiszorították az alacsony karbontartalmú vasbucát eredményező bucakemencéket. Egyre terjedt a koksz használata. Hengerművek épültek, nőtt a félkésztermékek mennyisége, azonban a Henry Cort által 1784-ben szabadalmaztatott kavaro acélgyártás még mindig szilárd terméket adott, azaz a kavarókemence nem volt csapolható. Az eljárás végtermékéül kapott acélbugákat még egybe kellett hengerelni, kovácsolni. Az így kapott félkésztermék a forrasztott acél. Ezt újra kellett olvasztani ahhoz, hogy acélöntvény készülhessen belőle. Az ilyen, újraolvasztott, nemritkán újraötvözött termék neve tégelyacél. Ez az eljárás nem volt termelékeny, emiatt túlságosan drága volt ahhoz, hogy acél ágyúcső előgyártmányául szolgáló öntvényt készíthessenek a segítségével.

Az acélöntéssel ellentétben az ágyúcső fúrásának tekintetében óriási eredményeket értek el a 17-18. század folyamán. A hagyományos eljárás szerint az ágyúcsőveket üregesre öntötték, és egy egyszerű berendezéssel, vízszintes helyzetben „fúrták fel”, valójában simították a furatot. A 17. század végére már általánosan alkalmazták a nagyobb teljesítményű, függőleges elrendezésű fúrógépeket. Itt az ágyúcső a saját súlyánál fogva ereszkedett a forgó fúrófejre.

Óriási fejlődést jelentett a svájci Jean Maritz által Franciaországban, az 1710-es évek elején bevezetett vízszintes elrendezésű fúrógép. Itt már az ágyúcső forgott, így a módszerrel a furat helyzethibája (amikor a furat hossz tengelye és a csököpeny hossz tengelye nem vág egybe) kiküszöbölhető volt. A vízszintes helyzettel munkadarab cseréje is egyszerűbbé vált. A valódi áttörést az jelentette, hogy a gép teljesítménye jóval nagyobb volt, mint elődjéé, és ez lehetővé tette, hogy az üreg nélkül öntött, tömör lövegcsőbe készítsék el a furatot. Az öntvény alakja egyszerűbb lett, feleslegessé vált a furatot kiadó mag alkalmazása.

Jan Verbruggen holland mester vezette be Maritz eljárását brit földön, a woolwich-i Royal Brass Foundry-ban, (Királyi Rézöntöde) ahol a bronzágyúkat öntötték. 1774-ben John Wilkinson előállt egy jelentősen továbbfejlesztett gép szabadalmával: egy hasonló horizontális berendezéssel, ami azonban már alkalmas volt az üreg nélkül öntött öntöttvas lövegek felfúrására is.

Módszere olyan sikeres lett, és annyiban megnövelte a pontosságot, hogy az 1770-es évek végétől a fegyverek átvételét a brit állam részéről végző Board of Ordnance csak tömör öntvényből felfúrt öntöttvas lövegeket fogadott el.

Ezt az eljárást azonban nem csak ágyúfúrássra, hanem gőzgépek hengereinek felfúrására is lehetett alkalmazni. Wilkinson hamar új megrendelőre talált: módszere megadta azt a méretpontosságot, amely lehetővé tette a Watt-féle kisnyomású gőzgépek öntöttvas hengereinek sorozatgyártását, az új technológia elterjedését. Itt bemutattam egy szép példáját annak, amikor egy hadiipari célokra kifejlesztett technológia a békés célú ipart is átformálja, előrelendíti.

III. A HÁTULTÖLTŐ LÖVEGEK FEJLŐDÉSÉNEK ÁTTEKINTÉSE, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A LÖVEGCSŐ GYÁRTÁSÁRA

A simacsöví, elöltöltő lövegek az 1800-as évek közepére elérték lehetőségeik határára. Az első hátultöltő ágyúk a nem megfelelő korai zárrendszerek miatt megbízhatatlannak bizonyultak, több haderőben – ilyen volt az osztrák, de a brit is – az 1800-as évek második felében rövid időre visszatértek az elöltöltőkhöz. A huzagolás előnyeit igyekeztek megtartani, ezért különféle, alakos – szemölcsös lövedékek terjedtek el, amelyeket a megfelelő helyzetbe forgatva a csőbe lehetett csúsztatni.

A fekete lőpor kiváltására szánt lőgyapot (cellulóz-trinitrát) a korai hátultöltőkhöz hasonló zsákutcának bizonyult: a hosszú tárolás után beálló kémiai változások rendkívül veszélyessé tették az anyagot. Több súlyos lőszerraktári robbanás után az uralkodó 1865-ben betiltotta a lőgyapot alkalmazását az Osztrák Császárság területén. Ezt a problémát csak 1886-ban oldotta meg a francia Paul Vieille, aki a zselésített nitrocellulózból éter és alkohol hozzáadásával megalkotta „Poudre B” nevű lőporát, mai nevén a pirocellulózt. Alfred Nobel a következő évben jött ki hasonló, ballisztit nevű lőporával. 1899-ben pedig az angol Sir Frederick Abel és a skót Sir James Dewar megalkotta a máig használt korditot. [35; 229. o.]

Az 1850-es években élénk kísérletezés kezdődött a huzagolt csöví lövegek kifejlesztésére, mind elől- mind pedig hátultöltő változatban. A hazai előrehaladás lassúságát látva az osztrák-magyar haderőben végül is egy francia elöltöltő rendszert, a La Hitte lövegcsaládot rendszeresítették 1859 M jelzéssel. A rendszer előnye volt, hogy a meglévő lövegcsöveket át lehetett alakítani (huzagolni) hátránya az előlről való nehézkesebb töltés és a speciális lövedék. Ezt a lövedéket könnyű felismerni azokról az ón-cink szemölcsökről, melyek palástfelületükből állnak ki és a huzagokba kapaszkodásért felelősek.

Az osztrák haderő 1861-ben vezette be első hátultöltő tüzérségi rendszerét, elsősorban az ostromló- és a vartüzérségnél. A svéd eredetű Warendorf-rendszer hengeres dugasztással rendelkezett (egy nagyméretű, a cső hossz tengelyére merőleges hengeres csap zárta le a csőfart) öntöttvas lövegcsöveket és hengeres, kétharmadáig ólommal bevont lövedékeket alkalmazott. A csöveket a bécsi Arzenálban gyártották és a La Hitte-rendszer lövegtalpaira szerelték. A rendszer nehézsége miatt a tábori tüzérséget az 1863 M elöltöltő, huzagolt ágyúkkal látták el, amelyekben a La Hitte és az 1861 M rendszerek előnyeit kívánták egyesíteni. Ezek a lövegek már tíz évvel később is véglegesen elavultnak bizonyultak a Krupp-féle hátultöltő tábori acélágyúkkal végzett összehasonlító kísérletekben. [36; 72. o.] A nem kevésbé elavult (bár legalább hátultöltő) 1861 M ágyúk azonban még az első világháború

idején is előkerültek mint tartalék lövegek, például 1914 őszén még a Galíciát őrző, kiemelt stratégiai fontosságú Przemyśl-i erőd 875 lövegéből 299 tartozott ebbe a mintába. [36; 123. o.]

A 19. század utolsó negyedére többféle, megbízható lövegzárat is kikísérleteztek, így a század utolsó évtizedére a kisebb hadseregekből is kikoptak az elöltöltők, a hátultöltő ágyúk váltak egyeduralkodóvá. Az első ilyen ágyúk még fekete lőporral tüzeltek, külalakjuk nagyon hasonló volt az utolsó elöltöltő ágyúkéhoz. Talphátrasiklásosak voltak, ami azt jelenti, hogy a lövés visszarúgó erejét a lövegtalp hátragurulása emésztette fel. Nem rendelkeztek lövegpajzzsal. Ilyen volt a bronz csővel készített 1875 M Uchatius-ágyú is, amely – bár néhány évtized alatt elavult – előremutató megoldásaival és azzal, hogy a bécsi Arsenalban is el tudták készíteni, a gyorstüzelő ágyúk megjelenéséig világszinten tartotta az osztrák-magyar tüzérség technikai színvonalát.

A XIX. század második felére nyilvánvalóvá vált, hogy az addigi csőanyagok (bronz, öntöttvas) alkalmazása mellett a lövegek teljesítményét már nem lehet tovább növelni. Acélból – a sokáig egyeduralkodó Krupp Művek kivételével – a korszak gyárai nem voltak képesek olyan nagyméretű, jó minőségű öntvény előállítására, ami a csőkovácsolás előterméke lehetett volna. Számtalan megoldás született öntöttvas, kovácsoltvas²⁵ és kisebb acélelemek alkalmazásával az addigiaknál nagyobb szilárdságú lövegcső előállítására. A XX. század elejére aztán – az acélgyártás és -öntés problematikáját megoldva – általánosan áttértek az acél alkalmazására. Azalatt a néhány évtized alatt viszont, ami a nagyobb teljesítményű lövegek iránti igény és az acél mint csőanyag kiterjedt használata között eltelt, rendkívül érdekes szerkezeti megoldások születtek, komoly szaktudást és mérnöki leleményt investálva a többnyire mindössze az átmenet, a teljes technológiaváltás idejére fennmaradó lövegcső-konstrukciókba. Az átmeneti ágyúk tehát a korszak legfejlettebb, elérhető technológiai segítségével hoztak létre minőségi javulást.

²⁵ Dolgozatomban – ahogy annak idején – használok a „kovácsoltvas” kifejezést, itt kifejezetten a kevésbé ismert és használt „kavartacél” helyett is. A Henry Cort által 1784-ben szabadalmaztatott kavarókemencéből kikerülő vasbugát kovácsolással és hengerléssel dolgozták fel. A kavartacél alacsony karbon tartalmú, jól hegeszthető és kovácsolható volt, általában rúd formájában forgalmazták.

III.1. A korszak acélgyártása

Az ipari forradalom vas- és acélgyártás terén elért rendkívüli fejlődését az 1800-as évek közepéig fentebb tárgyaltuk. A nyersvasból acélt előállító kavaró eljárás az addigi frissítő metódusnál jóval termelékenyebbnek bizonyult, ám az évek előrehaladtával egyre kevésbé volt képes az ipar növekvő acéligényének kielégítésére. Az ok maga a módszer: hiába adott a nagyolvasztó csapolható, folyékony nyersvasat, a kavarókemencéből még mindig szilárd vas-karbon ötvözet került ki. A fő tényező a kemencében elérhető hőmérséklet volt: a magasabb karbontartalmú nyersvas folyékonyan tartható volt benne, ám a szénttartalom csökkenésével az ötvözet fagyáspontja megnövekedett. Ez azt okozta, hogy a szilárduló acél a kavarórudakra csapódott ki, vasgomolyák formájában. Ezeket a gomolyákat át kellett kovácsolni vagy hengerelni, hogy homogén anyagot kapjanak. Erre a legtermelékenyebb eljárást szintén Cort szabadalmaztatta 1783-ban. *„Eljárásának lényege abban állt, hogy a salaktalanított gomolyákat tömörítő és formát adó kovácsolás után laposvassá, ún. nyerssínne hengerelte. A nyerssíneket feldarabolta, majd azokból, egymásra rakva, csomagot, pakettet állított össze: ezt magas hőmérsékleten izmította, majd féltermékké (bugává) vagy rúdvassá hengerelte. A csomag nyerssínjei hengerlés közben összehegedtek (összeforrtak). A kavarókemencés, pakethengerlő üzemek voltak az ún. vasfinomítók.”* [70; 11. o.]

Amennyiben pontosan ötvözött, homogén összetételű acélra volt szükség, a kavartacélt összetörték, válogatták, és kisebb tűzálló olvasztótégelyekben újraolvasztották és ötvözték. Az így nyert tégelyacél igen jó minőségű, csapolható – önthető volt, de csak kis mennyiségekben volt előállítható.

Nyilvánvaló volt, hogy a valódi, megnövekedett igényeket kielégítő termelékenységhez az kellett, hogy az acélt is a nyersvashoz hasonlóan, nagy mennyiségben, tetszőleges adagokban, folyékony formában tudják csapolni, azaz *folytacélt* készíteni. A kavaró eljárással készült *kavartacél* a nehézkes, immáron nem elége termelékeny metódus miatt egyszerűen túl drága volt a széleskörű ipari, hadiipari felhasználásra. [71; 68. o.]

Bessemer módszere

Ezzel szembesült Henry Bessemer, aki a krími háborútól inspirálva kidolgozott egy olyan lövedéket, amelyet sima csövű ágyúból lehetett kilőni, de a löporgázok hatására éppúgy forgott hossz tengelye körül, mint a huzagolt csőből kilőttek. A brit hadvezetés nem is foglalkozott az ötlettel, a franciák jónak találták, de úgy vélték, a lövedék nagy súlya

túlságosan megterheli a csövet, így az akkoriban használatos öntöttvas lövegek károsodhatnak. [71; 68. o.] [72] Bessemer úgy gondolta, lehetséges a nyersvas tulajdonságait az addiginál termelékenyebben javítani. Rádöbrent, hogy úgy tudja megnövelni az acélt adó reakció felületét, ha nem a megolvasztott nyersvas felületére fúvatja a forró levegőt, ahogy az addigi eljárásokban tették, hanem az olvadék aljára – akár hideg levegőt is! (Innen az eljárás neve: szélfrissítés.) Erre a célra egy speciális dönthető, fúvatható, tűzálló téglákkal bélelt üstöt – konvertert – dolgozott ki. A módszer rendkívül sikeresnek bizonyult, és valóban megengedte a hideg levegő befúvását, ugyanis a szennyezők gyors kiégése hőtermelő folyamat: a karbon és a szilícium kiégése megnövelte az olvadék hőmérsékletét. A reakció rendkívül gyorsan, körülbelül 20 perc alatt lejártszódott. A heves reakció okán nehézséget okozott a vasban tartani a megfelelő mennyiségű (0,2 – 2,1%) karbont. A kiégés fokát a gyakorlott adagvezető a konverter száján kicsapó láng alapján becsülte meg. A fúvás leállítása után a konverterbe ferromangánt és ferroszilíciumot adagoltak, hogy a fémet dezoxidálják. Ha úgy ítélték meg, hogy a karbontartalom a szükséges szint alá szaladt, visszaötvözték az adagot, tükörvasat (magas karbontalmú nyersvas) adagolva hozzá.

A dezoxidáció ellenére bennmaradt fölösleges oxigén a megszilárdult fémbe törékenységet, ridegséget okozott, ez volt az egyik oka, hogy az 1855-ös szabadalom felhasználói sokáig nem voltak képesek igazán jó minőségű folytacél előállítására. [28; 66. o.] [71; 68. o.] A másik ok az volt, hogy az eljárás eredeti formájában nem volt képes a foszfor kiégetésére. (A Bessemer által használt érc véletlenül nem tartalmazott foszfort, azonban a hozzáférhető ércek jó része igen.) Ez a szennyező már kis mennyiségben is törékenységet, ridegséget okoz, nagyobb mennyiségben teljesen használhatatlanná teszi az adagot. Emiatt a szélfrissítés széles körben csak a 80-as években terjedt el, azután, hogy Gilchrist Thomas az addigi savas, kvarcalapú konverterbélés helyett bázikus, dolomitból készült tűzálló bélést vezetett be. Ezzel olyan salak alakulhatott ki, amely felvette a foszfort, kivonva azt a fémből. Ettől az időtől kezdve tulajdonképpen a kétféle, szinte azonos eljárást párhuzamosan alkalmazták, a hozzáférhető (foszfortartalmú vagy foszfor nélküli) vasérc függvényében. [28; 66. o.] A Bessemer-acélt kopásállónak, de ridegnek tartották, így gyakran ódzkodtak finom acéltermékek előállítására használni azt. Magyarországon elsőként 1868-ban Resicán indult konverteres acélgyártás. A fenti problémák miatt igen óvatosan indultak, öt év után is csak a termékek 10%-a készült így. A nehezen beállítható karbontartalmat a kész ötvözet célszerű felhasználásával ellensúlyozták, ezt lehetővé tette a gyártmányok széles köre. Érdekes a régi és az új módszer vegyes felhasználása, például a magas karbontartalmú (kemény, kopásálló) Bessemer-acélt vasúti sín pakettáló hengerlésekor a fejrészhez használták. [28; 69. o.]

A konverteres eljárás nagyban növelte az acélgyártás termelékenységét, és csökkentette az árakat. A tonnánkénti árak Nagy-Britanniában 50-60 £-ról (50-95 \$) lementek 6-7 £-ra (9-11 \$). [71; 68. o.] Amerikában sem volt ez másként: Pennsylvania-ban a kavaró kemence 8 óra alatt egy tonna acélt adott 300 \$-ért, míg a konverter 25 tonnát, tonnánként 60 dollárért. A termelés itt az 1867-es 2300 tonnáról 1875-re 260000 tonnára futott. [73; 55-60. o.] Maga Bessemer az eredeti cél tekintetében is sikert könyvelhetett el: az 1862-es Világkiállításon bemutatta folytacél ágyúcsövét. [28; 63. o.] [9; 105. o.] Új fejlesztéssel mennyiségi növekedést ért el. Minőségi előrelépésről egyelőre nem beszélhetünk, mert kezdetben saját ágyúcsöve kivételével Bessemer acélját még csak téglyacélként újraötvözve [9; 408. o.] használták lövegcső-gyártásra.

24. táblázat: Bessemer acélgyártó eljárásának vizsgálata

		Az elért eredmény	
		Mennyiségi növekedés	Minőségi fejlődés
Az alkalmazott technológia	Adaptáció	0	0
	Új fejlesztés	+	0

Azt látjuk tehát, hogy a kifejezetten hadiipari célra kidolgozott eljárás forradalmasította az acélgyártást, és nagy hatással volt a mindennapi életre azáltal, hogy olcsóvá tette az acélt. Ezzel lehetővé tett olyan fejlesztéseket, mint a felhőkarcolók megépítése vagy a vasúthálózat nagyarányú fejlesztése.

Továbbfejlesztett acélgyártó eljárások

Ahogy fentebb írtam, a Bessemer (Bessemer-Thomas) eljárást nem tartották teljesen megbízható, a különleges kívánalmaknak megfelelő – nagy terhelésnek kitett gépalkatrészek, szerkezeti elemek (ágyúcsövek) gyártására szolgáló – acélok előállítására feltétlenül alkalmas módszernek. Azt lehet mondani, hogy a kavaró eljárás és a szélfrissítés párhuzamos alkalmazása tudta az ipart az összes szükséges acélfélével ellátni. Az 1864-ben szabadalmaztatott Siemens-Martin eljárás bizonyult végül teljesen megfelelőnek, alkalmasnak arra, hogy mindkét acélgyártó eljárást kiváltsa.

A Siemens-Martin eljárás a Carl Wilhelm Siemens által szabadalmaztatott gáztüzelésű rendszeren alapult. Ennek legfontosabb vívmánya, hogy a fűtéshez szükséges gázt és levegőt

erősen előmelegítve juttatják el az égőtérbe. Ezt úgy érik el, hogy a lángkemence olvasztótère alatt négy, téglaráccsal bélelt kamra van. Ezeken váltakozva áramlanak ki a füstgázok, és be a gáz és a levegő. Amíg egy-egy, előzőleg a füstgázok által előmelegített kamrán át a fűtéshez szükséges levegő és gáz áramlik az égőtérbe, addig a távozó füstgázok felmelegítik a másik kettőt. Így mindig meleg a gáz és a levegő, és a kemence magasabb hőmérsékletre fűthető fel.

Önmagában ez a fejlett fűtés nem volt elég acél előállítására, bár az üveggyártásban sikerrel alkalmazták. Pierre-Émile Martin dolgozta ki azt a kemencefalazatot és azt a salakvezetési metódust, (azaz a folyékony fémekben végbemenő változások kontrollját a felszínét borító salak tulajdonságainak megváltoztatásával) ami végül is addig nem látott lehetőségeket adott a kohászok kezébe. Ezzel az eljárással lágyvastól a magas karbontartalmú acélig bármilyen termék előállítható volt, sőt gyengén ötvözött acélok is. Nagy előnye volt még, hogy nem volt érzékeny az alapanyagra, sőt ócskavas felhasználását is lehetővé tette, ami jelentős költségcsökkenéshez vezetett. Egyetlen hátránya, hogy termelékenysége a tizede a szélfrissítéssel eljárásénak. [28; 66-67. o.] A Siemens-Martin eljárás száz évig uralta az acélgéártást, csak napjainkra szorították ki az oxigénes konverteres eljárások. Magyarországon 1876-ban indult a martinacél géártása Resicán és 1879-ben Diósgyőrben. [28; 72-73. o.]

A Siemens-féle tüzelési eljárás forradalmasította az addig kevésbé termelékeny tégelyacélgéártást is. Ezt a rendkívül drága és munkaigényes eljárást 1740 táján az angol Benjamin Huntsman dolgozta ki, lényege az volt, hogy tűzálló agyagtégelyekben olvasztotta és ötvözte újra a frisstűzön frissített acélt. A hatékonyabb fűtéssel a beolvasztható mennyiség jelentősen megnőtt, így már lehetővé vált nagyobb méretű, erősen ötvözött acélöntvények készítése is. Azt lehet mondani, hogy a Siemens-féle tüzelés elterjedése kellett ahhoz, hogy a folytacél (öntött acél)²⁶ mint csőanyag általánosan elfogadottá váljon. Magyarországon 1889-ben Resicán kezdték a tégelyacélgéártást, [28; 187] 1897-ben pedig Diósgyőrben [28; 367] is bevezették ezt az eljárást.

²⁶ Remport [28] megkülönbözteti az öntöttacélt (Gussstahl) ami tégelyacélt jelent, és folytacélt, ami a bessemerezéssel induló, modern, folyékony acélt eredményező eljárások terméke. Én a hétköznapi szóhasználatnak megfelelően nem teszek éles különbséget.

III.2. Krupp és versenytársai

Alfred Krupp már 1844-ben elkezdte kísérleteit acél ágyúcsövek előállítására. Erre azért volt lehetősége, mert a család üzemében apja, Friedrich Krupp 1816-tól készített acélöntvényeket, tehát megvolt a tapasztalat, a technológia és a felszereltség a rosszul önthető acél ilyen megmunkálásához. Alfred Krupp 1847-ben [35; 230. o.] készített először acél ágyúcsövet öntött félkésztermékből, gépi megmunkálással. Az 1851-es világkiállításon mutatta be ezt a gyártmányt, ahol óriási sikert aratott. A találmány nem is jöhetett volna jobbkor, hiszen a hátultöltő, huzagolt puskák hatásos lőtávolsága eddigre megközelítette a simacsöví, előltöltő ágyúkét. A lövegek lőtávolságát növelni kellett, pontosságukat pedig huzagolással javítani, hogy a megnövekedett lőtávolságon is képesek legyenek a célokat eltalálni. A nagyobb lőtávolság megnövekedett torkolati sebességet jelentett, ez viszont nagyobb nyomást a csőűrben. Az ideális csőanyag tehát szívós kellett legyen, hogy a nyomást elviselje, de egyben kemény is, hogy a huzagokba préselődő, gyorsuló lövedék a cső belsejét, elsősorban a huzagolást ne károsítsa. Egy korabeli (1865-ös) forrás szerint [9; 94. o.] az akkori öntöttvas szakítószilárdsága 19000 Psi (~131 Mpa) az ágyúbronzé 34000 Psi (~235 Mpa) míg az öntött acélé 120000 Psi (~828 Mpa) volt.

Az öntött acél az első időkben még tégelyacélt jelentett. Elsőként az essenai Krupp vállalatnak sikerült ezt olyan tömegben előállítania, hogy csőanyagul szolgáló félgyártmányt önthessenek belőle. Ők a kezdetekben még kavartacélt használtak alapanyagul, de később az elsők között telepítettek Bessemer-konvertereket. Krupp tulajdonképpen a régi módszert többszörözte: négyszáz darab százfontos tégelyt használt egy húsztonnás öntvényhez. A kavartacélt összetörte, és a megfelelő darabokat használta csak fel az újraolvasztáskor. [9; 408. o.]

1847-ben készítette első acélágyúját, öntött félkésztermékből, gépi megmunkálással. Ez az előltöltő cső olyan jó minőségűnek bizonyult, hogy a porosz haderő 300 darabot rendelt belőle. [35; 230. o.] Kora legfejlettebb eljárásait használta fel kiugróan magas szinten a jobb minőség, azaz a jobb tulajdonságokat mutató lövegcső előállítására.

Krupp 1853-ban mutatta be első hátultöltő ágyúját. A francia-porosz háború (1870-71) után a porosz haderőben még külön űrméretet vezettek be a tábori tüzérség (78,5 mm) és a lovaglő tüzérség (88 mm) számára, azonban ezt a folyamatos fémtani kutatásoknak köszönhetően az 1873/88 M rendszerben egységesíteni tudták a nagyobb űrméretre. Az 1873/91 M rendszerben alkalmaztak először nikkelacél csöveket.

A külföldi összehasonlító lövészetek és tartóssági próbák a Krupp-féle ágyúk vitathatatlan sikerével zárultak. A Párizsban 1857-ben végzett kísérletek azt mutatták, lehetetlen komoly károsodást előidézni ezeken az ágyúkon pusztán a tüzelés által. A vizsgált 12 fontos elöltöltő, simacsövű Krupp-féle ágyúk egyikével 3000 lövést adtak le, majd – mivel károsodást nem tapasztaltak – elkezdték növelni a hajítótöltetet és a lövedéktömeget. A cső még akkor sem károsodott, amikor háromszoros löpormennyiségre hat golyót töltöttek, bár a golyók már a csőben darabokra törtek, és az ágyú minden tüzeléskor mélyen a földbe fúródott. [9; 103. o.] Woolwich-ben 1862-63-ban végeztek hasonló kísérleteket huzagolt hátultöltő Krupp-ágyúkkal. Mind a háromféle vizsgált űrméretnél elmentek tízszeres lövedéktömegig és dupla hajítótöltetig, károsodás nélkül. [9; 93. o.] Az osztrák-magyar haderő által 1873-ban végzett összehasonlító kísérletsorozatban úgy találták, hogy német hátultöltő huzagolt ágyú minden tekintetben messze felülmúlja az 1863-ban rendszeresített osztrák-magyar elöltöltő huzagolt ágyút. [36; 73. o.]

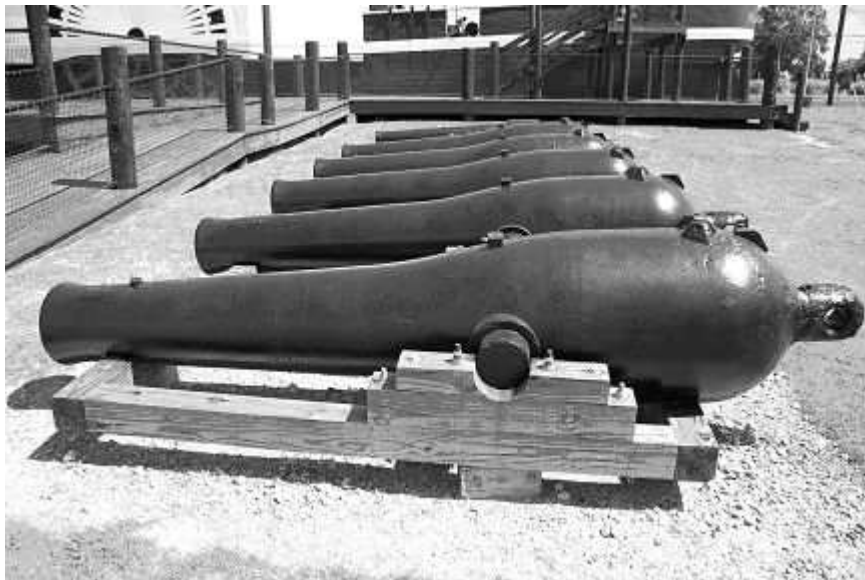
Ezek után nem meglepő, hogy a porosz haderőn kívül számos más állam hadserege is használta a Krupp-féle ágyúkat.²⁷ A cég féltékenyen óvta titkát: mindent megtett, hogy előremutató technológiája ne jusson a gyárfalon kívülre. Saját munkáslakótelepet létesített, nem is annyira szociális céllal, inkább azért, hogy a dolgozók ne vigyék ki a titkokat. Törekvését siker koronázta: néhány évtizeden keresztül a haderők választhattak, vagy megveszik a drága porosz ágyúkat (és ezáltal esetleg nemkívánatos függésbe kerülnek egy potenciális ellenségtől) vagy valamilyen más megoldást keresnek a lövegcsövek tulajdonságainak javítására.

Továbbfejlesztett öntöttvas ágyúk

A Krupp-féle ágyúk kiváltására a legkézenfekvőbb és egyben legolcsóbb megoldás az öntöttvas lövegek további alkalmazása volt úgy, hogy az ágyúcső falvastagságát jelentősen megnövelik. A tömeg megnagyobbodását úgy próbálták ésszerű határok közt tartani, hogy a csőben uralkodó nyomáseloszlásnak jobban megfelelő alakot választottak, ezért ezek az ágyúk jelentősen nagyobb falvastagságúak a csőfarnál, mint a torkolati részen. Ezek a lövegek még így is nehezek, bár jóval olcsóbbak, mint a később tárgyalandó épített ágyúk. A nagy tömeg miatt tábori ágyúkat nem, erőd- és partvédő lövegeket viszont annál inkább készítettek

²⁷ Már 1865-ben francia, belga, osztrák, orosz, egyiptomi, svájci, holland, bajor és norvég szállításokról írnak, külön kiemelve az Oroszországnak készülő nagyobb mennyiséget. [9; 92. o.]

ilyen módszerrel. Tipikus (és talán Verne óta a leghíresebb) képviselője ennek a fajtának az amerikai kolumbiád, de számtalan egyéb reprezentánsát találhatjuk a kategóriának a különféle francia vagy éppen osztrák erődlövegektől Dahlgreen-féle palackágyúig.



21. kép: Dahlgreen-ágyúk (Polgárháború Múzeuma, Port Columbus)

Látszik, hogy az öntöttvas ágyúk kilógnak az átmeneti lövegek kategóriájából, hiszen már a tárgyalt korszak előtt is léteztek (a kolumbiádokat 1811-ben állították rendszerbe) és a legnagyobb jóindulattal sem mondhatjuk, hogy a gyalogsági fegyverek lőtávolság-növekedése kényszerítette ki létrejöttüket. A továbbfejlesztésüket viszont már részben igen: megint a kolumbiádhoz hozva például, Thomas Jackson Rodman fejlesztette tovább azokat, létrehozva a Rodman-ágyút, amit az amerikai polgárháborúban mindkét fél használt szárazföldi nehéztüzérségül is. Ez a löveg elvesztette a régi kolumbiádokra jellemző hagyományos ágyúformát: gyűrűk és méretlépcsők nélküli, sima felszíne kevesebb esélyt ad a repedések kialakulására.

Rodman ráadásul az öntési eljárást is továbbfejlesztette: ki akarta küszöbölni azokat az öntési hibákat, amelyek a nagyméretű vasöntvények készítésekor keletkeztek, és behatárolták a legnagyobb önthető ágyú terjedelmét. Ezek a problémák az öntvény hűlésekor keletkeztek: bizonyos méreten felül túlságosan nagy hőmérsékletkülönbség alakult ki a nagy mérete miatt üregesre öntött öntvény belseje és a gyorsan hűlő külső palástfelület között. Ez azt okozta, hogy repedések vagy hólyagok, üregek keletkeztek a munkadarabon. Az ok a fémek sajátos dermedésében rejlik. Az öntöttvas – lévén egy vas-karbon ötvözet – nem egy pillanat alatt, azonnal dermed meg. Először a leghidegebb felületen jégcsapszerű kristályok (dendritek) keletkeznek, amelyek között a fém még folyékony. A zsugorodó fém szívóhatása ezeken a

kristályok közti üregeken keresztül vonja el a folyékony fém az öntvény melegebb részeiből. Ha a munkadarab dermedése nem jól irányított, tehát vannak a hűlés közben olyan időszakok, amikor már ezekbe a csatornába, üregekbe nem tud folyékony fém bejutni, itt üregek, hólyagok keletkeznek. A konkrét ágyúnál még ennél is rosszabb történhetett: palackszerű alakja azt hozta magával, hogy a vékonyabb torkolati rész dermedt meg először, így – a folyékony fém pótlása híján – a zsugorodó vastagfalú farrész szinte letépte a már megszilárdult torkolati részről saját magát, a munkadarab keresztben elrepedt.

A 15. században az első hosszú ágyúk öntésével kísérletező mesterek hasonló problémával találták szembe magukat, ám ők – köszönhetően az akkori ágyúk kisebb átmérőkülönbségeinek és a bronz jobb hővezetésének – az öntőforma torkolati részének előmelegítésével megoldották a problémát. Rodman-nek ennél többre volt szüksége: az öntöttvas formaszekrény (a homok öntőformát ebbe a több darabból álló, az ágyú méreteinek megfelelően változó átmérőjű csőbe döngölték bele) körül tüzeltek, míg a furatot kiadó magban hideg vizet áramoltattak. [9; 110. o.] Ezzel elérték, hogy a cső furatközele része dermedt meg először, ez lett a leginkább homogén, a legellenállóbb része az egész öntvénynek.

A sikeres módszernek köszönhetően valóban óriási és valóban messzehordó lövegeket készítettek. Később az ágyúk egy részét huzagolt csövűvé alakították, úgy, hogy forrasztottacél (tehát hagyományos eljárással készült, nem folytacél) huzagolt betétcsövet illesztettek a csőfuratba. Annyira bevált a Rodman által kidolgozott öntési eljárás, hogy később a Parrott-féle, acélgyűrűvel erősített lövegeket külön jelölték, ha belső, öntöttvas részüket ezzel a módszerrel készült.

Abronsolt ágyúk

Amint azt tudjuk, az öntöttvas ellenálló a nyomó igénybevétellel szemben, ám húzásra jóval kevésbé terhelhető. Ez az ágyúkészítőknek azért rossz hír, mert a lövéskor fellépő nyomás az ágyúcsövet tágítani igyekszik, azaz anyagában érintő irányú húzó igénybevételt kelt. A brit Alexander Blakely százados 1855-ös szabadalma erre válaszul egy olyan ágyút ír le, ami öntöttvasból, vagy acélból készül, és acélhüvellyel van megerősítve a farrésznél.

Ezt a megoldást éppen a britek nem fogadták el, mert veszélyesnek minősítették az ilyen csöveket, és inkább megkezdték az Armstrong-féle épített ágyúk gyártását [72; 3-4. o.] (ld. később). Ennek ellenére Blakely számos löveget tervezett és valósított meg, és még

többen másolták ötletét. Robert Parker Parrott százados ágyúja talán a leghíresebb mindezek közül.²⁸ Parrott az öntöttvas alapső farrészére egy vörösen izzó acélhüvelyt húzott, majd a csövet vízzel lehűtötte. Mikor a hüvely kihűlt, összezsugorodott, és komoly erővel nyomta össze az öntöttvas csövet, érintő irányú nyomófeszültséget hozva létre annak anyagában. A lövéskor fellépő igénybevétel először ezt a nyomófeszültséget oldotta fel, ezért a nyomáscsúcson fellépő, a cső rugalmas tágulását okozó érintő irányú feszültség jóval kisebb értéket ért el, mint a bandázs nélküli ágyúknál.

Parrott ágyúi viszonylag olcsón gyártható, hatásos fegyverek voltak, a 10 fontos tábori ágyútól a 300 fontos partvédő lövegig többféle űrméretben alkalmazták azokat. Csak a 10 fontos lövegből körülbelül 600 darabot használtak az amerikai polgárháborúban. Ezek a tábori lövegek könnyűek voltak (405 kg) és hatásos lőtávolságuk elérte az 1800 métert, egyetlen hibájuk volt, hogy néha csövük éppen az erősítő hüvely előtt elrepedt. (Tehát a brit szakértők nem teljesen alaptalanul utasították el Blakely terveit.) A körülbelül 74 mm-es tízfontos Parrott-ágyúkat aztán felfűrték 76,2 mm-re hogy a rendkívül sikeres háromhüvelykes ágyúk (ld. később) lőszerével tüzelhessenek. [52; 27. o.]

Természetesen merült fel a tervezőkben a kérdés, lehetne-e az erősítő hüvely helyett az egész csövet forrasztottacélból készíteni. A válasz az amerikai polgárháború talán legsikeresebb lövege, a háromhüvelykes (76,2 mm) tábori löveg lett. Ennek csövét úgy készítették, ahogy a puskacsöveket az adott korszakban: egy megfelelő méretű hengerelt acélszalagot a fehérizzásig hevítve hajlítottak hosszában csövé, kovácshegesztéssel egyesítve azután a szalag két szélét. Ez az eljárás könnyű, de szívós löveget eredményezett, hátránya volt azonban, hogy nagyobb űrméreteknél már nem lehetett alkalmazni. A háromhüvelykes ágyú csöve mindössze 370 kg-os volt, lövedékét 3,9 km-re repítette. [52; 29-30. o.]

Az első épített ágyúk

A háromhüvelykes ágyú csövét úgy készítették, ahogy a puskákéit abban a korszakban. Igazság szerint volt egy másik, talán ősből módszer is a puskacső-gyártásra. Ekkor a fegyverkovács egy négyzetes vaspálcát tekert fel egy, a kívánt űrméretnek megfelelő rúdra, mint egy rugót, majd az így kapott csövet simára kovácsolta, azaz kovácshegesztéssel

²⁸ Parrott tagadta, hogy terve Blakely ötletén alapulna, sőt, egyenesen elítélte a szerinte szükségtelenül bonyolult Blakely-féle ágyút, amit a déliek használtak – ebben az volt az igazán bájos, hogy a déliek a Brooke-féle löveget használták, amit szintén egy korábbi Blakely-ágyúról másoltak. [74; 61. o.]

egyesítette. Tulajdonképpen ezt a módszert használta fel Sir William Armstrong is ágyúinak elkészítésére. Természetesen a méretek nagyobbak voltak, mint egy puskánál, ezért a módszerek sem lehettek teljesen azonosak.

Az Armstrong által kidolgozott eljárás annyira sikeresnek bizonyult, hogy szabadalmát nem hozták nyilvánosságra, azt a brit törvényhozás kisajátította. Körülbelül 3000 db Armstrong-féle ágyú készült az eredeti módszer szerint. [9; 1. o.] Az 1860-as években aztán termelékenyebb, hatékonyabb eljárásokat kezdtek alkalmazni, módosítva, de gyökeresen meg nem változtatva az eredeti technológiát. A továbbiakban Armstrong eljárását az eddigieknél részletesebben ismertetem, mert ez minden épített ágyú gyártásának az alapja, őstípusa.

Armstrong mindenekelőtt nagyon fontosnak tartotta a jó minőségű alapanyagot. Az általa megrendelt félkésztermék 85% Yorkshire-i kovácsoltvas (itt: forrasztottacél²⁹) és 15% hidegen fúvatott, faszénnel olvasztott nyersvasból készült svéd kovácsoltvas (forrasztottacél) keveréke volt.³⁰ Az anyaggal szemben követelményként megadták a szakítószilárdságot és a rugalmassági határt.³¹ A rúdvasat enyhén trapezoid keresztmetszetűre készítették, így az a hajlításkor vált négyzetes keresztmetszetűvé, mert a külső átmérő nyúlt, és karcsúbbá vált, míg a belső zömült és vastagodott. A rúd hossza 120 láb (~36,6 m) volt, vastagsága 3-5 hüvelyk (7,62-12,7 cm). [9; 3. o.] Ezt a szálát tekerték melegen egy megfelelő méretű hengerre.

Ha az így kapott cső hossza elérte a 3-5 lábat (0,91-1,52 m) újramelegítették, felállították egyik végére és gőzkalapáccsal megütötték. Így a spirál menetei összehegedtek. Ezután a palástfelületet is átdolgozták gőzkalapáccsal, a jobb hegedés és a tökéletes alak érdekében. A rövid csődarabokat egy speciális, keskeny kemencében hegesztették össze. A két csőszakaszt a közepükön átvezetett menetes szárral egymáshoz húzták, úgy, hogy egy-egy végük tökéletesen egymásra simuljon. A kemencéből a csődarabok másik vége kilógott, így csak az illesztés környéke melegedett át. A menetes szárat ekkor meghúzták, így az izzó, egymáson fekvő csővégek összehegedtek. Ezután a kapott csövet egy megfelelő méretű tüskére húzva átkovácsolták gőzkalapáccsal, hogy elsimítsák a frissen hegesztett felület zömülését, és biztosítsák megfelelő alakját. Ezt az eljárást addig ismételték, míg a kívánt csőhosszt el nem érték.

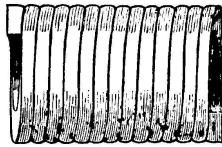
²⁹ Hagyományos eljárással készült, nem folytacél.

³⁰ Ekkor már a fejlett ipari országokban meleg levegőt fúvattak a magaskohókba, és koksszal fűtötték azokat. A svédeknel fennmaradt ősből eljárás hideg levegő befúvása mellett faszénrel fűtötte a kohót. Itt főleg a faszén tüzelőanyag a fontos, ami nem viszi be a ridegséget okozó kenet a vasba, mint a mindig kénnel szennyezett kőszénből készülő koksz.

³¹ 60480 Psi (~417 Mpa) és 56000 Psi (~386 Mpa) közti szakítószilárdság, legalább 29120 Psi (~201 Mpa) rugalmassági határ húzásra, és 31360-33600 Psi (~216-232 Mpa) közti rugalmassági határ nyomásra. [9; 2-3. o.]



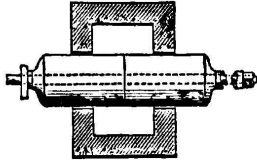
a) *rúdvas keresztmetszete*



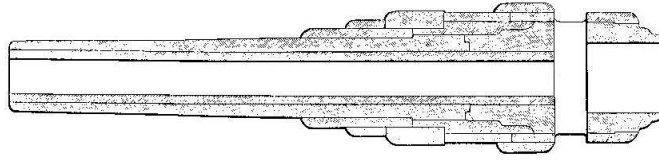
b) *spirál*



c) *csőszakasz*



d) *egyesítő kemence*



e) *kész 110 fontos ágyú metszete*

12. ábra: az Armstrong-féle csőkovácsolás lépései és a kész 110 fontos cső [9; 3-4. o.]

Az Armstrong-ágyúk minden esetben legalább két rétegből álltak, azaz egy belső és egy melegen ráhúzott külső csőből építették azokat. A külső csövet a 110 fontos ágyú kivételével nem egyesítették, tehát a 3-5 láb hosszú csődarabokat nem hegesztették egymáshoz. (Kivételként volt olyan ágyú is, amelynek köpenycsővét két szalagból alkották meg, mindkettőből esőcsatorna-szerű félkörös vályút formálva, majd ezeket hosszában összehegesztve.) A csőfar és a csőcsapokat tartó gyűrű teljesen más módszerrel készült, azokat egy darabból kovácsolták.

Az egyes alkatrészek általában zsugorkötéssel kapcsolódnak (például a köpenycső a betétcsőhöz) de speciálisan a csőfart a nagyobb űrméreteknél hozzáhegesztették a külső csőhöz. A cső sajátos kivitele miatt az ilyen ágyúk nem voltak hajlamosak csőrobbanásra, túlterhelés esetén megrepedtek és lefűjtak, de sohasem törtek szilánkosan. Ezért – bár volt néhány baleset ilyen csövekkel – súlyos sérülést egyik sem okozott, ami miatt a tüzérek különösen kedvelték Armstrong ágyúit.

Továbbfejlesztett épített ágyúk

Az anyagtudomány fejlődésével aztán visszatérhettek az eredeti elképzeléshez, amit fentebb már említett 1855-ös szabadalmában Blakely leírt (és ami alapján Parrott ágyúi is készültek) és elkezdtek egy darabból készíteni a betétcsövet. A külső erősítő részekhez még

mindig az Armstrong-féle, rugószerűen felcsavart rúdból készülő csöveket használták. Később ezeket is kiváltották egyszerűbben gyártható alkatrészekkel. Az ilyen „csőben cső” típusú ágyúk legfejlettebb formája a kétrétegű lövegcső alkalmazása volt: ilyen ágyúk még a második világháborúban sem voltak ritkák. Itt már mindkét réteg öntött, (hengerelt) majd kovácsolt acélból készült, és a külső csövet felhevítve húzták a betétcsőre. A csövet belső nyomással deformáló, és így annak anyagában kifelé csökkenő keményedést okozó speciális autofrettáló eljárások elterjedéséig ezzel a módszerrel tudták a legkisebb tömegű csöveket előállítani. Az egyetlen hátránya ennek az eljárásnak az volt, hogy igazán nagyméretű lövegek (hajóágyúk, vasúti ágyúk) csövének gyártására – egyszerűen a gyárberendezések fizikai nagyságának korlátai miatt – nem lehetett alkalmazni.

Tulajdonképpen Blakely és Armstrong módszerének a továbbfejlesztése a huzalerősítésű ágyú, amit az 1880-as években kezdtek el alkalmazni. James Atkinson Longridge kimutatta, hogy csupán 1/500 hüvelyknyi eltérés az erősítő gyűrű belső vagy a betétcső külső méretében már komoly különbségeket eredményez a csőanyagban keltett feszültségek, tehát voltaképpen az ágyúcső ellenálló képessége terén. Ennek a nehézségnek a kiküszöbölésére vékony huzal alkalmazását javasolta, mert azt közvetlenül a csőre lehet a megfelelő erővel fölcsavarni. [75; 713. o.] A gyakorlatban a négyzetes, 0,1 hüvelyk (2,5 mm) szélességű, önbevonatú acélhuzalt használtak, [76; 1. o.] amit rátekertek a belső csőre, majd köpenycsővel takarták azt. A módszer nagy előnye volt, hogy a huzal előfeszítését rendkívül jól be lehetett állítani, és nem jelentkezett a fent említett pontosságbéli kíváncsi, hátránya még mindig a rendkívül idő-és munkaigényes gyártás. A monoblokk (egy darabból kimunkált) csövek elterjedéséig (ld. lentebb: autofrettálás) a rendkívül nagy méretű hajóágyúk csövei még ezzel a módszerrel készültek.

A fentiekben bemutatott, általam átmenetinek nevezett lövegcsőgyártó eljárások némelyike meglepően hosszú időn át fennmaradt. A törekvés, hogy a szükségesnél gyengébb minőségű anyag korlátait az ésszerű tervezés által átlépjék, olyan megoldásokat eredményezett, amelyek a ma emberét is tisztelettel töltik el. Az a mód, amivel az anyagtudomány elméleti eredményeit azonnal a gyakorlatba ültették (Longridge) pedig egyenesen csodálatra méltó, és utat mutat a ma és a jövő mérnökei számára.

III.3. Acélbronz ágyúk [77]

Az öntöttvas és a forrasztottacél mellett volt egy harmadik ötvözet, ami hagyományosan a lövegcső-gyártás alapanyaga volt: a bronz.

Az osztrák-magyar hadvezetés az 1870-es évek elején jól látta a löveganyag korszerűtlen voltát. Keresni kezdték a lehetőségeket a követelményeknek megfelelő új lövegek rendszeresítésére. 1873-ban érkezett Bécsbe az a Krupp által gyártott 8,7 cm-es hátultöltő, huzagolt, folytacél ágyúcső, melyet az osztrák-magyar hadvezetés összehasonlító kísérleteire kívánt fölhasználni. Úgy találták, hogy német ágyú minden tekintetben messze felülmúlja az 1863-ban rendszeresített osztrák-magyar előltöltő huzagolt ágyút. A következő évben a Katonai Technikai Bizottság újabb lövegeket rendelt a Krupp-művektől, és a császári és királyi 11. tüzérezrednél lefolytatott próbák és összehasonlító lövészetek hatására kijelentették: a tüzérség átfegyverzése elkerülhetetlen. A Krupp-féle lövegek rendszeresítése eldöntöttnek látszott.

Az események ezen a ponton váratlan fordulatot vettek: a Tüzérségi Felszerelések Gyárának igazgatója, Franz Ritter von Uchatius vezérőrnagy kidolgozott egy új gyártási eljárást, amelynek segítségével állítása szerint lehetségessé vált olyan bronz ágyúcsövet készíteni, ami felveszi a versenyt az öntött acél ágyúcsövekkel.

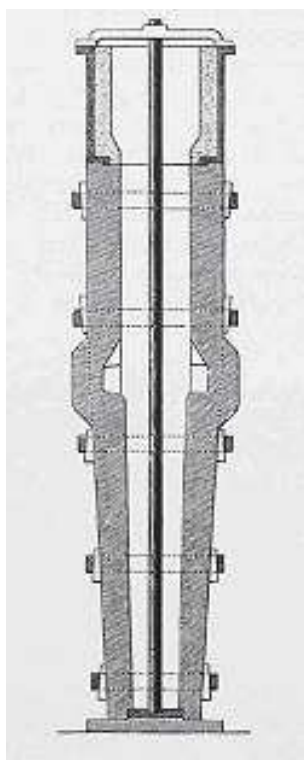
Az acélbronz ágyúcső öntése

A Tüzérségi Fejlesztések Gyárában Uchatius vezérőrnagy vezetésével kifejlesztett acélbronz ágyúcső valóban felülmúlta tulajdonságaiban az addig alkalmazott bronzcsöveket, és felvette a versenyt az (akkori) acélból készült ágyúcsövekkel. Fontos leszögezni, hogy az újítás nem elsősorban az ötvözet összetételében keresendő, hanem a továbbfejlesztett gyártástechnológia eredménye. Az üzem 8 százalék ötvözöt tartalmazó ónbronzot alkalmazott, [10; 116. o.] amely jobban megfelelt az eljárás valódi titkát jelentő utólagos (hidegalakító) kezelésnek, de az újonnan bevezetett kokillaöntés³² következtében hasonló öntés utáni tulajdonságokat eredményezett, mint a homokformába öntött valamivel nagyobb óntartalmú hagyományos ötvözet. A kokillaöntvény ugyanis 2 – 2,5 százalékkal kisebb óntartalom mellett adja ugyanazokat a szilárdsági értékeket, mint a homoköntvény [78; 42-43.

³² Kokilla: fémből készült öntőforma.

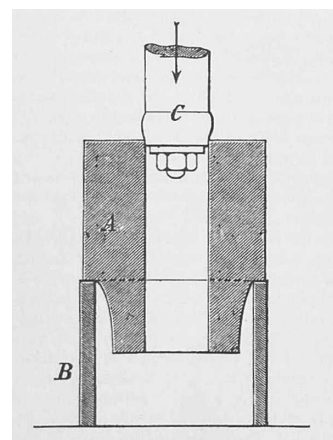
o.] Az egyszerű ónbronzt nem az összetétel, hanem az utólagos mechanikai kezelés tette acélbronzzá.

Az acélbronz ágyúkat torkolattal lefelé, öntöttvas formába öntötték, melynek a felső – a csőfarnak alakot adó – részét homokkal bélelték. Ezzel nagy biztonsággal valósították meg az öntvény irányított lehűlését, tehát azt, hogy a folyékony fém ott szilárduljon meg legutoljára, ahonnan a friss, olvadt fémrel táplálják. Ezáltal ugyan a szívódási üreg helyét a csőfarra tették, de az itt keletkező tölcsér alakú üreg – homokbélés biztosította lassabb lehűlés miatt – sekélyebb és kisebb, tehát könnyebben és kisebb anyagvesztéssel lemunkálható lett. Önmagában ez az eljárás nem hozott kielégítő eredményt: a próbák során a növelt hajítótöltet a csövet megrepeszteni nem tudta, de kitágította. [79; 73.o.] Világossá vált, hogy ez a valóban fejlett öntési eljárás önmagában alkalmatlan a megfelelő csőanyag biztosítására.



13. ábra: Öntőforma

[79; 74. o.]



14. ábra: A cső tágítása acéltüskével

[79; 74. o.]

Az acélbronz ágyúcső keményítése

Uchatius tanulmányozta az orosz Lavrov ezredes módszerét, aki a folyékony fémot megszilárdulásáig nyomás alá helyezte, valóban igen jó mechanikai tulajdonságokat érve el ezzel. Felötlött benne annak a lehetősége, hogy a rendkívül bonyolult és drága orosz eljárás helyett a megszilárdult bronz nyomás alá helyezésével is el lehet érni hasonló eredményt.

Hidegen hengerelt bronzlapokon végzett kísérletei igazolták feltevését, így ezek alapján kidolgozta módszerét az ágyúcső tulajdonságainak javítására. A Tüzérségi Fejlesztések Gyárában kifejlesztett acélbronz ágyúcső kiemelkedő tulajdonságainak hátterében a cső belsejének hidegalakítása, egy mechanikai úton végrehajtott autofrettáló eljárás állt.

Az új eljárás folyamán a cső furatán hidraulikus prés segítségével növekvő átmérőjű acéltüskéket sajtoltak keresztül. A 9 cm-es (87mm) tábori ágyú csövének az első lépés a 8 cm-es kezdeti átmérő 2 mm-rel való tágítása volt, az utolsó lépés, a 87 mm-es átmérő elérésére már csak 0,5 mm-es lépcsővel történt. Az eredmény egy rendkívül ellenálló, kemény, ugyanakkor szívós ágyúcső lett. Az összehasonlító vizsgálatok azt mutatták, hogy az így kezelt bronzcső fizikai tulajdonságai hasonlóak a Krupp-féle gyűrűsacél-cső jellemzőihez. Az első Uchatius-féle ágyút 2146 normál töltetű lövéssel próbálták ki. Az elért löneredmények megfeleltek a Krupp-féle ágyú által produkált adatoknak. Még az sem befolyásolta számottevően az ágyú pontosságát, hogy egy idő előtt, a csőben felrobbant lövedék károsította a huzagolást. További próbák után a Katonai Technikai bizottság az ágyú rendszeresítését javasolta. A döntés mellett szólt, hogy egy acélbronz ágyúcső előállítása Uchatius számításai szerint a Krupp-féle cső árának harmadába került, és a bécsi Arzenálban évi 1200 darabot voltak képesek előállítani. [79; 74-75.o.]

III.4. Az első világháború indukálta fejlődés – folytacél csövek

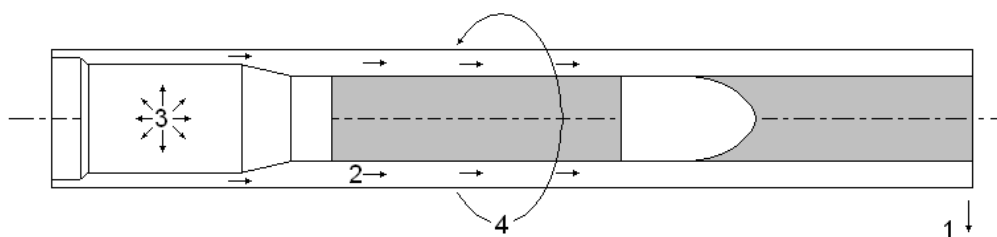
Amint azt az első fejezetben láttuk, az osztrák-magyar haderő csak az első világháborúban tért át (akkor sem maradéktalanul) az acél lövegcsövek alkalmazására. Ennek egyik oka éppen Uchatius zseniális csőgyártó módszere volt, amellyel az akkori (1870-es évek!) acélcsövekhez hasonló tulajdonságú bronzcsöveket lehetett előállítani.

Uchatius módszere mindaddig állta a versenyt az acélcsövekkel, amíg a folytacél magabiztos alkalmazása el nem vezetett a nikkelötvöztetésű, kettős falú, tehát köpenycső-béléscső rendszerű lövegcsövekhez. Ezeknek már lényegesen jobbak voltak a mutatói, mint az acélbronz csöveknek. Az autofrettált (tehát Uchatius módszeréhez hasonlóan hidegalakítással keményített) acélcsövek megjelenése pedig már termelékenység tekintetében is egyértelműen hátrányba szorította a bronzcsöví ágyúkat. A kettősfalú lövegcsövek jelentős minőségi javulást hoztak, míg az autofrettálás a kedvező tulajdonságok megtartása mellett a termelékenységet növelte.

III.4.1. Kettős falú (frettált) és autofrettált lövegcsövek

Az ágyúcsőre számtalan erő hat lövés közben. Ezek közül a saját tömegéből eredő hajlító igénybevétel mindig jelen van, az összes többi viszont visszavezethető a lőpor robbanására. Ha úgy tekintjük az ágyúcsövet, mint egy nyomástartó edényt, amelynek a lövedék a fedele, látszik, hogy a robbanás hatására megnövekedett nyomás kelt egy tengelyirányú erőt, amely nyújtani igyekszik a cső lövedék mögötti szakaszát, és egy sugárirányút, amely tágítani igyekszik a csövet, valamint az elmozduló és a huzagokkal elforduló lövedék kelt egy a huzagokkal ellentétes irányú csavarást.

Legveszélyesebb a sugárirányú erő, amely érintő irányú húzófeszültséget (Lásd: 16. ábra "a") okoz a cső anyagában. (Ezért reped a hurka hosszában.) A cső anyagának vastagítása bizonyos határokon túl nem hatásos, mert a feszültség a csőköpeny felé haladva erősen csökken, azaz a terhelést elsősorban a furatközei anyagrész veszi fel, (Lásd: 16. ábra "b") ráadásul a lövegek tömege sem növelhető határok nélkül.



15. ábra: A lövegcsőre ható erők [31; 51. o.]

1. hajlító; 2. húzó; 3. sugárirányú; 4. csavaró.

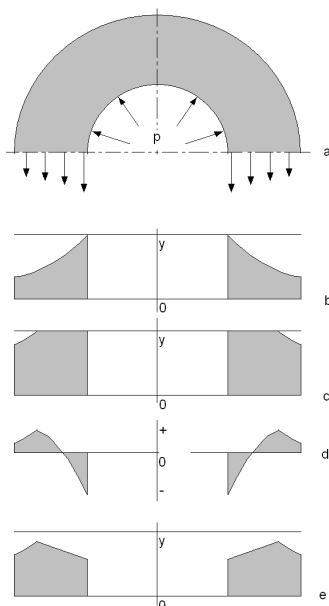
A 19. században már ismerték és alkalmazták a csövek abroncsozását vagy bandázsolását. A csőre húzott abroncsok rugalmas deformációra kényszerítik a cső anyagát, mintegy összeszorítva azt. Ezáltal előfeszítik a csövet, mert annak keresztmetszetét vizsgálva érintő irányú nyomófeszültséget tapasztalunk, amit a lövés keltette hasonló irányú, de ellenkező előjelű feszültségnek fel kell oldania. Hasonló eljárás a csövek bandázsolása, amikor a csőre csévelt acélhuzal- vagy szalag által érik el ugyanezt a hatást.

Jóval fejlettebb módszer a betétcső alkalmazása: ennek előfeszítését úgy érik el, hogy az alulméretes csőköpenyt izzó állapotban húzzák rá. Ezt az első világháborúban elterjedt módszert még a második világháború egyes lövegeinél is alkalmazták.

Logikus megoldása még a problémának a cső anyagtulajdonságainak javítása hőkezeléssel, edzéssel. Amennyiben ez nem teljes keresztmetszetű, hanem egy furatközelet réteget képez, az edzés okozta keménység- és szakítószilárdság- növekedésen felül fellép a martenzites átalakulás okozta térfogatnövekedés hatása. Ekkor egy olyan, kitágult réteg jön létre, amely rugalmas deformációra kényszeríti az őt körülvevő át nem edződött réteget, és létrejön a fentebb leírt előfeszítés.

A hőkezelésnek ez a módja egy rendkívül nehezen kézben tartható folyamat. Jóval egyszerűbb hidegen deformálni a cső anyagát, oly módon tágítva a furatot, hogy annak környezetében az anyag maradé deformációt szenvedjen.

Ismeretes, hogy a fémek mechanikai tulajdonságai hidegalakítással javíthatóak, mert az anyagban lévő rácshibák feldúsulnak, sokszorozódnak, ezáltal torzítva a fémrácsot, ami a fémeket keményebbé és rugalmasabbá teszi. A csőfurat tágítása azonban ennél többet tesz: a cső furatközelet része marad, míg az attól távolabb eső része csak rugalmas alakváltozást szenved. Ezáltal a külső rész mintegy összeszorítja a belső, nagyobb átmérőre deformált furat körüli réteget, érintőirányú nyomófeszültséget hozva létre abban. A lövéskor fellépő gáznyomás ezt a feszültséget mintegy kiegyenlíti, így a terhelés orozslánrészét viselő furatmenti rétegben fellépő érintő irányú húzás nem tudja az anyagot károsítani.



16. ábra: Különféle feszültségek

[20; 115. o.]

- a. az ágyúcsőben fellépő feszültségek;*
- b. alacsony belső nyomás;*
- c. autofrettálás;*
- d. autofrettálás után visszamaradó feszültségek;*
- e. autofrettálás utáni lövés*

Az első világháborúban már megjelentek azok az acél lövegcsövek, amelyeket Uchatius ágyújához hasonlóan hidegalakítással keményítettek. Ezt az eljárást autofrettálásnak nevezzük. Maga a szó francia, (kb: önabroncszó) és általában az eljárást is francia eredetűnek tekintik. Az első, a szakirodalomban említett ilyen módon kezelt löveg egy francia 140 mm-es ágyú, melynek gyártását 1913-ban kezdték. [31; 52. o.] Az osztrák Uchatius elsőbbsége, aki 1874-ben készítette első ilyen (bronz-) ágyúját, ezzel szemben vitathatatlan. Nem lehet azonban kizárni, hogy valóban Franciaországban kezdték a módszer alkalmazását, a franciák 1869-ben rendszeresített hátultöltő bronzágyúja felveti ennek a lehetőségét.

Az autofrettálás feltalálása és bevezetése olyan nagy jelentőségű új fejlesztés, amellyel a gyártott mennyiség növelhető a kettősfalú csövek előnyös tulajdonságainak megtartásával.

Az első világháború legjobb csövei még túlnyomórészt kettősfalúak voltak, tehát köpenycső-betétső kialakítással készültek. A második világháborúban a két metódus egymás mellett létezett, míg a háború után – napjainkig – az autofrettáló keményítés vált egyeduralkodóvá.

III.4.2. Az Osztrák-Magyar Monarchia hadiiparának áttérése az acél lövegcsövekre

Az első folytacél csövek megjelenésekor a Monarchia ipara egyszerűen képtelen volt megfelelő acél nagy mennyiségben történő előállítására, de mint azt korábban írtam, ezt a századforduló környékére megoldották. Mivel az 1880-as években mind Martin-kemencék mind Bessemer-konverterek működtek már Magyarországon is, – ami iparilag Ausztriánál és Csehországnál jóval fejletlenebb volt – azt lehet mondani, húsz éven keresztül inkább a szándék hiányzott, semmint az ipari (műszaki-technikai) háttér. Szinte rejtély, hogy a megfelelő minőségű és mennyiségű acélgyártó kapacitás miért nem testesült meg az első világháborúra nyíltan fegyverkező Monarchia ágyúcsöveiben a századforduló utáni években. Hasonlóan furcsa, hogy a lentebb tárgyalt fegyvergyártó képességet miért nem aknázták ki a szárazföldi tüzérség fegyverzetének modernizálására.

25. táblázat: Az 1914 előtt rendszeresített tábori és hegyi lövegek [11; 106, 145, 161. o.]

	Megnevezés	Löveg- zár	Lövegtalp	Löveg- pajzs	Csőa- nyag
Tábori ágyúk	1875 M 8 cm-es tábori ágyú	régi	merev	nincs	bronz
	1875 M 9 cm-es tábori ágyú	régi	merev	nincs	bronz
	1875/96 M 9 cm-es tábori ágyú	régi	merev	nincs	bronz
	1905 M 8 cm-es tábori ágyú	gyors	csőhátrasiklásos	van	bronz
	1905/8 M 8 cm-es tábori ágyú	gyors	csőhátrasiklásos	van	acél
Tábori tarackok	1899 M 10 cm-es tábori tarack	gyors	merev	nincs	bronz
	1899 M 15 cm-es nehéz tarack	gyors	merev	nincs	bronz
Hegyi ágyúk	1875 M 7 cm-es hegyi ágyú	gyors	merev	nincs	bronz
	1899 M 7 cm-es hegyi ágyú	gyors	merev	nincs	bronz
	1908 M 7 cm-es hegyi ágyú	gyors	csőhátrasiklásos	nincs	bronz
	1909 M 7cm-es hegyi ágyú	gyors	csőhátrasiklásos	nincs	bronz
Hegyi tarackok	1899 M 10 cm-es hegyi tarack	gyors	merev	nincs	bronz
	1902 M 10 cm-es hegyi tarack	gyors	csőhátrasiklásos	nincs	bronz
	1908 M10 cm-es hegyi tarack	gyors	csőhátrasiklásos	nincs	bronz
	1910 M 10 cm-es hegyi tarack	gyors	csőhátrasiklásos	nincs	bronz

Hadd idézzem ide az első fejezetből a fenti 14 lövegre felállított vizsgálómátrix-rendszer alapján hozott megállapításokat (9. táblázat): korszerű: 2 típus; elavult: 13 típus.

Ehhez hozzáteszem, hogy az 1914 előtt rendszeresített tábori és hegyi lövegeket bemutató táblázatból kimaradt sánclövegek, mozsarak, kazamata-ágyúk stb. 41 rendszeresített fajtájából (kihagyva a valóságban már tartaléknak sem használt 1861 M öntöttvas löveganyagot és a kisszámú partvédő löveget) mindössze hét(!) nem bronzcsövű. [9; 106. o.]

A tábori ágyúk esetében, ahol a nagy teljesítmény melletti viszonylag kis súly nem volt olyan lényeges, az 1905 M bronzcsövű ágyúk a háború végéig használatban maradtak. Ám a hegyi tüzérségnél, ahol lényeges volt a súly, vagy a nagyobb lövegeknél (már a 10 cm-es tábori tarackoknál is!) a bronzcső a világháború végére teljesen kikopott a használatból.

A háborúba lépés után az osztrák-magyar hadiipar megkezdte a modern felépítésű, acélcsövű ágyúk nagy sorozatú gyártását.

Összehasonlítva az 1914 előtt rendszeresített tábori és hegyi lövegeket bemutató táblázatot a háború alatt rendszeresített hasonló eszközöket megjelenítővel, a különbség megdöbbentő.

26. táblázat: Az 1914 után rendszeresített tábori és hegyi lövegek [11; 146-148. o.]

Megnevezés	Gyors lövegár	Lövegtalp	Löveg-pajzs	Csőanyag
1915 M 10,4 cm-es tábori ágyú	van	csőhátrasiklásos	van	egyfalú acél
1914 M 10 cm-es tábori tarack	van	csőhátrasiklásos	van	egyfalú acél
1914 M 15 cm-es tábori tarack	van	csőhátrasiklásos	van	egyfalú acél
1915 M 7,5 cm-es hegyi ágyú	van	csőhátrasiklásos	van	kétfalú acél
1916 M 10 cm-es hegyi tarack	van	csőhátrasiklásos	van	egyfalú acél

27. táblázat: Az 5 lövegtípus összevont vizsgálómátrixa

		Az elért eredmény	
		Mennyiségi növekedés	Minőségi fejlődés
Az alkalmazott technológia	Adaptáció	0	++++
	Új fejlesztés	0	0

A 26. táblázat azt mutatja, hogy az újonnan rendszeresített tábori és hegyi löveganyag konstrukciós jellemzőit tekintve korszerű volt, míg a 27. vizsgálómátrix láttatja, hogy az összes löveg esetében adaptálták mind a négy, az első fejezetben meghatározott, minőségi fejlődést hozó technikai megoldást.

Az osztrák-magyar tüzérségi eszközök, a lövegcsőgyártás háború előtti lemaradása szinte érthetetlen. A Skoda Művek az 1880-as évektől kezdve nagyban foglalkozott speciális (hadihasználatú) acéltermékek gyártásával, az 1900-as évek elejére pedig már világszerte szállított nehézlövegeket, löszert. [80] [81] Bátran mondhatjuk, hogy ez a gyár mind nyereségét, mind termékeit tekintve méltó ellenfele volt a német Kruppnak és a francia Schneidernek. [82] Mégis, a háború kitörésekor a haderő szűkében volt a tüzérőnek a szárazföldi egységeknél, bár a tervek és a gyors tömegtermelés eszközei elérhetőek voltak. Hozzá kell tenni azonban, hogy a nagy hadiipari vállalatok – az említettek mellett a brit Vickers és Armstrong gyárak, valamint az orosz Putyilov sorolható ide – egyformán dolgoztak hazai és export piacokra, és profitjuk nagyobb részét a háború előtti évtizedben a

haditengerészetek megrendelése adták. (Emellett tovább árnyalja a képet, hogy a németen kívül az összes hadsereg lemaradt tábori nehézlövegek rendszeresítése terén.) [83; 44.o.] Mindenesetre a Skoda már az 1890-es években szállított a haditengerészetnek és a folyami flottának modern, kis- és nagy kaliberű, hosszú csövű ágyúkat. [84; 284-294. o.] Az általam megtalált legkorábbi, osztrák-magyar, sorozatban gyártott gyorstüzelő, csőhátrasiklásos 7 cm-es (tengerészeti) ágyú képe egy 1896-os(!) kezelési utasításból való. [84; 293. o.]

Az Osztrák-Magyar Monarchia egyértelműen rendelkezett azzal a technológiával és ipari fejlettséggel, ami a korszerű tábori lövegek előállításához szükséges volt. A XIX. század második felében még nem volt képes a Monarchia ipara acél lövegcsövek nagy sorozatú előállítására, ám ezt a századforduló utáni évekre megoldották. Arra, hogy acélcső, hatékony csőhátrasikló berendezés és könnyen kezelhető lövegzár előállítására képesek voltak, jó példa az 1905/8 M 8 cm-es (Skoda) tábori ágyú, vagy a fentebb említett 7 cm-es acél, kettősfalú tengerészeti lövegek. Nehéz megérteni, hogy hogyan rendszeresíthettek mégis 1899-ben, két évvel a francia 75 mm-es gyorstüzelő ágyú után lövegpajzs és csőhátrasikló berendezés nélküli, bronzcsövű lövegeket, illetve miért nem modernizálták azokat, akár az 1880-ban kihozott erődlöveg-családot is belevonva egy ilyen programba.

A lemaradás valódi okának kutatása messze túlmutat e dolgozat keretein. Az osztrák-magyar gazdaság általános gyengesége lehet a kulcs: bár a Monarchia komoly gazdasági fellendülést élt át az 1867-es kiegyezés óta, a világgazdaság 1870 és 1913 közti általános fellendülése ezt elhalványította, sőt, mintegy negligálta: az igazán fejlett régiókhoz képest az elmaradás nem csökkent. [85] Cziegler Gusztáv értékelése szerint *„1914-ben a mozgósításkor az 1905-ből származó tábori ágyún és a 30,5 mozsáron és egynéhány jelentéktelen számú korszerű erőd-lövegen kívül nem volt lövegünk, amely mind lőtávolság, mind tüzelőgyorsaság és hatás tekintetében megfelelt volna a korszerű követelményeknek. ... a népképviseltek, illetve a monarchia delegációi ... nem bocsájtottak megfelelő hitelt rendelkezésre a tüzérség kifejlesztésére.”* [11; 145-146]

A fentiek azt mutatják, hogy az osztrák-magyar tüzérség technikai lemaradásának – és a korszerűtlen bronz lövegcső továbbkalkalmazásának – oka nem az ipari háttér gyengesége vagy a tervezői, technológiai tudás hiánya volt. Ezt a megállapítást erősíti az a tény, hogy a háború kitörése után egy éven belül nagy tömegben kezdtek el korszerű acélcsövű lövegeket gyártani nemcsak a Skoda Művekben, de az osztrák Böhlernél vagy a Győri Magyar Ágyúgyárban is.

A fentiek fényében kijelenthetjük, hogy az osztrák-magyar tüzérség által az első világháború kezdetén használt lövegek mind technikai megoldásaikat mind a lövegcsövek anyagát tekintve elavultak voltak, aminek oka nem az acélipar lemaradásában keresendő.

III.5. Lövegcsövek gyártása a második világháború előestéjétől napjainkig

A napjainkban alkalmazott anyagok és lövegcsőgyártó eljárások alapanyagukat és a cső utókezelését tekintve jobbra megfelelnek a második világháborúban kialakult alapanyagoknak és módszereknek. Az autofrettálás, annak is a hidraulikus válfaja a világháború alatt általánossá vált, de továbbélt a kettősfalú lövegcsövek illetve nagy méretekben a korszerű épített csövek gyártástechnológiája is.

Komoly fejlődést hozott a háború után csövek forgatva kovácsolása, ami nagyban megnövelte a termelékenységet, jól kiszolgálva és a legnagyobb méretektől eltekintve szinte egyeduralkodóvá téve a hasonlóan termelékeny autofrettáló keményítést. A cső élettartamát napjainkban nagyban növeli a furat krómozása.

Az alkalmazott alapanyagok

A lövegcsőre lövéskor óriási erők hatnak. Az ilyen nagy igénybevételnek kitett acél ötvözőinek arányát nagyon pontosan kell beállítani. Az anyag csak igen kis mértékben tartalmazhat szennyezőket, mert azok tulajdonságait lerontanák.

Ahogy azt az előzőekben írtam, a porosz haderő 1891-ben rendszeresített nikkelaacél csővel szerelt ágyúkat. A nikkel szemcsefinomító, szívósságot növelő hatása miatt napjainkig a legfontosabb ötvözője maradt a csőanyagul szolgáló acélnek.

A Siemens-Martin kemencékben a salak és az olvadt fém közti reakciók segítségével jön létre a kívánt minőségű acél. Általános rendeltetésű acélokat ilyen kemencékben bázikus salakképzéssel állítottak elő. Itt az olvadt fém viszonylag sok fémoxidot tartalmaz, így a gyors reakciók miatt oxidok, gázszennyezők rekednek az anyagban, csökkentve annak szilárdságát. A jóval magasabb követelményeknek megfelelő ágyúanyagot a sokkal drágább és lassabb savas salak módszerével kellett gyártani. Ehhez speciális minőségű (Diósgyőrben svéd) nyersvasat használtak fel.

Diósgyőrben a második világháború előtt az így előállított ágyúcső-alapanyag összetétele a következő volt: C= 0,32%, Si= 0,29%, Mn= 0,64%, Ni= 2,88%, Cr= 0,82%, P= 0,025%, S= 0,018%. [15; 13. o.]

Olcsóbb és termelékenyebb az ilyen alapanyag előállítására az indukciós fűtésű elektromos kemence. Itt nincsenek füstgázok sem, amik szennyezőket vihetnének az anyagba, és a fém 3000 °C körüli hőmérséklete miatt a salakreakciók (a salak és a fém közti kémiai reakciók) igen erőteljesek. A Diósgyőrben az így előállított ágyúcső-alapanyag összetétele a következő volt: C= 0,30%, Si= 0,17%, Mn= 0,66%, Ni= 2,67%, Cr= 1.04%, V= 0,20%, P= 0,016%, S= 0,012%. [15; 16. o.]

Az elektroacél valamivel alacsonyabb szennyezőanyag-tartalommal (S, P) rendelkezik. Szembeötlő, hogy a nikkel egy részét az olcsóbb vanádiummal helyettesítették. Ez nem példa nélkül álló eset: a második világháború alatt a tengelyhatalmak nem jutottak elegendő nikkelhez, így azt a hasonló hatású vanádiummal pótolták, egészen a nikkel teljes mellőzéséig. Ezek voltak az úgynevezett takarékcélok.

A közreadó forrás megemlíti, hogy a külföldi anyagminőségek az itt megadottól eltérhetnek, példaképp egy magasabb króm- de alacsonyabb karbontartalmat mutató acélt állít. [15; 16. o.]

A csőanyagok összetétele a mai napig ehhez nagyon hasonló: 0,3% karbontartalom mellett a fő ötvözők a nikkel (~3%) és a króm (~1%).

A lövegcső-gyártásnál alkalmazott megmunkáló eljárások

A cső alapgyártmánya régebben süllyesztékes kovácsolással készült, újabban azonban forgatva kovácsolják a csövet. A technológiaváltás a '70-es években világszerte lezajlott. Az addig csak a nyugati országok által alkalmazott eljárásra épülő gyártósorokat az osztrák GFM vállalat 1967-től szállította a Szovjetuniónak. (Lásd: 28. táblázat) Ezeken a sorokon kis űrméretig (8mm) hidegen kovácsolással,³³ közepes (9-100 mm) és nagy űrméret (100 mm felett) esetén forgatva (meleg) kovácsolással készültek a csövek.

³³ A FÉG-ben is ezzel az eljárással készültek a magyar gyártású Kalasnyikovok csövei: Kellner István ny. tzl. (egykori FÉG-alkalmazott) szíves közlése

28. Táblázat: az osztrák GFM vállalat által szállított gépsorok [22]

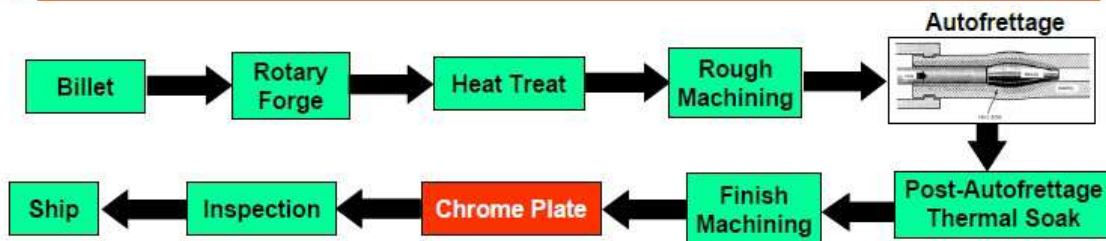
Szerződés	Szállítás	Modell	Db	Megjegyzés
Ismeretlen	1967	SVK 412	1	8 mm-ig
1969	1971	SVK 412	1	8 mm-ig
1969	1971	SHK 10	9	8 mm-ig. Tulában telepítve
1971	1973	SXP 25	1	21-től 75 mm-ig
1971	1974	SXP 55	1	203 mm-ig. Telepítve a Permben.
Ismeretlen	1975	SVK 412	1	8 mm-ig
Ismeretlen	1975	SXP 55	1	Elektrosztál-i fémtani üzem
Ismeretlen	1977	SXP 55	1	Elektrosztál-i fémtani üzem
Ismeretlen	1977/78	SHK 17	8	20-40 mm-ig
Ismeretlen	1978	SXP 16	1	20-40 mm-ig (kísérleti)
1980	1983	SXP 85	1	200 mm felett

A kisebb űrméretű csövek (kézifegyverek, gépágyúk) gyártására a '60-as évek óta alkalmazott a hidegen kovácsolás technológiája, amely rezgőkalapácsokkal, azaz sok apró ütéssel, hidegen (érsd: 600 °C alatt) alakítja ki a csövet, egy lépésben formálja a csövet a huzagolással és a hidegalakítás által fel is keményíti azt. A tűzéségnél járatos űrméretetek esetében ez az eljárás nem alkalmazható. Itt a süllyesztékes kovácsolásban alkalmazottnál kisebb erőhatással, sok ütéssel, a cső tengely körüli megforgatása mellett alakítják ki a félgyártmány ideális alakját, ami rendkívül gyorsan, nagyjából 10 perc alatt [86] elkészül. Ezután forgácsolással nagyolják, mechanikus eljárással autofrettálják, meleg fürdőben pihentetik, csillapítják, majd készremunkálják, és krómmal vonják be a furatot. (Lásd: 17. ábra)

Az eljárás egyik kulcseleme tehát a mai napig az Uchatius által kifejlesztett, később a hidraulikus autofrettálással (Lásd a következő fejezetben) meghaladott, majd az új szerszámacélok és megmunkálógépek által ismét elérhetővé vált mechanikus autofrettálás.



ARMY 120mm GUN BARREL MANUFACTURING PROCESS



"Provide Innovative Armaments Solutions for Today and Tomorrow"

ARDEC

17. ábra: Csőgyártás munkafolyamata [23]

III.5.1. Az alkalmazott autofrettáló eljárások

A felhasznált irodalmi források alapján az autofrettálás olyan visszamaradó feszültségek keltése egy monoblokk lövegcsőben, melyek a legjobban igénybevett furatközeli réteget részlegesen tehermentesítik, a kevésbé kitett külső részt pedig nagyobb terhelés alá vetik. Ezt a cső belső nyomás általi deformációja útján érik el, úgy, hogy a jobban tágult belső rétegeket a kevésbé jelentős alakváltozást szenvedett külső rész szorítja, összenyomja. Ennek következménye viszont, hogy a külső rétegeket a belső rész tágítja. Az eljárás végeredménye tehát valóban az, hogy a külső rétegekre a lövés által létrejött nyomásnövekedés további terhelését figyelembe véve az alakítás előtti állapothoz képest nagyobb, míg a belsőkre – mivel a lövés először ennek "összenyomott" állapotát kell hogy feloldja – kisebb igénybevétel esik.

"A húzófeszültség a leginkább károsító az ágyúcső anyagában. Ezért, ha nyomófeszültséget sikerül csapdába ejteni a furat közelében, ahol a nyomás és a hőterhelés a

legnagyobb, az ágyúcső magasabb nyomás elviselésére lesz képes. Ilyen egyensúlyi állapot érdekében áldozatot kell hozni – ebben az esetben a cső külső részében húzófeszültség jelentkezik. Szerencsére a terhelő feszültség már kicsi a külső átmérő közelében és a hőterhelés sem olyan magas, így a hozzáadott húzófeszültség már nem ártalmas." [20; 115. o.]

Gyakorlatiasabb megközelítésben: "Az autofrettálás a következőkben írható le. A kiindulási pont egy egyszerű acélcső, valamivel kisebb belső átmérővel mint a kívánt kaliber. A csövet olyan belső nyomásnak teszik ki, amely kitágítja a furatot és a rugalmassági határon túl terheli a belső rétegeket. Ez azt okozza, hogy a belső rész jobban deformálódik annál, semmint hogy az acél vissza tudna térni eredeti alakjába amikor a terhelő belső nyomás megszűnik. Habár a külső rétegek is alakváltozást szenvednek, az ott fellépő terhelés nem lépi át a rugalmassági határt. Ez azért lehetséges, mert a feszültségeloszlás a cső falában nem egyenletes. A legnagyobb érték a nyomott térrel határos rétegben jelentkezik, és ez meredeken csökken a cső külseje felé haladva. Az alakváltozás (a méretek megváltozása) a rugalmassági határon belül arányos az igénybevétel nagyságával, így a külső rétegek tágulása kisebb mint a furatnál levőké. Ezért a külső rétegek csak rugalmasan deformálódnak, és megpróbálnak visszatérni eredeti alakjukba, de ezt nem tehetik meg teljesen, a véglegesen deformált belső réteg miatt. A jelenség, ahogy a belső rétegeket a külső rész összenyomja, nagyon hasonló ahhoz, mintha a külső réteg összezsugorodott volna." [31; 52. o.]

Az autofrettáló hatás e szerint létrehozható úgy, hogy csak a lövegcső belső rétegei deformálódnak maradandóan, míg a külsőbbek rugalmas alakváltozást szenvednek. Lehetséges azonban a teljes keresztmetszet képlékeny alakváltozásával létrehozni ugyanezt a hatást, hiszen ez esetben a jobban igénybevett belső rétegek jobban deformálódnak, mint a kevésbé igénybevett külsők. [20.] [21.] [87.] Ennek a módszernek előnye a hidegalakítás kedvező, szilárdságnövelő hatásainak kiterjesztése a teljes keresztmetszetre.

"A művelet során lezárják a cső két végét, feltöltik folyadékkal, és nyomás alá helyezik addig, míg a visszamaradó feszültségek beállnak. A folyamat kezdetén a furatközei rétegek érik el először a folyáshatárt, majd a maradó alakváltozás zónája progresszíven terjedni kezd, mindaddig, míg a teljes anyagmennyiség plasztikus állapotba nem jut. Ebben az állapotban a feszültségek eloszlása közel állandó a teljes keresztmetszetben. Amikor azonban a nyomás enged, a feszültségek sokkal jobban lecsökkennek a furat közelében, mint a külső rétegekben. A furatmenti részek feszültségmentesek, mikor a köpenyen a legnagyobb feszültség mérhető, de az egyensúly eléréséhez ezek az értékek tovább csökkennek, így a furatnál negatív-, ezesetben nyomófeszültség alakul ki.

Az ágyúcső előfeszítésének logikája meglehetősen egyszerű. A működés közben fellépő húzófeszültségeket részben semlegesítik a furat közelében csapdába ejtett nyomófeszültségek." [20; 116. o.] Érdekes, hogy a szerző autofrettáláson kizárólag annak hidraulikus válfaját érti. A [31.] forrással ellentétben, egybevágóan a [21.] és [87.] forrásokkal, a cső teljes anyagának képlékeny alakváltozását taglalja.

A bemutatott irodalmi példák igazolják, hogy az eljárás célja olyan visszamaradó feszültség keltése, melyek ellentétes a lövéskor fellépő igénybevétel által létrehozott, a lövegcsövet károsítani képes feszültséggel.

Ide tartozik, hogy a csövek autofrettálás utáni hőkezelésével csak egy általam használt elméleti mű foglalkozik részletesen, [21; 36. o.] leírva, 500 °F (260 °C) hőmérsékleten tartják 5 órán át az autofrettált csövet, így egy alacsony hőmérsékletű hőkezelésnek vetik alá. Máshol is megemlíti ezt a kezelést [31; 52. o.] leírás nélkül. A fentebb bemutatott modern csőgyártó eljárás szintén tartalmaz egy ilyen technológiai lépést. Ez a kezelés azért szükséges, hogy az autofrettálás által keltett feszültség hiszterézisét kiküszöböljék, azaz, hogy a cső valóban az autofrettáló nyomásig legyen később terhelhető.

Az eljárás történelmi hátterének bemutatása

Nagyjából 1850 óta használják a visszamaradó feszültségek hatását az ágyúcsövek rugalmassági határának növelésére. Az első ilyen eljárás a furat felületi edzése volt. Később kezdték alkalmazni a cső bandázsolását vagy köpenyezését. 1872-ben Saint-Venant megoldotta az alakítási feszültségek matematikai leírását, ezt követően pedig néhány kutató megadta az alakítás után visszamaradó feszültségek leírásának módját különféle folyási definíciók alapján. [21; 1. o.]

Az autofrettálás valószínűleg francia eredetű, a 19. században gyökerezik, nevének jelentése: önabroncsózás. [31; 52. o.] Lehetséges, hogy már az 1860-as években feltalálták. Az első igazolt alkalmazásként a szakirodalom [31; 52. o.] a franciák 1913-ban készült 140 mm-es autofrettált ágyúját említi.

Mi egy jóval korábbi példát is ismerünk: az osztrák-magyar hadsereg számára 1875-ben rendszeresített Uchatius-féle acélbronz ágyút. Itt a hagyományos ágyúbronzból készült lövegcső furatán növekvő átmérőjű acéltüskéket toltak keresztül hidraulikus prés segítségével.

Ez egy ma rendkívül modernnek számító mechanikus autofrettálási (swage-autofrettage) módszer, amelynek alkalmazását a második világháború után fedezték fel újra. [86; 4. o.]

A huszadik század elején Turner (King's College) javasolta a kívánt maradó feszültség elérését belső hidrosztatikai nyomás által. Ezt az elgondolást adaptálta több európai állam és az Egyesült Államok is, 40000 - 50000 psi (276 – 345 MPa) folyáshatárú anyagból készült lövegcsövekhez. [21; 1. o.] Ez az autofrettálás hidraulikus válfaja.

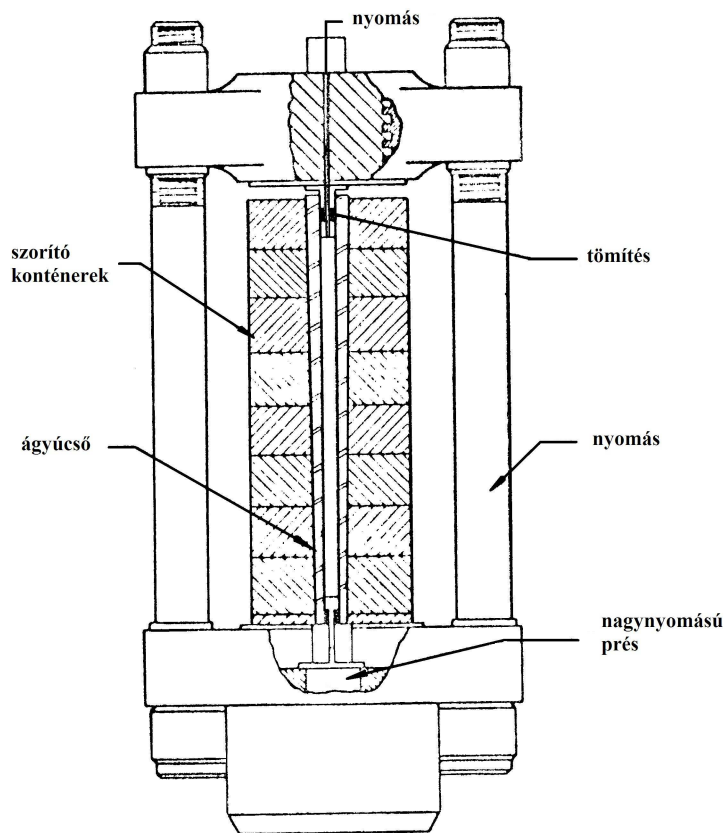
A második világháború előtt és alatt kizárólagosan alkalmazott hidraulikus eljárások nem voltak használhatók az új, megnövelt szilárdságú acélötvözetek autofrettálására. Eredetileg olyan anyagok jöhettek szóba, melyek folyáshatára 65000 és 80000 psi (448 - 551 MPa) közé esik, ugyanis a nyomóközeg (általában glicerín-víz keverék) kényszerűen megnövelt nyomását az akkori tömítések nem minden esetben voltak képesek elviselni. Ahogy az 1959-ben írt jelentésben olvashatjuk: *"Az anyagtudományok fejlődése a második világháborút követően az anyagok szilárdságának szignifikáns fejlődését hozta. Ezért az autofrettálás ágyúcsöveken való alkalmazása meglehetősen nehézkessé és szükségtelessé vált. Ennek következtében a magasnyomású technológia követelményei és tervezési adatai messze az ágyúcső anyagául szolgáló anyagok szilárdsági tulajdonságainak gyors növekedése mögött jártak. A mai és a jövőbeni fegyverzeti koncepciók konfrontálódnak a lövegek terén mert a tervezési és gyártási követelmények nagyobb mozgékonyt és tüzerőt eredményeznek, mint azt valaha is lehetségesnek tűnt. Azért, hogy elősegítsük ezeknek a követelményeknek a találkozását, szükséges tekintetbe venni az autofrettálás alkalmazását a mai és a jövőbeni nagy szilárdságú, könnyű lövegcsövek tervezésénél és gyártásánál. Kifejlesztésre és leírásra kerültek az autofrettálás elvének alkalmazásához szükséges empirikus adatok és a tervezési feltételek olyan ágyúcsövek esetén, melyek anyagának folyáshatára 160000 - 190000 psi. (1103 - 1310 MPa)"* [21; xi. o.]

A kihívásokra válaszul kétféle megoldást találtak a korszak mérnökei: modernizálták a hidraulikus eljárásokat lehetővé tévő gépparkot, illetve egy "új" (mint az előzőekben olvastuk, inkább újrafelfedezett) eljárást dolgoztak ki, a mechanikai módszert. Ennek előnye, hogy a növekvő átmérőjű tüskék átnyomásához szükséges hidraulikus nyomás jelentősen kisebb a hasonló hatás eléréséhez a hidraulikus módszernél alkalmazott nyomásnál. [21; 3-4. o.]

Három alapvető módszer ismert az autofrettálás megvalósítására: mechanikai, hidraulikus és az eddig nem említett ballisztikus. Ezek közül valószínűleg a mechanikai eljárás a legrégebb, mégis, a hidraulikus módszert alkalmazzák a legszélesebb körben, ennek alakult ki a legtöbb válfaja, ennek a legbővebb az irodalma. A továbbiakban a három módszert mutatom be.

A hidraulikus autofrettálás

A hidraulikus autofrettáláskor magas nyomású folyadékot vezetnek a csőbe a kívánt feszültség eléréséhez. A nyomóközeg glicerín és víz keveréke, mert ez magas nyomáson is stabil. A nyomást hosszabb ideig fenntartják [21.] vagy ismétlik [87.] utána esetleg hőkezelést alkalmaznak [21][31.]. A következő, a hidraulikus autofrettálást illusztráló ábra [31; 53. o.] megegyezik a [21.] számú irodalom III. mellékletében közölt, a nyílt végű eljárást bemutató ábrával.



18. ábra: Hidraulikus autofrettálás [31; 53. o.]

A hidraulikus autofrettálás alkalmazható mindenféle belső profilra, legyen az kónikus vagy hengeres; az alkalmazott nyomás jól beállítható; nem szükséges finoman megmunkálni a cső belsejét az eljárás alkalmazása előtt; és eltérő nyomások alkalmazhatók eltérő szekciókban a változó falvastagság ellensúlyozására. A módszer legnagyobb hátránya a bonyolult magasnyomású berendezések szükségessége és a tömítési nehézségek. [86; 4.o.]

A zárt végű eljárásnál a cső két végére rögzítik a zárófejeket, ezért ez a módszer csak alacsonyabb folyáshatárú anyagokhoz, állandó falvastagság mellett alkalmazható.

Ez a későbbiekben sok utómunkát igényel, cserében a külső felületet nem kell megtámasztani. Az eljárás viszonylag alacsony folyáshatárú anyagokhoz, kis deformáció esetén használható. [21; 2.o.]

A mozgatható fej eljárásnál a cső hosszában mozgatható fej lehetővé teszi a változó falvastagság kívánta változó nyomás alkalmazását. A módszert először az Egyesült Államok haditengerészete alkalmazta. Ez az eljárás sem kíván szorítókonténert, de jóval finomabb kialakítást követel mint az előző. [21; 2-3. o.]

A nyílt végű eljárásnál prés szorítja a zárófejeket a csőre, amelyet szorítókonténerek vesznek körül. (Lásd: 16. ábra) Az esetleges tömítési nehézségek ellenére ez a módszer alkalmazható legjobban magas folyáshatárú anyagokhoz, változó falvastagság mellett is.

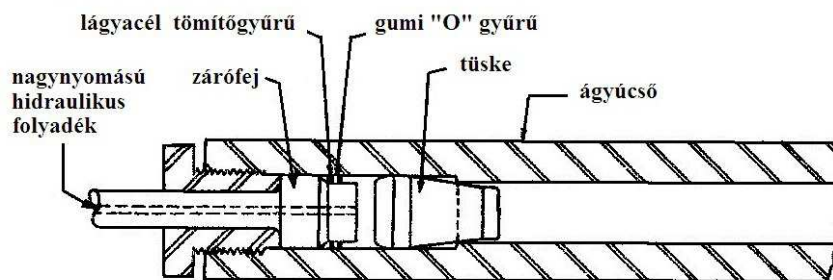
Ezt a módszert eredetileg az Egyesült Államok hadserege alkalmazta a második világháború alatt, 65000 - 80000 psi (448 - 551 MPa) folyáshatárú anyagokhoz. A csővégek itt is zártak, de a zárófejek nem a csőhöz magához vannak rögzítve, azokat egy prés tartja a helyükön. A csövet kívülről szorítókonténerek fogják, lehetővé téve a falvastagság csökkentését a torkolat felé, a furat nagymérvű tágulását és nagyszilárdságú anyagok alkalmazását csődudor keletkezésének veszélye nélkül. Ezt a technikát 160000 - 190000 psi (1103 - 1310 MPa) folyáshatárú anyagokra is alkalmazzák. [21; 3. o.]

A mechanikai módszer

A mechanikai módszerben túlméretes tüskét tolnak át a furaton, mechanikus vagy hidraulikus prés segítségével. Az ehhez szükséges nyomás 75 százalékkal kisebb, mint a nyílt vég eljárásnál. Az eljárás előnye, hogy csődudor veszélye nem áll fenn, és a furat felületi tulajdonságai jelentős mértékben javulnak. [21; 3-4. o.] [87; 4. o.]

További előnye a módszernek, hogy a sugárirányú deformáció a tüske legnagyobb méretével behatárolható, tehát nincs szükség szorítókonténerekre. [21; 4. o.]

"A mechanikai módszer a második világháború után tűnt fel, az Egyesült Államokbeli és izraeli alkalmazásáról szóltak a hírek. Ebben az eljárásban az elasztó-plasztikus deformáció annak a következménye, hogy a furaton egy túlméretes tüskét húznak vagy tolnak keresztül. Így, amíg a hidraulikus módszernél az autofrettáló nyomás volt a szabályozó tényező, itt a furat és a tüske méretkülönbsége az. Hogy a fej mozogni tudjon a csőben, le kell győzni a fellépő súrlódási erőket." [87; 4. o.]



19. ábra: Mechanikai autofrettálás [21; 3. ábra.]

Ballisztikus autofrettálás

A ballisztikus módszer néhány évtizede tűnt fel, eszköze egy manometrikus bomba, amely az üzemi nyomást meghaladó terhelést ró a csőre egy speciális lövés által. A gyakorlatban még nem alkalmazzák, de várható termelékenysége és alacsony eszközszükséglete miatt ígéretes eljárás.

A furatnak alulméretesnek, a csőfarnak pedig igen szilárdnak kell lenni. A módszert a visszamaradó alakváltozás mérésével lehet kontrollálni, szükség esetén a lövés ismételtető. A módszer nehézsége a töltet által kiváltott nyomás számítási hibáiban rejlik: amennyiben a lőporok pontosabb analízise valamilyen 10000 bar fölött is működő berendezéssel megoldható lesz, a módszer alkalmazhatóvá válik. [87; 4-5. o.]

Az autofrettálás alkalmazhatósága

Az autofrettálás olyan nagy szilárdságú anyagokra is alkalmazható, melyek folyáshatára 1100-1300 MPa [21; 3. o.]

A technológia helyes megválasztásával lehetséges változó falvastagságú, kónikus és nem hengeres furatú csövek autofrettálása is. [31.][21.][85.]

Az autofrettálás nem használható olyan csövekhez, melyek átmérőviszonya (D/d) 2,2-nél nagyobb. Ennek oka, hogy ilyen átmérőviszonynál a belső rétegekben keltett tangenciális visszamaradó nyomás már elérheti a folyáshatárt [21; 7-8. o.] Az ennyire vastagfalú cső alkalmazásának azonban nincs is értelme, mert a lövéskor a cső anyagában keletkező feszültségek bizonyos határon túl nem csökkenthetők hatékonyan a falvastagság növelésével, mivel a cső külső rétege már alig vesz részt a terhelések felvételében. [20; 115. o.]

Az eljárásnak több előnyös hozadéka van:

Nagyobb szilárdság: Az autofrettált lövegcsövek 50-150 százalékkal nagyobb belső nyomás elviselésére képesek, mint a hagyományos monoblokk csövek.[86; 3. o.] Az 165000 psi (1138 MPa) folyáshatárú ötvözt, nemesített acélból készült ágyúcsövek esetében akár 100 százalékos kamranyomás-növekedés érhető el autofrettálás alkalmazásával. [21; 5. o.]

Az elasztikus és plasztikus deformációt elválasztó határfelület a cső külső átmérőjén túlra is kitolható, (egyszerűbben: a teljes falvastagságban maradó alakváltozás keletkezik) ez megnövekedett folyáshatárt eredményez. *"Ez az autofrettálási feszültségnek nevezett feszültség elméletileg 83-100 százalékkal nagyobb lehet az eredeti folyáshatárnál.* [21; 5.o.]

Kisebb tömeg: *Egy olyan cső, amelynek külső átmérője 50 százalékkal nagyobb mint a furatáé, autofrettálás által oly mértékben erősíthető, hogy a falvastagság 50 százalékkal kisebb lehet, mint az egyszerű monoblokk acélcsőé."* [31; 52. o.]

Fáradási szívósság növekedése: *"A külső rétegek összeszorító hatása akadályozza a hajszálrepedések kialakulását a furat felszínén, és ez csökkenti a kifáradásos károsodás lehetőségét a cső élettartama alatt. A könnyebb ágyúcsövek 200 százalékkal nagyobb kifáradási élettartammal bírnak."* [11; 52.o.]

A szükséges deformáció mértéke és az alkalmazott autofrettáló nyomás

A szükséges alakváltozás mértéke 1-2 százalék, ez egy 152 mm-es lövegcső esetén körülbelül 3 mm. [85; 3. o.] Ezzel nem teljesen egybevághóan az 1932-ben írt forrás szerint [16; 134. o.] 2-3 százalék. Én inkább az előzőt fogadom el, egyszerűen az időközben felgyülemlett több tapasztalat okán. (Szigorúan elméleti alapon a 2-3 százalék sem sok!)

A visszamaradó feszültség nagysága és eloszlása a cső folyáshatáron túli terhelésének elérése érdekében alkalmazott belső nyomás, az anyag folyáshatára, az átmérőarány és az elasztikus-plasztikus határfelület elhelyezkedésének függvénye. [16.]

Ahhoz, hogy a képlékeny alakváltozás a furatnál megkezdődjön, a következő feltételnek kell teljesülnie:

$$P_y = \frac{\sigma_y}{2} \left(1 - \frac{a^2}{b^2} \right) \quad \text{5. képlet [88; 69. o.]}$$

Ahol: σ_y : folyáshatár; P_y : a legkisebb nyomás, melynél már maradó alakváltozás keletkezik; a : furat átmérője; b : külső átmérő.

Amennyiben a nyomás P_y -nél kisebb, az anyag nem szenved maradó alakváltozást, autofrettáló hatás nincs.

Ahhoz, hogy a teljes anyagvastagság maradó alakváltozást szenvedjen, el kell érni a cső határnyomását, amelyet a következőképpen definiálhatunk:

$$P_L = \frac{\sigma_y}{2} \ln\left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad \text{6. képlet [88; 70. o.]}$$

Az előzőekből látszik, hogy amennyiben az alkalmazott autofrettáló nyomás P_y és P_L közé esik, az anyag részben maradó, részben rugalmas alakváltozást szenved, ha viszont a nyomás egyenlő vagy nagyobb mint P_L akkor a teljes anyagvastagság maradó alakváltozást szenved.

Tehát: (az autofrettáló nyomást P_A –val jelölve)

ha $P_A < P_y$: csak rugalmas alakváltozás,

ha $P_y \leq P_A < P_L$: maradó és rugalmas alakváltozás tapasztalható,

ha $P_L \leq P_A$: a teljes falvastagság maradó alakváltozást szenved.

Az autofrettáló nyomás megszűnése után:

ha $P_A < P_y$: nincs maradó alakváltozás, nincs visszamaradó feszültség;

ha $P_y \leq P_A < P_L$: a belső rétegek maradó alakváltozást szenvedtek, a kiterjedt belső részt a külső - csak rugalmasan deformált - réteg összeszorítja, ezáltal a furatnál tangenciális nyomás, míg a külső felületnél tangenciális húzás a visszamaradó feszültség;

ha $P_L \leq P_A$: a teljes falvastagság maradó alakváltozást szenved, a belső rész nagyobb mértékben, mint a külső, a jobban deformált belső részt a kevésbé deformált külső réteg összeszorítja, ezáltal a furatnál tangenciális nyomás, míg a külső felületnél tangenciális húzás a visszamaradó feszültség.

Bizonyos behatárolt körülmények között a teljes keresztmetszetű (a teljes anyagvastagság maradó alakváltozásával járó) autofrettáláshoz szükséges nyomás egyszerű számítással meghatározható. A [21.] irodalomban leírt, 4340-es USA szabványszámú, nemesített, 165000 psi (1138 MPa) folyáshatárú acélból készült 1"-es (25,4mm) próbadarabokkal majd 90 mm-es ágyúcsövekkel végzett kísérletek során meghatározásra került egy olyan K arányossági tényező, amely kapcsolatot teremt a cső teljes keresztmetszetében való autofrettálásához szükséges elméleti és valós nyomás között. Ennek értéke 1,08. Ez a munkaközösség a teljes anyagvastagság maradó alakváltozásával járó autofrettáláshoz szükséges elméleti nyomás meghatározására a Tresca folyáshatár-definíciójából levezetett, $P_0 = \sigma_y \log \frac{b}{a}$ képletet alkalmazta. K behelyettesítésével ez

$$P_0 = 1,08\sigma_y \log \frac{b}{a} \text{ alakra módosul,} \quad 7. \text{ képlet [21; 21. o.]}$$

ahol "a" a cső belső, "b" a cső külső sugara.

A mechanikai módszernél ezt a nyomást a furat és a szerszám méretkülönbsége adja. Itt a túske előrehaladásához $F = \Pi d l \mu p$ nagyságú erő szükséges, 8. képlet [87; 4.o.]

ahol μ a súrlódási együttható, p pedig kontaktnyomás, ami megfelel a hidraulikus módszernél a folyadék nyomásának. Egy 152 mm-es csőnél a maximális vastagságot figyelembe véve ez az erő meghaladja az 1000 tonnát. Annak érdekében, hogy a cső és a szerszám közötti súrlódás csökkenjen, speciális kenőanyagokat alkalmaznak. Az optimális autofrettálás eléréséhez ennél a módszernél a furat nagy pontosságú megmunkálása szükséges.

KÖVETKEZTETÉSEK

A harmadik fejezetben bemutatam a hátultöltő ágyúcsövek gyártástechnológiáját a kezdetektől napjainkig.

A XIX. század második felére nyilvánvalóvá vált, hogy az addigi csőanyagok (bronz, öntöttvas) alkalmazása mellett a lövegek teljesítményét már nem lehet tovább növelni. Acélból – a sokáig egyeduralkodó Krupp Művek kivételével – a korszak gyárai nem voltak képesek olyan nagyméretű, jó minőségű öntvény előállítására, ami a csőkovácsolás előterméke lehetett volna.

Ezzel szembesült Henry Bessemer, aki a krími háborútól inspirálva kidolgozott egy újfajta lövedéket, amelyet azonban az általánosan alkalmazott öntöttvas lövegekből nem lehetett a cső károsodása nélkül kilőni. Bessemer úgy gondolta, lehetséges a nyersvas tulajdonságait az addiginál termelékenyebben javítani. Rádöbrent, hogy úgy tudja megnövelni az acélt adó reakció felületét, ha az olvadék aljára fúvatja a levegőt (szélfrissítés). Erre a célra egy speciális dönthető, fúvatható, tűzálló téglákkal bélelt üstöt – konvertert – dolgozott ki. A módszer rendkívül sikeresnek bizonyult, a reakció nagyon gyorsan, körülbelül 20 perc alatt lejáródott. A konverter csapolható volt, azaz az acél folyékony formában volt kinyerhető belőle (ezért az ilyen ötvözet a folytácél). A konverteres eljárás nagyban növelte az acélgyártás termelékenységét, és csökkentette az árakat. A tonnánkénti acélárak Nagy-Britanniában és Amerikában ötödrészükre estek, az előállított mennyiségek hihetetlenül megnöttek. Bessemer az eredeti cél tekintetében is sikert könyvelhetett el: az 1862-es

Világkiállításon bemutatta folytácél ágyúcsövét. Ezzel ismét egy olyan sikeres, hadiipari célra kifejlesztett eljárást ismertettem, ami a békés célú ipart is forradalmasította.

A fentiek ellenére a Bessemer eljárást nem tartották teljesen megbízható, a különleges kívánalmaknak megfelelő – nagy terhelésnek kitett gépalkatrészek, szerkezeti elemek (ágyúcsövek) gyártására szolgáló – acélok előállítására feltétlenül alkalmas módszernek. Ennek az volt az oka, hogy a nagy reakciósebesség miatt az acélban maradó oxigén ridegtörékenységet okozhatott. Azt lehet mondani, hogy a kavaró eljárás és a szélfrissítés párhuzamos alkalmazása tudta az ipart az összes szükséges acélfélével ellátni. Az 1864-ben szabadalmaztatott Siemens-Martin eljárás bizonyult végül teljesen megfelelőnek, alkalmasnak arra, hogy mindkét acélgyártó eljárást kiváltsa.

A Siemens-Martin eljárás a Carl Wilhelm Siemens által szabadalmaztatott gáztüzelésű rendszeren alapult. Pierre-Émile Martin dolgozta ki azt a kemencefalazatot és azt a salakvezetési metódust, (azaz a folyékony fémekben végbemenő változások kontrollját a felszínét borító salak tulajdonságainak megváltoztatásával) amivel lágyvastól a magas karbontartalmú acélig bármilyen termék előállítható volt, sőt gyengén ötvözött acélok is. A Siemens-Martin eljárás száz évig uralta az acélgyártást, csak napjainkra szorították ki az oxigénes konverteres eljárások.

A Siemens-féle tüzelési eljárás forradalmasította az addig kevésbé termelékeny tégelyacélgyártást is. A hatékonyabb fűtéssel a beolvasztható mennyiség jelentősen megnőtt, így már lehetővé vált nagyobb méretű, erősen ötvözött acélöntvények készítése is. A Siemens-féle tüzelés elterjedése kellett ahhoz, hogy az öntött acél mint csőanyag általánosan elfogadottá váljon.

Addig azonban igen érdekes megoldások születtek a rendelkezésre álló anyagok felhasználására a megfelelő teljesítményű csövek létrehozása érdekében.

Krupp tégelyacélból öntött ágyúkat: az ő fejlesztése az volt, hogy nagyszámú tégelyt alkalmazott egyszerre. Mondanom sem kell, az így előállított lövegcsövek rendkívül drágák, de vetélytársaiknál sokkal jobb minőségűek voltak.

Amerikában az öntési technika javításával és a modern méretezési elvek alkalmazásával javítottak az öntöttvas ágyúk tulajdonságain, létrehozva a kolumbiádokat és a Dahlgreen-féle palackágyút. Az amerikaiak kezdték használni először a brit Blakely százados találmányát, a farrészénél acélhüvellyel erősített ágyút (Parrott-ágyú). Maguk a britek ezt túl veszélyesnek találták, és Armstrong épített ágyúit állították rendszerbe. Ezek a lövegek hengerelt kavartacél rudak rugószerű, spirális felcsavarásával kialakított, kétrétegű (betétcső-köpenycső) szerkezettel készültek.

Az acélgyártó eljárások fejlődésével aztán visszatérhettek Blakely eredeti elképzeléséhez, és elkezdték egy darabból készíteni a betétcsövet, később a köpenycsövet is. A kétrétegű szerkezet előnye, hogy a betétcsőre melegen ráhúzott köpenycső összenyomja a belső csövet, azaz anyagában érintő irányú nyomófeszültséget kelt. A lövés igénybevétele először ezt a nyomófeszültséget oldja fel, így a nyomáscsúcson kialakuló veszélyes érintő irányú húzófeszültség kisebb lesz. A szerkezet hátránya az, hogy rendkívül pontos megmunkálást igényel: az illeszkedő átmérők elenyésző változása is komoly különbséget okoz a betétcső előfeszítésében. Ezt a jelenséget küszöbölte ki a huzalerősítésű ágyú: a betétcsőre tekert acélhuzal feszültségét, ezáltal az előfeszítés nagyságát nagyon pontosan be lehetett állítani.

Az első világháború idejére aztán a megmunkáló eljárások pontosságának fejlődése miatt a legnagyobb lövegek kivételével már a betétcső-köpenycső szerkezetet használták, sőt, az anyagminőségek javulását kihasználva az egyszerű, monoblokk acélcsöveket. Ez alól az osztrák-magyar haderő kivétel volt: ekkor még mindig az Uchatius táborszernagy által kifejlesztett acélbronz csöveket alkalmazták. Ezek a mechanikai úton keményített bronzanyagból készült lövegek első, 1875-ös rendszeresítésükkor még felvették a versenyt az akkori acélágyúkkal, ám a világháború idejére már elavultnak számítottak. Uchatius módszere mindaddig állta a versenyt az acélcsövekkel, amíg a folytacél³⁴ magabiztos alkalmazása el nem vezetett a nikkelötvöztetésű, kettős falú, tehát köpenycső-béléscső rendszerű lövegcsövekhez. Ezeknek már lényegesen jobbak voltak a mutatói, mint az acélbronz csöveknek.

Árulkodó, hogy az 1914 előtt rendszeresített osztrák-magyar tábori és hegyi lövegek egy kivételével bronzcsövények, míg az ezután rendszeresítettek csöve már acélból készült. Ez arra mutat, hogy az első világháború kezdetén rendelkezésre álló tábori és hegyi löveganyag csövei elavult technológiával készültek. Az első fejezetben e tárgyban felvett vizsgálómátrix-rendszer kimutatta, hogy a löveganyag az egyes lövegtípusok négy kulcsfontosságú paraméterét vizsgálva műszakilag elavult volt. A harmadik fejezetben pedig bemutattam, hogy ennek oka nem az hadi- vagy az acélgyártó ipar lemaradása volt.

Az első világháborúban már megjelentek azok az acélcsövek, amelyeket Uchatius ágyújához hasonlóan hidegalakítással keményítettek. Ezt az eljárást autofrettálásnak nevezzük. Az autofrettálás olyan visszamaradó feszültségek keltése egy monoblokk lövegcsőben, melyek a legjobban igénybevett furatközeli réteget részlegesen tehermentesítik,

³⁴ Itt: Bessemer- vagy Siemens-Martin eljárással készült acél.

a kevésbé kitett külső részt pedig nagyobb terhelés alá vetik. Ezt a cső belső nyomás általi deformációja útján érik el, úgy, hogy a jobban tágult belső rétegeket a kevésbé jelentős alakváltozást szenvedett külső rész szorítja, összenyomja.

A második világháború előtt és alatt kizárólag az eljárás hidraulikus válfaját alkalmazták, tehát nyomás alá helyezett folyadékkal érték el a szükséges deformációt. A második világháború után megjelenő nagyszilárdságú acélok autofrettálására – elsősorban az akkor alkalmazott tömítések gyengesége miatt – ez az eljárás nem volt alkalmas. Ezért újra felfedezték az Uchatius által kidolgozott módszert, és mechanikai úton, túlméretes idomnak a furaton való áthúzásával érték el a kívánt alakváltozást. Később megoldották a tömítés kérdését és a hidraulikus módszert is továbbhasználták. Napjainkban a nehezen uralható, de igen termelékeny ballisztikus autofrettálással kísérleteznek. Itt egy speciális lövéssel deformálják a csövet. Kísérleteznek még olyan módszerekkel, amiknél az autofrettálással azonos lépésben a cső belső bevonatolását is elvégzik.

A köpenycső-betétcső rendszer javított a minőségen, míg az autofrettálás bevezetése a minőség megtartása mellett az előállítható mennyiséget növelte.

A cső alapgyártmánya régebben süllyesztékes kovácsolással készült, újabban azonban forgatva kovácsolják a csövet. Igazoltam, hogy a technológiaváltás a '70-es években világszerte lezajlott.

A lövegcsövek gyártása az első ágyúk megjelenése óta óriási technológiai haladáson ment keresztül. A fejlett államok az ipar legújabb eredményeit használták fel erre a célra, sőt, néhány esetben az igényeket felismerve technológiai ugrásokat valósítottak meg. Ilyen volt a vasból való előltöltő ágyú öntésének kidolgozása, (Hogge – ld: 2. fejezet) a nagypontosságú ágyúfúrás (Wilkinson – ld: 2. fejezet) vagy a termelékeny acélgyártás (Bessemer). Utóbbi két eljárás a civil ipart is forradalmasította. Wilkinson módszere lehetővé tette az addiginál hatékonyabb gőzgépek építését, míg Bessemer olcsó acélja a felhőkarcolók létrehozását és a vasútvonalak kiterjesztését.

Egyetlen példát találtam, ahol a lövegben, lövegcsőben megtestesülő gyártmány elmaradt az állam általános ipari fejlettségétől, és ezt éppen az első világháborúra készülő Osztrák-Magyar Monarchia adta. Ahogy azt fentebb taglaltam, a Monarchia tüzérsége által használt lövegek felépítése korszerűtlen volt, a bronz lövegcsövek a háborúra elavultak. Ezeket a háborús években kellett korszerű gyártmányokkal kiváltani, így a technológiaváltást éppen a legnehezebb években végrehajtani.

IV. A MAGYAR TÜZÉRSÉG ESZKÖZEI

EGYÉB EURÓPAI TÜZÉRSÉGEK TÜKRÉBEN

Az előző fejezetekben meghatároztam, hogy a fejlett világ tüzérségi eszközeinek fejlődése hogyan haladt az általános műszaki-technikai fejlődéshez képest. Megvilágítottam, mely esetekben igazolható a műszaki-technikai fejlődés hatása, és mely esetekben hatott a tüzérségi eszközök fejlődésére erősebben a fegyvernemmel szemben állított követelményrendszer. Most azt fogom vizsgálni, hogy a magyar tüzérség eszközei hogyan viszonyultak a fejlett világ, a legfejlettebb államok tüzérségi eszközkészletéhez, és ezen a lépcsőn keresztül határozom meg a műszaki-technikai fejlődés hatását a hazai használatú tüzérségi eszközök fejlődésére.

IV.1. Késő középkor, kora újkor

Az 1400-as években megjelentek, elterjednek a haditechnikai jellegű kézikönyvek, technikai traktátusok. Ezek német, illetve itáliai munkák: ott születtek, ahol a politikai viszonyok a haderők professzionalizálódását, a haditechnika gyors megújításának igényét hozták. Nem túlzás kijelenteni, hogy az ilyen irodalmat a tűzfegyverek, a tüzérség egyre bonyolultabb eszközkészlete szakszerű kezelésének, előállításának igénye hívta életre. Természetesen megjelenésük alapvető feltétele volt, hogy az oktatás javulásával az addig írástudatlan mesterek egyre inkább gyakorolták magukat az olvasás, sőt a legjobbak az írás tudományában is. Mindenképpen egyik kiváltója volt az ilyen művek megjelenésének az ókori haditechnikai szerzők újrafelfedezése, műveik fordítása, kiadása.

Magyarországra a tűzfegyverek, a tüzérség eszközei két irányból, Délről és Nyugatról áramlottak be. Ez a kettős hatás olyan erős volt, hogy még Bonfini is úgy írta, Mátyás királynak egyaránt voltak olasz és német típusú ágyúi. A kezdetekben – a 15. század elejéig - az itáliai hatás volt az erősebb, ennek kiváltói a boszniai és dalmáciai hadjáratok voltak. Az ágyúgyártás nagyon korán, már 1360-as évektől megindult Dalmáciában, valószínűleg velencei hatásra. [89; 197. o.] Az ágyú jelentésű „bombarda” szó első megjelenései a zágrábi belharcokhoz kapcsolódnak.

A német hatást erősítette, hogy gyakran német tűzmestereket alkalmaztak Magyarországon, de látni fogjuk, hogy más országokból is szép számmal érkeztek ilyen szakemberek. A középkori Európa korántsem volt az a zárt világ, amilyennek az első világháború után kialakult útlevel- és útiokmány-rendszer maradványairól visszatekintve

elképezzük. Magyarország Károly Róbert uralkodásának megszilárdulásától Mátyás király uralkodásának végéig politikai és katonai értelemben is a török hódítás előtti utolsó fénykorát élte. Ez az időszak egybeesik a tűzfegyverek elterjedésével, tehát bátran állíthatjuk, hogy a tüzérség magyarországi fejlesztése a kezdetekben igen gyorsan követte a haditechnika tekintetében előljáró államok példáját.

Zsigmond király tüzérsége

Magyarországon az Anjou-kori előzmények után Zsigmond uralkodása alatt, a 14-15. század fordulóján terjedt el az ágyúk alkalmazása. Ez nem csak a királyi tüzérséget jelentette.

Tudjuk, hogy 1390 körül Nagyszebennek saját ágyúmestere volt, sőt, kerekas ágyúja is. [90; 120. o.] Zágrábnak, illetve a zágrábi püspöknek is kellett hogy legyen ágyúja, 1392-ben ugyanis Zsigmond elrendelte, hogy vizsgálják ki, hogyan lövetett a zágrábi püspök ágyúval a városra, míg 1397-ben a püspök vádolta meg ugyanezzel a polgárokat. [90; 118-119. o.] Sopron 1404-ben már rendelkezett ágyúval, [33; 6. o.] A városok tüzérsége az 1420-as évektől folyamatosan megjelenik a számadáskönyvekben. [89; 200. o.]

A királyi kegyben álló ágyú mestert, a bátor strasburgi Johannes Gansar de Argentinát 1421-ben említik Trencsénben, 1430-ban Johannes de Peillimanaw-ról írnak, mint királyi ágyú mesterről. Királyi oklevélben dicsérik, ahogy 1428-ban Galambóc ostromakor Rozgonyi István temesi ispán személyesen irányozta az ágyúkat, de még felesége, Rozgonyi Cecília is említést kap, mint aki löveti a várat. [89; 198. o.] [90; 119. o.] 1433-ban a Magyarországon utazó Bertrandon de la Brocquiére útleírásában tüzérséggel jól felszerelt várakat említ. Ugyanő kiemelte Nándorfehérvár erős tüzérségét, különösen egy óriási ágyút (mozsarat), melynek furata 42 hüvelyk (kb. 105 cm) átmérőjű volt. [33; 7. o.]

Ez az európai viszonylatban is erős tüzérségi eszköztár nem a véletlen műve, hanem kifejezetten tudatos szervezőmunka eredménye. Mint azt említettem, általában német ágyú mesterekről emlékeznek meg a források, de 1416-ban 300 mestert küldtek Magyarországra Párizsból. A Német Lovagrend szörényi végekre településének tervében 328 tüzér szerepelt. [89; 198. o.]

Zsigmond király – Mátyással ellentétben – nem tartotta sokra a szép könyveket, kéziratokat. Kivételt csak a haditechnikai tárgyú könyvekkel tett. Ám nemcsak olvasni szeretett ezekről az eszközökről: levelezéséből leszűrhető, hogy saját ágyúi voltak. 1411-ben levélben kért jelentést a kilenc szekéren Budáról Kassára küldött ágyúíróról, 1412-ben ugyanígy

utasítja Sebenico (Sibenik) városát, tegyék alkalmassá az utakat ágyúinak szállítására. Egy 1413-as levelében pedig megírja, Dévény ostromához sürgősen ostromtornyot építeni, nagy ágyúja van Budán, s azt Mihály ágyúmesterrel bármikor elküldheti. A lövegeket tehát lehetőség szerint Budán tartotta, készen arra, hogy a szükséges beavatkozásra az ország egy távoli pontjára is elküldje. [89; 200-202. o.]

„Kevésbé ismert tény, hogy a tűzfegyverek gyors fejlődésének első időszakában Magyarország sikeres befogadó országnak bizonyult, a technikai modernizációt szinte naprakészen követte a harcmezőn és a könyvtárakban egyaránt.” [89; 202. o.]

Mátyás király tüzérsége

Tudjuk, hogy Mátyás nem kedvelte az ágyúkat, a klasszikusok rajongójaként a római ostromgépekért lelkesedett. Ennek ellenére gondot fordított a tüzérség fejlesztésére, és vélhetően nemcsak azért, mert a korabeli kiadók esetenként simán beleszerkesztették az ágyúkat Vegetius műveinek ostromgépekről szóló fejezetébe.

Ebben az időben még megvoltak az előző kor kőgolyókat vető óriáságyúi, de a modernizálódó hadviselés egyre inkább a hosszabb csövű, vasgolyót vető, messzebbre tüzelő lövegeket részesítette előnyben. A lövegek fejlődése még mindig kettős hatás alatt állt. Mátyásnak egyaránt voltak német és olasz stílusú ágyúi, és „rendszerben tartotta” az örökölt vagy zsákmányolt lövegeket is. Ezen kívül – ahogy azt apja, János tette – gondosan és egyáltalán nem önzetlenül számon tartotta a városok lövegparkját. Ez volt az a kor, amikor a jelentős városok saját ágyúkat öntettek, nemegyszer a saját városi ágyúöntő műhelyben. Az ágyú ebben az esetben nemcsak az önvédelem eszköze, de a város gazdagságának, hatalmának jelképe is volt.

Ez a „neves” ágyúk kora, így Hunyadi János a Csóka nevű hatmázsás bombardát kérte el Pozsonytól 1454-ben, míg Mátyás 1461-ben egy Pethronel nevűt kér Kassától. [26; 15. o.] Mátyás király egész uralma alatt ágyúkat, puskaort, tüzéreket kért a városoktól, ha ennek szükségét látta. Amennyiben a magyar városok nem tudták kielégíteni igényeit, általában Regensburgból rendelt ágyúkat, hadianyagot. [33; 23. o.]

Ahogy azt láttuk, az ágyúöntő mesterek a városokban dolgoztak. Tőlük nemcsak a király, de nemesek és más városok is rendeltek. Legtöbbször elküldték az ágyúgolyót, hogy ahhoz való löveget kérnek a „szokásos méretek szerint”, de van arra is példa, hogy a golyó mellé egy madzagot is küldtek, hogy a cső olyan hosszú legyen. [33; 23. o.] Iványi szerint a 16. század első felében már voltak az ágyúkon magyar feliratok.

Mátyásnak nagy hadserege és komoly tüzérsége volt. 1468-ban Csehország ellen 50 nehéz ágyút vitt, 1479-ben a törökök ellen olyan tüzérségi összpontosítást hajtott végre, amellyel elnyerte Európa figyelmét. 148 ágyúja és 24 seregbontója volt 80 tűzmesterrel és a szükséges legénységgel. Naszádjai is komoly fegyverzettel rendelkeztek, a 364 hajón 1354 ágyú volt. [33; 28. o.]

Az eredeti iratban [91] megvizsgálva a szárazföldi lövegek összetételét, feltűnő a kifejezetten nagy ágyúk száma: 30 nagy bombardát és harminc nagy és hosszú ágyút: „cerbottana, dette pissile grandi” említi. Hogy mit ért nagyon, a bombardák esetében megadja: 50 magyar vagyis 100 olasz fontos azaz körülbelül harminc kilós³⁵ kőgolyót lövő eszközről van szó. Ezen kívül külön ír 8 falbontó bombardáról és 10 tüzes köveket vető nagy bombardáról – ezek tehát még nagyobbak voltak mint az említett 50 fontosok. A szöveg tehát megkülönbözteti a rövid csövű bombardát és a hosszú csövű cerbottana-t.

A hajóhad lövegeit taglalva megkülönböztet hosszú csövű ágyút (cerbottana) bombardát és magasra vető bombardát, amelyet mozsaraknak neveznek, ezen kívül ír dézsa alakú nagy bombardákról, amelyek 150 fontos gyújtó köveket vetnek.

Bátran kijelenthetjük, hogy a tüzérségi eszközök tekintetében Mátyás hadserege kifejezetten erős volt, mind az eszközök száma, mind nagysága, mind a különféle feladatokra való specializációja szerint világszínvonalú.

A végvári harcok

A mohácsi csatát, illetve a Buda elvesztését követő években egy összefüggő védelmi vonal alakult ki Magyarország területén az oszmán haderő feltartóztatására. Ez a végvári rendszer a kor hadművészetének megfelelően nagyban épített a tűzfegyverek, az ágyúk alkalmazására. A várak átalakultak: nagy szerepet kaptak a földtöltések, melyek a merev kőfalakat óvták a tüzérség lövedékeitől. A bástyák sokszögűek lettek, hogy kiküszöböljék a holttereket. A lövegek pontosabbá váltak, és megjelentek az első lőtáblázatok. Az óriáságyúk helyét átvették a kisebb űrméretű, de messzebbre és pontosabban tüzelő lövegek.

A magyar végvárak – nem utolsósorban az Ausztriából érkező utánpótlás hatására – az ágyúk német osztályozási rendszerét alkalmazták. Erősségeink tüzérségi felszereltségük

³⁵ Itt nehéz dolgunk van, mert a római font 0,33 kg, míg a budai 0,49 kg volt ebben az időben. Eddigi tudásunk szerint csak a török hódítás után vettük át budai fontnak a 0,61 kg-os török fontot, ami valóban csaknem kétszerese a rómainak. Eszerint a kilótt kőgolyó harminc kilogramm körüli (24,4-33 kg-os) volt. Adatok: Hóman Bálint: Magyar pénztörténet 1000-1325. MTA Budapest, 1916.
<http://mek.oszk.hu/07100/07139/html/0004/index.html>

tekintetében elmaradtak ugyan a fejlett nyugat-európai erődítményektől, de erejük általában elégségesnek bizonyult az oszmán előretörés megállítására. Nemegyszer igen koros lövegeket is használatban tartottak. Gyakori, hogy a Magyarországon ugyanaz a név a német megfelelőnél kisebb űrméretű löveget jelölt.

A német terminológia szerint alapvetően háromféle löveget különböztettek meg: faltörésre való ostromágyúkat, nyílt ütközetben vagy váríváskor használt mezei lövegeket és vetágyúkat azaz mozsarakat vagy Haubitzokat, amelyek magas röppályán hajították lövedéküket.

A ostromágyúk alaptípusa a Karthaune, magyarosan kartány volt. Ennek egész, háromnegyedes, feles és negyedes változatai voltak.

29. táblázat: Karthaune és negyed-Karthaune adatai [92; 32-33. o.]

Megnevezés	Űrméret (font)	Kaliberhossz (furatátmérő / furathossz)	Súly (mázsa = 100 font)
Karthaune	42-50	18-19	50-90
¼ Karthaune	10,5-12,5	22-26	27-34

A magyar végvárakban Karthaune néven előforduló ágyúk inkább kisebbek voltak, 33-48 fontos űrmérettel. Singerin névvel a német használattal ellentétben a Karthaunénál kisebb űrméretű lövegeket jelölték, jellemzően a fél-Karthaunékhoz közel álló 25-30 fontosakat. Ezeket az alapvetően ostromra szolgáló lövegeket természetesen jól használhatták védelemben is, hiszen hatásos lőtávolságuk 5-800 m volt, és naponta 10-30 lövést tudtak velük leadni. Egy 1577-es országos összeírás 14 Karthaunét és 21 Singerint sorol fel a magyar végvárakban. [92; 32-33. o.]

A mezei lövegek alaptípusa a Schlange (kígyó) volt. A legnagyobb ilyen lövegek űrmérete 50 és 12 font között volt, kaliberhossza 30-42-szeres, súlyuk 30-65 mázsa. A sokkal kisebb Falkaune (sólyom) 2-8 fontos, a Falkonet 1-6 fontos, míg a Scharfettindl vagy Schlangelin 0,5-1 fontos volt. Ezeknek a kis űrméretű ágyúknak a kaliberhossza 40-44-szeres volt.

A magyar várakban jóval több mezei ágyút alkalmaztak, mint ostromágyút. Ezek a lövegek ugyanis az ostromágyúknál olcsóbbak, egyszerűbben előállíthatóak és könnyebben mozgathatóak voltak. A legnagyobbakat nálunk is Schlange vagy magyarul kígyó, csatakígyó, sugárágyú névvel illették, de ezen általában 7-és 20 font közötti űrméretű löveget értettek. A leggyakoribb magyarországi lövegtípus a Falkaune vagy falkony 5-8 fontos kaliberrel, 8-33

mázsa súllyal és 25-40-szeres kaliberhosszal. A Falkonetek vagy falkonéták 1-3 fontosak, 5-7 mázsát nyomnak és 38-40-szeres kaliberhosszuk van. A legkisebb lövegek Magyarországon is a Scharfettindlek vagy Schlangelinek. Ezek méretei azonosak a magyar siskákkal vagy forgó tarackokkal.

Érdekes még a magyar tarack elnevezés. A Schlange méreteinél kisebb lövegeket hívhatták így, tehát az elnevezésnek semmi köze nincs a mai szóhasználatban így jelölt lövegfajtához.

A mezei lövegekkel naponta 20-80 lövést lehetett leadni. Nagyobb űrméretűeket az ellenséges ütegek, lövegek, csoportosítások pusztítására, míg a kisebbeket akár egyes emberek ellen is használták. [92; 33-35 o.]

Az utolsó kategóriát a vetágyúk jelentik. A Haubitzok 8-20 fontos kőgolyót lőttek, de szükség esetén gránátokat, kartácsot vagy tözes golyót is. Kaliberhosszuk értéke 5-8 volt. Előszeretettel alkalmazták ezeket az ellenséges gyalogsági rohamok visszaverésére.

A mozsarak mindössze 1-2 kaliberhosszú csőfurattal rendelkeztek, űrméretük viszont annál változatosabb képet mutat: 1 fonttól 100 fontig terjed. A fedezékekben rejtőző gyalogság vagy lövegek megsemmisítésére alkalmazták.

A török gyalogság rohamainak visszaverésében jutottak fontos szerephez a seregbontók vagy orgonalövegek. Ezek egymás mellé-főlé elhelyezett muskétákból, szakállas puskákból álltak, akár 50-60 csővel. [92; 35 o.]

A végvárok harcait taglalva igen fontos azt megjegyezni, hogy a védelmet a tűzfegyverek együttes alkalmazására alapozták, azaz a kézi tűzfegyverek és a lövegek együtt alkottak egy olyan rendszert, ami az ostromok visszaverését még nagy túlerő esetén is lehetővé tette.

Ahogy azt fentebb írtam, a magyar várak – egyértelműen anyagi okok miatt – sokszor nem voltak olyan jól felszerelvek tüzérségi eszközök terén, amit a kor haditechnikája lehetővé tett volna. Az osztrák Örökös Tartományokat védő várak – Kanizsa, Győr, Komárom – viszont a kor legjobb fegyverzetét kapták. Az ilyen várak feltöltését, ellátását az Örökös Tartományok vagy egyenesen a Német-Római Birodalom biztosította. Léteztek azonban magyar kézben lévő ágyúöntő műhelyek is. Ilyen volt Besztercebánya, Eperjes, Sárospatak és Gyulafehérvár. Ezeken kívül öntöttek lövegeket Kassán, Trencsénben, Galgócon, Vágbesztercén, Pozsonyban, Váradon és Zólyomban is. Ezután nem meglepő, hogy az öntető neve (őt mindig feltűntették a csövön) a vizsgált 492 esetből 275 esetben magyar, 199 esetben császári és 11 esetben német birodalmi. [93; 4-5. o.] Az öntőmesterek – akár osztrák, német vagy magyar öntetőről van szó – minden esetben németek.

A végvári harcok erősségeit tehát jelentős magyar áldozatvállalással látták el lövegekkel. Az alkalmazott tüzérségi eszközök – köszönhetően a német öntőmestereknek – a kor színvonalán álltak. A felszerelés általános színvonala azonban kissé elmaradt a legfejlettebb lehetőségektől, ennek oka pedig a végvárakra fordítható anyagi források korlátossága volt.

IV.2. Habsburg és K.u.K. idők: fejlett elöltöltő rendszer [37; 118-120. o.]

Ausztria tüzérségét az örökösödési háború (1740-48) után Joseph Wenzel, Lichtenstein hercege alakította újjá. A változások kihatottak a tüzérség szervezésére, a tisztek képzésére és a fegyverek kialakítására. A herceg meghatározta a járatos űrméreteket, szakértői (ő maga dragonyos tiszt volt) egyszerűsítették a lövegcső alakját, a csőfurat és a lövedék közti méretkülönbséget pedig csökkentették. Ennek köszönhetően kisebb lett a lőportöltet és ezáltal a lövegcső tömege, és a csekélyebb csökopás miatt nőtt a löveg élettartama. Azonos típuson (űrméreten) belül a lövegek méretei, lőtulajdonságai a megengedett eltérésektől eltekintve azonosak, lőszerük, irányzóeszközeik felcserélhetőek voltak, kiszolgálásuk eszközei és módjai megegyeztek. Nagymértékben modernizálták, egyszerűsítették és egységesítették az ágyútalpakat, lövegmozdonyokat, lőszeres kocsikat és a löveg kiszolgálásának szerszámaid. Ez a valóban előremutató, jól használható fegyverrendszer 1859-ig [35; 145. o.] szolgálta az osztrák császárság tüzéreit.

A császári-királyi tüzérség szárazföldi lövegeit rendeltetésük szerint négy csoportba sorolták: tábori, hegyi, ostrom- és várvédő (erőd-) lövegeket különböztettek meg. Löveg alatt ágyút, tarackot, mozsarat vagy röppentyűt értettek. Az ágyúk esetében a kilőhető legnagyobb öntött vasgolyó, míg a tarackoknál az ugyanilyen kőgolyó tömegét határozták meg, így a lövegek palettája a legkisebb, 1 fontos, sajkákon vagy hegyilövegként alkalmazott ágyúktól a 24 fontos várvédő vagy ostromágyúig terjedt. Az ágyúk kalibere 10 és 30 közé esett, tehát csőhosszuk az űrméret 10–30-szorosa volt. Az ágyúcsöveket bronzból készítették, csak a várvédő ágyúk anyaga volt öntöttvas. [94; 14. o.] Bronz lövegeket gyártottak Meceln-ben (ma Belgium) Bécsben, Grácban, Prágában, Pesten és Brassóban, többségüket a két első városban. Vaszól Mariazell-ben és Resicán öntöttek. [95; 24. o.]

A tábori tüzérség 3, 6, 12 és 18 fontos ágyúkat, valamint 7 és 10 fontos tarackokat használt. [32; 328. o.] A legelterjedtebb löveg a hatfontos ágyú volt. 1753-ban rendszeresítették, ezután a cső változatlan maradt, de egyéb részeit modernizálták. Csőhossza

16 kaliber, furata 95,7 mm, a cső tömege 414 kg volt, [32; 296. o.] hatásos lőtávolsága 1100-1400 lépés.³⁶

A hatfontos ágyúhoz kilenc kezelőt írt elő a szabályzat, de végső esetben három fő is elég volt a kiszolgáláshoz. Két változatban készítették, a lovaslöveg csővéggomb nélkül és a gyaloglöveghez képest hosszabb lafettával készült, hogy a kezelők felülhessenek rá vontatáskor. Mindkét változatot négy ló mozgatta, lövegmozdony segítségével.

A tábori tüzérség megjelenése óta a szárazföldi hadviselésben csak a fegyvernemek együttműködésével lehetett tartós eredményt elérni. A siker zálogának egyre inkább a gyalogság, tüzérség és a lovasság összehangolt alkalmazását tekintették. A napóleoni háborúk alatt kiforrott harceljárások alkalmazása különösen megkövetelte a tüzérség – nem csak tüzében, de manővereiben is – aktív jelenlétét a csatamezőn.

Ebben az időszakban tehát már sem védelmi, sem támadó harcot nem lehetett elképzelni hatékony tüzérségi tűztámogatás nélkül. Ennek érdekében törekedtek a kritikus szakaszokon a tűzfölény kialakítására, amit csak a tüzérség szükség szerinti átcsoportosításával, összevonásával érhettek el. Erősen leegyszerűsítve az igen jól körülírt elveket és eljárásokat, a védekező sereg sikert érhetett el, ha tüzérségi tűz alatt tudta tartani a támadókat, a támadó sereg sikerének egyik kulcsa viszont az volt, hogy a szembenálló tüzérség ne tudjon hatékony tüzet vezetni az előrenyomuló csapataira. Mivel a lövegek lőtávolsága lényegesen meghaladta a kézfegyverekét, ezt a feladatot – a védekező tüzérség semlegesítését – a csak a saját tüzérség összevont alkalmazása tudta ellátni. Szükség esetén ezért a dandárok tüzérségét is alkalmazták a hadosztály, hadtest vagy hadsereg érdekében, ekkor a tüzérek a magasabbegység tüzérparancsnokának parancsait hajtották végre. Az ilyen összpontosítás hatékonyságát növelte a dandárokhoz nem rendelt tüzértartalék. [94; 84. o.]

Az Osztrák Császárság tüzérségénél a hétéves háború alatt használt könnyű 3, 6 és 12 fontos tábori lövegek rendszere olyan sikeresnek bizonyult, hogy a többi nagyhatalom gyakorlatilag lemásolta azt. [96; 3. o.] 1756-ban 203 tábori löveggel rendelkeztek, 1790-ben 948-cal, 1805-ben pedig 1275-tel. 1808-ban modernizálták a tüzérséget, a legtöbb 3 fontos ágyút tartalékba helyezték, ezzel az eszközkészlet 742-re csökkent. [95; 4. o.] Ez messze felülmúlta a porosz számokat, – 1813-ban 400 tábori löveg [96; 36. o.] – de alulmaradt az oroszok 1808-ban 1550 db-os, 1812-ben 1699 db-os készletével [96; 37. o.] szemben. Hozzá kell azonban tenni, hogy az osztrák tüzérség mozgékony és igen képzett³⁷ volt, ezzel szemben az oroszoknál volt a legkisebb (18%) [37; 229. o.] a legmozgékonyabb, azaz lovagló tüzér

³⁶ 825 - 1050 méter.

³⁷ köszönhetően a Lichtenstein hercege által 1744-ben alapított tüzérségi iskolának

ezredek aránya. A napóleoni háborúk alatt „*Austriának volt a legjobb tüzérsége a kontinentális szövetségesek között, de ez sem tudta felvenni a versenyt a franciával.*” [97; 168. o.]

Ausztria a hétéves háború alatt és után nagy súlyt fektetett tüzérségének modernizálására és a hazai gyártás megszervezésére. Erre képes is volt, hozzá kell azonban tenni, hogy soha sem tett komoly kísérletet egy tengeri flotta rengeteg löveget kívánó felszerelésére. A császári tüzérség tehát a 18. század közepétől a 19. század közepéig elegendő mennyiségű és kifejezetten jó minőségű löveganyaggal gazdálkodhatott, megállta a helyét a porosz és orosz riválisaival szemben.

IV.3. Gábor Áron ágyúi [98]

1848 novemberében a körülzárt Háromszék reménytelennek látszó helyzetbe került: dönteni kellett a megadás vagy a fegyveres önvédelmi harc között. Tüzérség hiányában az ellenállás megszervezése legalábbis nehéznek, ha nem egyenesen reménytelennek tűnt. A november 16-i³⁸ sepsiszentgyörgyi népgyűlésen azonban felszólalt Gábor Áron, és ágyúkat ígért. Szavát megtartotta: Bodvajon megszervezte az első ágyúk öntését, majd oroszlánrészt vállalt Turóczi Mózes rézüöntő műhelyének ágyúgyárrá fejlesztésében.

Ha ezt a páratlan tevékenységet az előzőekhez hasonlóan be kell sorolni, tulajdonképpen az adott műszaki-technikai lehetőségeket maximálisan kihasználó fejlesztésként lehet meghatározni. Gábor Áron zsenije abban állt, hogy felismerte, nem Európa, vagy akárcsak Magyarország műszaki-technikai lehetőségeit kell figyelembe venni, hanem a körülzárt Háromszékét. Ezzel a felismeréssel visszanyúlt egy ősből, egyszerűbb ágyúöntő módszerhez, amit a helyi körülményekhez adaptált.

Nehéz elég nagyra értékelni azt a tudást, találékonyságot és szervezőmunkát, amelynek eredményeképpen „rézágyúk” létrejöttek. A „székely ágyúmester” és az általa inspirált szakemberek olyan műszaki háttérrel hozták létre a lövegeket, ami messze nem érte el a kor technológiai színvonalát. Éppen abban rejlik zsenialitásuk, hogy a szűkös lehetőségeket maximálisan kiaknázva, a körülmények ellenére is elegendő, és jól használható fegyvert tudtak adni a forradalom tüzérségének.

³⁸ A hagyomány szerint. Eltérő források eltérő időpontokat adnak meg.

A bodvaji vasmű

Gábor Áron első ágyút Bodvajban öntötte. Ez nem véletlen: bodvaji vasmű egy igen modern, jó felszerelt üzem volt. Régóta ismert volt a vastartalmú ásványok gyakori előfordulása Erdővidéken. Az Európa-szerte fellendülő kereslet hatására a 19. század első felében három vasművet létesítettek, egymáshoz viszonylag közel: Magyarhermányban, Erdőfülében és Lövétén. A következő évtizedekben a Székelyföld vas használati tárgyainak túlnyomó részét ez a három vasmű állította elő, melyeket ezért székely kohóknak neveztek.

A Magyarhermány környéki jó minőségű vasérc kiaknázására a Bodvaj havas közelében működtetett bányát és vasművet Zakariás Antal, a balánbányai rézművek bérelője. A bodvaji vasmű 1831-ben kezdte meg működését, Zakariás 1843-tól bérelte. [99; 63. o.] [100; 10-11. o.] A kohóból csapolt jó minőségű nyersvas nagyobb részét öntészeti célokra használták. Vashámor is működött itt, ahol az öntészeti célra fel nem használt nyersvas széntartalmának csökkentésével kovácsolható vasat (a mai besorolás szerint: szerkezeti- vagy szerszámacélt), majd abból félkésztermékeket és mezőgazdasági szerszámokat készítettek. Csak a század végén építettek külön öntödét, ahol a megszilárdult nyersvasat újraolvasztották az öntéshez. A szabadságharc idején a kohóból csapolt nyersvasat azonnal, még folyékony állapotában kellett felhasználni, ezért az öntés a kohó mellé települt. [100; 13-14. o.]

Az egyszerűbb öntvényekhez talajformát használtak. Ez az öntési módszer a csak egyik oldalán alakos öntvények elkészítéséhez volt alkalmazható, mert a mintát a homokkal kidöngölt talajba nyomták, majd kiemelték, és az így kialakított mélyedést töltötték fel a folyékony fémrel. Bonyolultabb öntvények szekrényformázással készültek.³⁹ Formázóanyagként a Kisbaconból szállított homokot használták. [100; 14. o.]

A kohó a kor mércéjével mérve modern üzem volt, megfelelő kapacitással, a vas előállításában, öntésében és feldolgozásában gyakorlott munkásokkal. Valójában két dolog hiányzott ahhoz, hogy ágyút tudjanak önteni: a szaktudás, aminek birtokában méretezni tudnak egy ágyúcsövet, és az idő, ami alatt ehhez az új termékhez az öntőmester és a szakmunkások kidolgozzák a technológiát, és megteremtik a feltételeket. Ezek közül a megteremtendő feltételek közül a legfontosabb egy olyan, 3-4 méter mély öntögödör lett

³⁹ Ezt a módszert úgy a legegyszerűbb elképzelni, mintha két talajformát készítenénk: az egyikbe nyomjuk a minta egyik felét, a másikba a másikat. Azért, hogy a két fél forma mozgatható legyen, azokat most nem a talajba, hanem két erős keretbe – formaszekrénybe – döngölt száraz, agyagos homokból készítjük el. Ha a két formafelet jól illesztjük össze, a kialakuló üreg éppen a minta mása lesz.

volna, ami egyik oldalán megnyitható, és így lehetővé teszi az ágyúforma behelyezését, az ágyú függőleges öntését, majd annak kiemelését.

A bodvaji üzemet a kortársak is ágyúöntésre alkalmasnak gondolták, olyannyira, hogy a szóbeszéd hatására, miszerint a szászok Magyarhermányban ágyúkat öntenek, Berde Mózes kormánybiztos Daniel Gábor birtokost – valószínűleg 1848. október végén – száz nemzetőrrel kiküldte a bányatelepre. Daniel nem talált ágyúöntésre utaló jeleket.⁴⁰ Turóczi visszaemlékezéseiben [101] azt írja, mikor november 4-én⁴¹ kirendelték ide, kifejezetten Gábor Áron segítségéül, őt már az ágyúformával (ez véleményem szerint a minta lehetett, az akkori szóhasználat nem egységes a megnevezésekben) dolgozva találta. Jellemző a Turóczi tenni akarására, hogy – mivel a bodvaji munkát nem látta ígéretesnek – hazament Kézdivásárhelyre és öntött egy kétfontos bronzágyút.

Az öntés személyi feltételeinek tisztázása okán ide tartozik az a vita, amelyet Bodor Ferencnek, Zakariás bányatisztjének visszaemlékezése váltott ki. Ő azt állította, a bodvaji három hatfontos löveget és hozzá az ágyúgolyókat ő öntötte, Gábor Áron jelenlétében. Turóczi szerint viszont az ágyúkat a Gábor Áron készítette minta alapján az ott lévő német kohó- és bányamester öntötte. Mi – az utókor – Gábor Áront tartjuk ágyúöntőnek. Ki öntött itt ágyút? Hogyan állt össze hát az a szaktudás, ismerethalmaz, ami lehetővé tette az öntést?

Egy öntött munkadarab elkészítése, ahogy ma, úgy a Szabadságharc idején méginkább, komoly csapatmunka eredménye. Nyilván Gábor Áron adta az ágyú formáját és méreteit, sőt, a mintakészítés fáradságos és igen nagy precizitást igénylő munkáját is elvégezte. Mivel folytatott ilyen irányú tanulmányokat, a többiekkel ellentétben legalább elméletben ismerhette az ágyúöntés szokásos módjait.⁴² Bár a későbbiekben nem esik szó róla sehol, de fontosnak tartom a Turóczi által említett német kohó- és öntőmester tevékenységét. Ő a kohó ismeretével, és az öntészet terén szerzett gyakorlati tapasztalataival lehetővé tette, hogy ha nem is tökéletes, de a célnak még éppen megfelelő öntöttvas kerüljön az öntőformába. Nyilván birtokában volt mindazon fogásoknak, amik általában, és különösen ott, Bodvajon lehetővé tették a sikeres öntést. Végül valóban szerepe lehetett Bodornak, aki valószínűleg rendelkezett azokkal az elméleti fémtani ismeretekkel, amik egy ennyire szokatlan munkadarab esetén legalább némi támpontot adtak. Pozíciója okán lehetősége volt szervezni, segíteni a szükséges műveleteket. Ne feledjük el, már a nyersvas olvasztása, a kohó

⁴⁰ Visszaemlékezése szerint a gyárfelügyelővel való tárgyalása után – aki elmondta, tud ágyút önteni, de csak rossz minőségben – rendelt négyet.

⁴¹ Uo. Turóczi október negyedikét ír, de mivel egyértelműen október 15. utánra teszi az eseményt, inkább november negyediké lehetett.

⁴² Ilyen jellegű tanulmányairól Jakab Elek ír, de ezt egykorú kútfővel megerősíteni nem tudjuk.

felfűtése is óriási, jobbára kézi erővel végzett munka volt. (A fűjtató a kivétel, azt vízikerek működtette) Ha három hatfontos ágyúval számolunk, a különféle veszteségekkel együtt mondhatjuk, hogy legalább három tonna nyersvas kellett az öntéshez. Ehhez nagyjából 12-15 tonna vasércet, legalább 18 m³ faszenet és salakképzőnek néhány száz kilogramm mészkövet kellett a kohóba adagolni. [100; 14. o.]

A vaságyúk öntése

Gábor Áron jól ismerte a bodvaji kohót, sőt, már híres fogadalma előtt járt itt, és, ahogy az előzőekben láttuk, valamikor október legvégén, november elején előkészült az ágyúöntésre. Gábor Áron november 12-én, többedmagával ismét Bodvajba ment. A csapatban volt mások mellett Bene József hadnagy, Kiss János harangöntő és Monoki Antal tizedes, a huszárezred kerékgyártó műhelyéből. [99; 67. o.] ⁴³ A csapat összetétele árulkodó: maga Gábor Áron tudott öntőmintát csinálni, a harangöntő jól ismerte a harangokéhoz hasonló technikát kívánó öntőforma elkészítésének fogásait, vas olvasztását és öntését értő szakember pedig – mint azt korábban bemutattam – volt Bodvajban. A kerékgyártó mester jelenléte azt sugallja, hogy a csöveket a helyszínen kívánták fölszerelni, tehát lövegtalppal és a lövegmozdonnyal ellátni.

Késő este értek Bodvajba, a munkát másnap kezdték a szükséges eszközök összegyűjtésével. A minta elkészítéséhez megkapták Nagy Ábrahám malomépítő mester nagyméretű esztergapadját, a többi hiányzó dolgot Magyarhermány népe adta össze. Az elsőként elkészült ágyút rögtön kipróbálták. ⁴⁴ Bene hadnagy lőport hozatott, és az ágyú állta a próbálövéseket. Ezután elkészítették még két hatfontos ágyú öntőformáját, és hamarosan sikeres öntést ünnepelhetek. ⁴⁵

Az ágyúk készítéséhez teljesen új technológiát kellett kidolgozni: nem volt lehetőség függőlegesen önteni azokat (nem volt elég mély öntögödör) és nem volt ágyúfúró, amivel a csövet kifúrhatták volna. Az öntvény anyagául öntöttvas állt rendelkezésre, az ideális

⁴³ Máthé [99; 67. o.] Ezt egykorú forrással megerősíteni nem tudjuk.

⁴⁴ Máthé [99; 34. o.] szerint ez háromfontos volt. Bodola két hatfontos ágyúról tud, míg Turóczi háromról. Könnyen elképzelhető, hogy már a legelső ágyú is hatfontos volt.

⁴⁵ Máthé [99; 67. o.] szerint november 19-én történt a sikeres öntés, de ezt Demeter Lajos korainak tartja: 19-én még nem lehettek kész a csövek, egyrészt az alkalmazott öntési technológia ennél több időt vett igénybe, másrészt mert Heydte november 25-i erdővidéki betörése *okán* menekítik be őket Sepsiszentgyörgyre úgy, hogy nem is tudták még felszerelni őket, csak utána, Sepsiszentgyörgyön (lásd a Székely Nemzeti Múzeumban található vonatkozó 1848-as nyugtát). Ismételten köszönöm Demeter Lajos Acta Siculicában megjelent cikkemhez adott észrevételét.

ágyúbronz helyett. Az ágyúkat tehát a szokásostól eltérően vízszintes helyzetben, vasból és furattal kellett önteni. A három eltérés közül egy is komoly feladat elé állítaná a technológust, így együtt azt jelentette, hogy az öntvény külső méretét növelni kellett a gyengébb alapanyag⁴⁶ miatt, az öntőforma alakját módosítani a csőfuratot képző mag okán, illetve egyedi beömlőrendszert⁴⁷ és tápfejet kellett tervezni a vízszintes öntéshelyzet következtében.

Az öntőmintát eszterga segítségével kimunkálták, és a „két füle között”⁴⁸ – tehát hosszában, függőleges síkban – kettéfűrészelték. A két fél csőről „agyaggal töltött ládákban” – nedves agyagpépet tartalmazó formaszekrényekben – vették az öntőformát.

Ez a technológia sajátos keveréke volt az előzőekben leírt sárformára alapuló korszerűsített, a mintát kímélő eljárásnak és a formázóhomokot használó szekrényformázásnak. A formázóanyag nedves agyag⁴⁹ („sár”) volt, de a minta kialakítása a modernebb szekrényformázáshoz idomult. A szekrényformázás miatt kellett a mintát hosszában kettévágni. Ezzel lehetővé vált, hogy a homokforma készítéséhez hasonló módon, egy sík lapon (a formázóasztalon) készítsék el az öntőformát, méghozzá úgy, hogy a félbevágott öntőminta egyik felét vágásfelülettel lefelé az asztalra tették, köré helyezték a keret alakú formázószekrényt, és azt feltöltötték agyaggal, valószínűleg több lépésben, az agyagot folyamatosan szárítva. Ezután az egészet fölfordították, és a fél mintára (amelynek most a vágásfelülete volt felül) ráillesztették a másik felét. A formázószekrényre is rátették a párját, és megismételték az előbbi műveletet, a nedves agyaggal való feltöltést, elkészítvén közben a beömlő- és légzőnyílásokat is. A vízszintes öntési helyzet kompenzálására bizonyára több, nagyobb méretű tápfejet és légzőt alakítottak ki a forma felső részében. [103; 11. o.] A formát teljes száradása, óvatos kiegészítése után ismét kettéválasztották, és kiemelték a mintafeleket. Az öntőforma újraegyesítése után létrejött az ágyú külső alakját kiadó formaüreg.

A csőfurat elkészítése érdekében visszatértek az ősi módszerhez: „agyaggal vastagon bevont tölgyfa hengert” (magot) helyeztek a formába, hogy az a furatot megadja. A mag csőszáj felőli befogására az összeszerelt formát kifúrták, és ebbe a furatba szorították az agyagos tölgyfahengert, amit a csőfarnál háromágú vas magtámasz tartott. [99; 67. o.] Ez a támasz az öntvényben benne maradt – erről voltak felismerhetőek a Gábor Áron-féle bronzágyúk. A vaságyúk esetén ez a kovácsoltvasból készített, filigrán alkatrész az ágyú

⁴⁶ Az öntöttvas nagy széntartalmú, igen kemény és rideg anyag, nincs meg benne az ágyúbronz szívóssága.

⁴⁷ A folyékony fém a formaüregbe vezető csatornák.

⁴⁸ Idézetek: Bodola [102; 136. o.]

⁴⁹ Bodola [102; 136. o.]: „A két fél ágyut agyaggal tömött ládákban lemintáztuk s mikor a minták jól kiszáradtak...” Máthé [99; 67. o.] „Három napba került, amíg a csőformák elkészültek.” A formázásnak csak akkor ilyen magas időigénye, ha lassan szárítható sárformáról beszélünk.

anyagába beolvadt, és éppen ez az oka annak a jelenségnek, amit Turóczi Mózes egyértelműen mint a folyuk ferdeségét írt le, és ami az első ágyúk egyikének tönkremenetelét („kitört az oldala”) okozta.

Ha ugyanis a csőfarnál lévő magtámasz meggyengült, a folyékony fém felhajtóereje a magot elmozdíthatta. Becslésem szerint a magra jó hetven kilónyi emelőerő hatott⁵⁰, ami a mag elmozdulását, de akár elhajlását is okozhatta. A mag elkészítése rendkívüli gondosságot kívánt, így azt általában a leggyakorlottabb öntőmunkásra bízták. Az „agyaggal vastagon bevont tölgyfa henger” valójában egy tölgyfa rúd lehetett, amit szalmakötéllal körbetekertek, és erre vitték fel az agyagot. Ez a szerkezet egyrészt azt a célt szolgálta, hogy a tölgyfán az agyag meg ne csússzon, másrészt öntéskor a kiégő kötél által hagyott üregek kivezették a magból a felszabaduló nedvességet. Ez nagyon fontos volt, hiszen az öntőforma tökéletesen száraz nem lehet, azt a levegő nedvességtartalma a leggondosabb szárítás után is visszanedvesíti. Míg a formából a külső fala felé távozni tudott a felszabaduló (igen kis mennyiségű) gőz, addig a magból csak a csőtorkolati befogása irányába, hiszen mindenhol máshol fém vette körül. Ez a szerkezet biztosíthatta a gőz elvezetését, viszont szükségszerűen gyengébb, könnyebben deformálódik, mint egy hasonló vastagságú tölgyfa henger.

Ha ez a mag tehát a magtámasz meggyengülése folytán elmozdul vagy elhajlik, esetleg csupán saját gyengesége miatt - ívben a magtámasz és a torkolati befogás között - elhajlik, az elmozdulás vagy elhajlás irányába eső fal vékonyabb lesz, és lövéskor esetleg kitörik. Mivel Turóczi szerint Gábor Áron a ferdeség felmérése után képes volt pontosan tüzelni egy ilyen ágyúval, valószínűnek tartom, hogy a csőfurat („folyuk”) nem volt ívelt, de a hossz tengelye szöveget zárt be az ágyú hossz tengelyével – azaz a magtámasz öntéskor elengedett.

Id. zágoni Bodola Lajos⁵¹ leírása alapján az ágyúcsövet vízszintes helyzetben, az oldalára fordítva kellett hogy öntsék. Az osztósík (a két formafelet elválasztó „metszés”) ugyanis az ágyú „két füle között” húzódott, szekrényformázás esetén pedig mind régen, mind a mai gyakorlatban az a megszokott eljárás, hogy az osztósík vízszintes, azaz van egy alsó-, és rátéve, hozzákapcsolva egy felső formaszekrény. Ez azt jelenti, hogy a bodvaji ágyúknak az alsó formaszekrényben alakult ki az egyik (mondjuk a jobb) oldala, míg a felsőben a másik (mondjuk a bal) oldala. Érdekes, hogy az osztósíkot a korabeli gyakorlatban is – az előzőekben ismertetett továbbfejlesztett, a mintát megtartó agyagformás eljárás szerint –

⁵⁰ Némiképp szabatosabban fogalmazva jó hétszáz N. A 95,7 mm átmérőjű, 16 kalibernyi, tehát 1531,2 mm hosszú henger térfogata kb. 11 dm³. Ilyen térfogatú öntöttvas tömege 80,3 kg, ha ebből levonjuk a hasonló méretű tölgyfa henger tömegét (7,15 kg) akkor 73,15 kg különbséget kapunk. Ez $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ mellett 717,6 N.

⁵¹ Önkéntes Gábor Áron tüzérségénél, 1849. február 1-től főhadnagy. Visszaemlékezései alapján 1895-ben megírta a székely ágyúk történetét.

vízszintesen vezették át a mintán, úgy, hogy az mindkét csőcsapot felezte. A mai gyakorlat szintén így tesz, a hagyományörző vagy dekorációs célokra – egyébként a korabeli eljárástól eltérően, vízszintes helyzetben öntött – ágyúk mintáját is „természetes helyzetükben” osztják meg, tehát az alsó formaszekrényben az alsó, míg a felső formafélben a felső felük szilárdul meg.

Nem tudjuk, mi lehetett az oka az öntészeti gyakorlattól eltérő osztósík-vezetésnek: csak feltételezni lehet, hogy ez is az egyik azok közül az apró ötletek közül, amelyek Gábor Áronnak és munkatársainak találékonyságát dicsérik. Az ágyúcső öntéskor felfelé álló fele ugyanis szükségszerűen gyengébb lesz, egyrészt, mert a szennyeződések és a gázbuborékokat a folyékony fém nyomása a formaüreg felső részébe hajtja, másrészt, a nem megfelelően rögzített mag ugyane hatás következtében felfelé mozdul, azaz a „felső” fal vékonyabb lesz, és ráadásul kevésbé homogén, rosszabb minőségű is! (Ezért ideális a függőleges öntés, ahol a szilárd és gáznemű szennyeződések a tápfejbe felszállnak, illetve, a magra nem hat oldalirányú erő!) Tudjuk, hogy az ágyú elsütésekor a kezelő nem állhat a cső mögé: a gyúlyuktól hátrább, oldalt helyezkedik el. Talán nem túlságosan merész az a feltételezés, hogy a várhatóan gyengébb részt a cső ellentétes felére, a kezelővel átellenbe igyekeztek helyezni, hogy az ágyút elsütő tüzért az esetleges csőrobbanástól a leginkább megóvják.

Az öntvény méretezésénél igyekeztek a rendszeresített ágyúk méreteit követni, de az ágyú külső nagyságát a kellő szilárdság elérése érdekében megnövelték.⁵² Erre annál is inkább szükség lehetett, mert az ágyúk anyaga nem volt homogén.⁵³ Az inhomogenitás okozta – és esetleg a forma ráégése az öntvény felületére [103; 12. o.] –, hogy „Gábor Áron első ágyúinak külalakja nem volt csinosnak mondható” – ahogy azt Egyed Ákos igen finoman megfogalmazta. [104; 121. o.] Az öntés után az ágyúcsöveket letisztították, a fentiek értelmében nem is annyira kívülről, inkább hosszú nyelekbe ütött vésőkkel a cső furatát simítva. [102; 136. o.] A furat ilyenén kezelése azt mutatja, hogy semmilyen csőfúrójuk nem volt.

Az ágyúcsöveket ezután föl kellett szerelni, legfőképpen ágyútalppal és a vontatást lehetővé tevő lövegmozdonnyal ellátni. A kész lövegekkel 27-én értek Sepsiszentgyörgyre, [99; 67. o.] [104; 121. o.] ahol Kiss János harangöntő műhelyében végezték el az utolsó

⁵² „Az ágyú egyes méreteit az akkor használatban lévő Gribeauval rendszer utasításai szerint állítottuk össze (...) a teljesen felszerelt ágyú súlya legalább is kétolyan nagynak ütött ki, mint a megfelelő öblözetű osztrák ágyú.” [102; 136-137. o.]

⁵³ „A két első ágyú tisztátalan, salakos masszából volt öntve, mely az olvasztáskor nem melegedett egyformán s öntéskor még voltak benne egészen fel nem olvadt részecskék.” (Uo., 136.)

simításokat. Az egykorú források hiánya illetve részleges ellentmondásai miatt csak abban lehetünk biztosak, hogy másnap legalább az egyik ágyúval sikeres próbálövést hajtottak végre. A legfontosabb, hogy Gábor Áront az ágyúöntés folytatásával bízták meg. [104; 132. o.]

A „rézágyúk”

Tudjuk, hogy Gábor Áron első ágyúit vasból öntötte, a későbbiek viszont „rézből” készültek. A tiszta réz – lévén lágy, ráadásul nagyon rosszul önthető fém – ágyúanyagnak alkalmatlan. Természetesen Gábor Áron „réz”- ágyúi is bronzból voltak, ahogy a korszak tábori lövegei általában.

Az osztrák hatfontos ágyú anyagául 10:1 arányú ötvözetet írtak elő, ez körülbelül 9 százalékos óntartalmat jelent. Ez az ötvözet megfelelően kemény, ugyanakkor szívós, azonban a megfelelő tulajdonságok eléréséhez mind az összetételt, mind az öntés technológiáját igen szigorúan kell követni, és a szennyezők arányát alacsonyan tartani.

Erdővidék megszállása után Bodvajban nem lehetett folytatni az ágyúöntést. Kézenfekvő megoldásul kínálkozott Kiss János harangöntő műhelye. Gábor Áron itt négy darab háromfontos ágyút öntött, [102; 136. o.] felajánlott harangok anyagából, amihez rezet adtak, hogy csökkentsék az ötvözetben az ón arányát. Az öntés módszere a bodvajhoz hasonló volt, amint az is, hogy az alapanyag itt sem olvadt be tökéletesen, ezért – és a vízszintes öntési helyzet folytán a formába szorult levegő és szennyezők miatt – ezek az ágyúk is „ripacsosak és hólyagosak” lettek, és a vaságyúkhöz hasonlóan „ferde lölyukkal” sikerültek. [101] (Ez utóbbi arra utal, hogy a magtámasz vagy annak rögzítése továbbra is gyenge volt.) A tökéletlen öntés miatt az ágyúk külméreteit itt is megnövelték.

Turóczi Mózes rézüöntő szaktudása és jól felszerelt műhelye alapot adott az ágyúöntés kézdivásárhelyi megkezdéséhez. Ahogy azt az előzőekben írtam, ő maga is öntött kísérletképpen egy ágyút, ami olyan jól sikerült, hogy később az osztrákok nem tudták összetörni. [101]

Gábor Áron decemberben kezdett Kézdivásárhelyen tevékenykedni. A következő évben megkezdődött a harangok beszállítása. Komoly támogatás, hatvanezer forintos segély érkezett a kormánytól, [102; 137. o.] és a rézüöntő műhely valódi hadiüzemmé vált. Nyolc részlege volt: ágyúöntő, esztergályos, lakatos, kovács, asztalos, kerekés, nyerges és szerszámkészítő. Ebben a gyárban teljes, felszerelt lövegeket tudtak előállítani.

Javítottak az öntési eljárásan. Már nem vízszintes helyzetben, hanem a formát körülbelül 30 fokban megdöntve készítették az ágyúcsöveket. Legfontosabb mégis, hogy Turóczinak „volt ideje, hogy semmi elhamarkodva ne történjék”. [102; 137. o.] Ami azonban az utalásokban felbukkanó Turóczi feltalálta ágyúfúrót illeti, Szabó Sámuel teljesen egyértelműen ugyanolyannak írja le a formakészítést, mint Gábor Áron előző műhelyeiben: maggal, eleve furattal öntve a csövet. Maga Turóczi is azt írja, kész „lőlyukkal” öntötték az ágyút, mert a fúrás túlságosan hosszadalmas volt. Valószínű, hogy a fúrót a kész ágyú üregének simítására használták.

Itt figyelhetjük meg a háromszéki ágyúöntés legfejlettebb formáját. Az öntőmintát eszterga segítségével kimunkálták, és hosszában, függőleges síkban kettéfűrészelték. A két fél ágyúmintáról nedves agyagpéppel készítettek formát, teljesen úgy, ahogy azt a vaságyúk készítésénél leírtam. A fölfelé álló csőcsapra valószínűleg légzőt vezettek, abból a levegő másként nem távozhatott. A beömlő és a mellette lévő légző hasonló lehetett, és hasonlóképp a tápfejen állhatott, mint amit harangöntésnél ma is alkalmaznak. A formát parázs fölött kiszárították. A nagyobb sorozat okán a magot tartó furatot itt már egy, az ágyúmintátorkolati részéből kiálló hengerrel képezhették ki, így nem kellett külön lépésben megfúrni a formát. A magot a torkolatnál ez a furat, a csőfarnál pedig egy háromágú vas magtámasz rögzítette. A magot a vaságyúk csőfuratot (főlyuk) kiadó magjához hasonlóan, tölgyfarúd gerincre tekert szalmakötél, majd az arra fölvitt agyag alkothatta. Itt már a ferde öntési helyzet is segítette abból a gőzök távozását. Ezzel a módszerrel egyszerre két ágyút tudtak önteni, naponta többször is. [101] A két ágyú egyidejű öntése és a folyamatos munka érdekében nyilván több készlet formázószekrény és öntőminta állt rendelkezésre.

A formát összerakták, és körülbelül harminc fokos szögben az öntőgödörbe beásták. Ez a dőlés már elég lehetett ahhoz, hogy öntéskor az ágyú anyagából a szennyeződések és a gázbuborékokat a fém nyomása a tápfejbe szorítsa. Így már lett a formaüregnek egy olyan, legmagasabb pontja, ahonnan a légző ki tudta engedni a kiszoruló levegőt.

Öntés után a formát kiásták, hűlés után a kész csőről eltávolították. A tápfejet levágták, az ágyúcsövet tisztították, a csőfuratot fúróval simították, a gyúlyukat kifúrták. A kész ágyút felszerelték, tehát ellátták ágyútalppal és a különféle lövegfelszerelési cikkekkel.

Kézdivásárhelyen Turóczi első ágyúját nem számítva legalább 63 ágyút öntöttek.⁵⁴ Mivel az öntés január közepétől június közepéig folyt (utána Turóczi és a munkások Csíkszeredába mentek, nyilván az ottani gyártást előkészítendő) látszik, hogy a teljes, napi 4-

⁵⁴ Bodola szerint 63, [102; 136. o.] Turóczi visszaemlékezésében 64-ről ír. [101]

6 ágyús kapacitást soha nem érték el. Ez arra utal, hogy nem az öntőműhely volt az ágyúgyár „szűk keresztmetszete”, inkább a nyersanyagellátás, és talán a lövegek felszerelése korlátozta a termelést. Ezzel együtt ilyen számú löveg előállítása az adott viszonyok között rendkívüli teljesítmény, amit Gábor Áron óriási szervezőmunkája tett lehetővé.

Gábor Áron tevékenységének értékelése

A körülzárt Háromszék forradalmi érzelmű népének égetően szüksége volt tüzérségre, ágyúkra. Nem volt meg a lehetősége, hogy a magyar kormánytól segítséget kapjanak, a fegyveres önvédelemhez az ágyúkat maguknak kellett előteremteniük, a tüzérséget helyben kellett kiképezniük. Mindkét feladatban vezető szerepet vállalt Gábor Áron.

Háromszéken (illetve a szomszédos, udvarhelyszéki Bodvajban) 1848. novembere és 1849. júniusa között összesen több mint hetven⁵⁵ ágyút öntöttek. A Kézdivásárhelyen 1849-ben elkészült lövegek a harctéri követelményeknek is megfelelő, a csatatéren alkalmazható fegyverek voltak.

A szám összemérhető a térségben jelenlévő szembenálló erők erejével: az egyesült osztrák–orosz haderő 1849. júniusában 120 ágyú fölött rendelkezett. [103; 198. o.] Az, hogy megfelelő minőségű és elegendő löveget voltak képesek legyártani, óriási eredmény volt, mert az ágyúgyárat a semmiből teremtték. Hogy ez egyáltalán lehetséges legyen, kidolgoztak egy olyan technológiát, amely nagyrészt az ágyúöntés a korszakban már nem alkalmazott, ősi módján alapult. A modern hadiüzemek által előállított ágyúk persze könnyebbek és megbízhatóbbak voltak, Gábor Áron lövegei hajlamosabbak voltak repedésre.⁵⁶ Ennek oka részben a múltba visszatekintő technológia volt, részben azok a kompromisszumok (függőleges helyett ferde helyzetű öntés, bizonytalan minőségű alapanyagok) amelyeket meg kellett hozni a gyártás érdekében. Kompromisszumokat írok, de ezek valójában zseniális ötletek, újítások voltak, amik kidolgozása és alkalmazása lehetővé tette az adott körülmények között a lövegek létrehozását, Háromszék tüzérségének megteremtését.

⁵⁵ [105, 332. o.] szerint 71. Bodola 70-et ad meg. Ha elfogadjuk, hogy három készült Bodvajon, egy kétfontosat öntött kísérletképpen Turóczi, négy háromfontost csináltak Sepsiszentgyörgyön, és 63 vagy 64 darabot öntöttek Kézdivásárhelyen (ld. előző lábjegyzet), akkor 71 vagy 72 az eredmény.

⁵⁶ Gyalóka a sepsiszentgyörgyi ütközetben mesemmisült négy ágyúról írja: „vajon az osztrák tüzérség rontotta-e valóban el őket, avagy pedig – a Gábor Áron-féle ágyúk rossz tulajdonsága szerint – elhasadtak a hosszantartó tűzharcban”. [106;107. o.] Kinizsi szerint egy, [107; 86. o.] Bíró szerint három ágyú hasadt meg a vöröstoronyi csatában, [108;11. o.] Gyalócai szerint pedig négy, [106;10–11. o.] míg Nyepokojcsickij szerint három a segesvári ütközetben. [109; 116. o.]

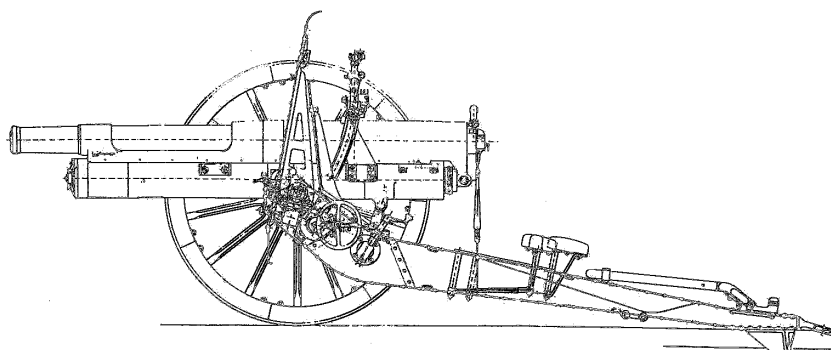
IV.4. A világháborúk

Az Osztrák-Magyar Monarchia a huzagolt, hátultöltő lövegekre való áttérést a hazai gyártású „acélbronz” lövegcsövek segítségével sikeresen végrehajtotta. A felgyorsuló technikai fejlődés azonban ezeket gyorsan meghaladta, és a Monarchia nem használta ki a hazai ipar lehetőségeit tüzérségi eszközparkja korszerűsítésére. A korszerűsítést óriási erőfeszítések árán, az első világháború éveiben hajtották végre.

A Magyar Királyság liszenszvásárlásokkal illetve hazai fejlesztésekkel a második világháború kezdetére a kor színvonalának megfelelő lövegeket rendszeresített, ám ipari kapacitása elégtelen volt a teljes átfegyverzésre. A hazai tüzérség tehát – alapvetően különböző okokból ugyan, de – mindkét háborúban szenvedett a korszerű eszközök hiányától.

IV.4.1. Első világháború: utolsó bronz csövek, gyors fejlesztések

Az első fejezetben a felállított vizsgálómárix-rendszerrel igazoltam, hogy az Osztrák-Magyar Monarchia tüzérsége korszerűtlen lövegekkel lépett az első világháborúba. A harmadik fejezetben a témát mélyebben vizsgálva arra a következtetésre jutottam, hogy ezek a lövegek mind technikai megoldásaikat, mind csőanyagukat tekintve elmaradtak az európai, de az Osztrák-Magyar Monarchiában általános műszaki technikai színvonalától is annak ellenére, hogy a Monarchia ipara nyilvánvalóan képes volt korszerű lövegek előállítására, sőt, gyártott is ilyeneket.



20. ábra: Orosz 1902 M 7,62 mm-es „Putyilov” táborigyűjtemény [110]

Az eszközrendszer elmaradása már 1914-ben nyilvánvalóvá vált, amikor haderónk a viszonylag korszerűen felszerelt orosz tüzérséggel került szembe.

Az orosz tábori tüzérség eszközparkjának gerincét az 1902 M 76 mm-es gyorstüzelő ágyú jelentette, (Lásd: 20. ábra) amelynél már a tömeggyártás igényeit figyelembe véve egy alacsony ötvözőanyag-tartalmú monoblokk csövet alkalmaztak, ami az alapanyag viszonylagos olcsósága ellenére kitűnően ellátta feladatát.

A cári hadsereg az 1910-es mozgósítási tervnek megfelelően az alábbi (Lásd: 30. táblázat) tábori és hegyi lövegekkel rendelkezett.

30. táblázat: A cári hadsereg mozgósítási tervében szereplő tábori és hegyi lövegek.

[111; 257. o.] [112; 328-335. o.]

Típus	Számadatok			Technikai adatok						
	Ütegek száma	Lövegszám ütegenként	Lövegek száma	Gyors lövegzár	Csőhátra-siklás	Lövegpajzs	Acélső	Löveg súlya (kg)	Lövedék súlya (kg)	Lőtávolság (km)
76 mm-es gyorstüzelő ágyú	685	8	5480	+	+		+	1040	6.6	8.8
76 mm-es gyorstüzelő ágyú a lovagló tüzérségnek	72	6	432	+	+		+	975	6.6	8.8
76 mm-es gyorstüzelő hegyi ágyú	$45\frac{1}{4}$	8	362	+	+	+	+	626	6.4	7,1
76 mm-es gyorstüzelő ágyú a lovagló hegyi tüzérségnek	7	6	42	+	+	+	+	n.a.	6.4	7,1
76 mm-es gyorstüzelő ágyú az Amúron túli határőrség lovagló hegyi tüzérségének	5	4	20	+	n.a.	n.a.	+	n.a.	n.a.	n.a.
122 mm-es könnyű tábori tarack	$85\frac{1}{3}$	6	512	+	+	+	+	1225	21	6,7
152 mm-es nehéz tábori tarack	41	4	164	+	+	+	+	2750	41	8,7
107 mm-es nehéz tábori ágyú	19	4	76	+	+	+	+	2180	18,1	9.8
Összesen	959		7088							

A táblázatban szereplő lövegeken kívül még partvédő- és erődlövegek is nagy számban voltak, illetve a tartalékban tartott elavult löveganyag.

Ami a 31. táblázatból kitűnik, az a tarackok alacsony aránya. Ez a lövegtípus a háború előrehaladtával, a fedezékek rombolásában, a fedett gyalogság pusztításában vált rendkívül fontossá. Az osztrák-magyar tüzérség is hasonlóan alacsony arányban alkalmazta a tarackokat a háború elején. A teljes lövegállomány 15%-a volt csak tábori tarack, ez 420 darabot jelentett, míg az 1734 tábori ágyú a löveganyag 63%-át tette ki.

31. táblázat: Lövegtípusok megoszlása a Monarchia tüzérségében 1914-ben [36; 116. o.]

Lövegtípus	Lövegek száma (db)	Lövegek aránya a teljes állományhoz képest (%)
Tábori tarack	420	15
Tábori ágyú	1734	63
Hegyi löveg	296	11
Közepes tábori löveg	112	4
Közepes ostromlöveg	108	4
Nehéz ostromlöveg	72	3
Összesen:	2742	100

Összehasonlítva a két haderő háború kezdetekor rendelkezésére álló tábori és hegyi lövegeit, (Lásd: 30. és 32. táblázat) megállapítható, hogy az orosz lövegek műszaki színvonalukat és teljesítményadataikat tekintve is felülmúlták az osztrák-magyar eszközöket.

32. táblázat: Az 1914 előtt rendszeresített tábori és hegyi lövegek technikai jellemzői [11; 106. o, 145. o, 161. o.] [36; 115. o.] [112; 223-228. o.] [113; 79-81. o.]

Megnevezés	Gyors lövegár	Csőhátra-siklás	Lövegpajzs	Acélső	Löveg súlya (kg)	Lövedék súlya (kg)	Lőtávolság (km)
1875 M 8 cm-es tábori ágyú					742	4,3	4,5
1875 M 9 cm-es tábori ágyú					1005	6,3	4,5
1875/96 M 9 cm-es tábori ágyú					n.a.	6.7	6
1905 M 8 cm-es tábori ágyú	+	+	+		1020	6.7	7
1905/8 M 8 cm-es tábori ágyú	+	+	+	+	1020	6.7	7
1899 M 10 cm-es tábori tarack	+				1000	14,7	6
1899 M 15 cm-es nehéz tarack	+				n.a.	38,5	6.2
1875 M 7 cm-es hegyi ágyú					n.a.	n.a.	n.a.
1899 M 7 cm-es hegyi ágyú	+				318	4.7	5.2
1908 M 7 cm-es hegyi ágyú	+	+			402	4.8	5.3
1909 M 7cm-es hegyi ágyú	+	+			467	4.8	5.3
1899 M 10 cm-es hegyi tarack	+				n.a.	14.7	6
1902 M 10 cm-es hegyi tarack	+	+			n.a.	14.7	6
1908 M 10 cm-es hegyi tarack	+	+			1233	14.7	6
1910 M 10 cm-es hegyi tarack	+	+			1210	14.7	6

1915-től megjelentek az új, modern lövegek az osztrák-magyar arzenálban. Növelték a tarackok arányát. A háború alatt legnagyobb számban az 1914 M 10 cm-es könnyűtarackot gyártották. A lövegcsőből 6458 darab, míg hozzá való lövegtalpból 4077 darab készült [36; 118. o.] 1915-től. Az olyan frissen alapított gyárak termelése, mint a Győri Magyar Ágyúgyár, meredeken felfutott. A Monarchia hadiüzemei több mint 15500 lövegcsövet és 10300 lövegtalpat [36; 114-115. o.] gyártottak a háború alatt.

33. táblázat: Az 1914-ben és azután rendszeresített tábori és hegyi lövegek
[11; 146-148. o.] [36; 115-119. o.] [112; 229-238. o.]

Megnevezés	Gyors lövegár	Csőhátra-siklás	Lövegpajzs	Acélső	Löveg súlya (kg)	Lövedék súlya (kg)	Lőtávolság (km)
1915 M 10,4 cm-es tábori ágyú	+	+	+	egyfalú	3300	17,5	12,8
1914 M 10 cm-es tábori tarack	+	+	+	egyfalú	1430	16	8
1914 M 15 cm-es tábori tarack	+	+	+	egyfalú	2770	42	8
1915 M 7,5 cm-es hegyi ágyú	+	+	+	kétfalú	612	6,5	7
1916 M 10 cm-es hegyi tarack	+	+	+	egyfalú	1235	16	8

Az új lövegek jellemzőit összehasonlítva az etalonnak tekintett francia ágyú felépítésével, (Lásd: 6. táblázat) illetve az orosz fegyverek (Lásd: 30. táblázat) felépítésével és teljesítmény-adataival, azt látjuk, hogy azoknak megfelelnek, az adott korban korszerűnek tekinthetők.

Nem lehet azonban megjósolni, hogyan alakult volna a háború, ha a kritikus első háborús évben erős, modern tüzérség nyújt hatékony tüztámogatást a harcoló csapatoknak. Mi lehetett volna, ha a tüzérség eszközrendszerének gyors, erőltetett újratерemtése nem követel akkora anyagi áldozatot az amúgy sem túlságosan tőkeerős Monarchiától. Ahogy azt Cziegler Gusztáv írta: „1918-ban a tüzérségi anyag korszerű volt mind minőség, mind mennyiség tekintetében, mert kifejlesztésében és szükségleteinek beszerzésében az illetékeseket nem hátráltatták a Monarchia népképviselői. A piavei támadásnál 28 m-re, a súlyarcvonalban 16 m-re jutott egy löveg. Ha 1914-ben ilyen tüzérségi felszerelésünk lett volna, ki tudja hol lennénk ma?” [11; 153. o.]

Az osztrák-magyar tüzérség a nagy háborút kifejezetten korszerűtlen eszközparkkal kezdte, ami a háború hatására világszínvonalúvá vált. Érdekes megfigyelni a fenti táblázatban az új rendszeresítésű lövegek közt a kifejezetten modern, 10,4 cm-es ágyút és 10-15 cm-es tarackokat, az új fegyverzetet, az orosz arzenál méltó ellenfelét. A 33. táblázat adatait

összehasonlítva az orosz löveganyagot megjelenítő 30. táblázat megfelelő adataival, látszik, hogy az osztrák-magyar tüzérség lövegeinek teljesítményét tekintve is felzárkózott az ellenséghez.

Az 1914 előtt és után rendszeresített lövegek táblázatainak vizsgálata azt is megmutatja, hogy a törekvés a korszerű felépítésre nem önmagáért való volt. Jelentősen nőtt a lövegek lőtávolsága, és a kilőhető lövedék tömege.

Jó példa a fejlődésre az 1915 M 7,5 cm-es hegyi ágyú amely mind az előző hegyi ágyúk lőtávolságát, mind a lövedék tömegét tekintve fejlődést hozott, ráadásul 1899-es 7cm-es hegyiágyú 5-7 lövés/perc tűzgyorsaságát [36; 85. o.] (lövedéktípustól függően) 10 lövés/perc tűzgyorsasággal [36; 167. o.] szárnyalta túl. Ezt a jól kezelhető löveget még a második világháborúban is alkalmazta a Honvédség. Olyannyira bevált, hogy fogatolható változatát a szintén továbbhasznált 1905 és 1905/8 M 8 cm-es tábori ágyúk feladatainak kiváltására is megfelelőnek tartották. Ha összevetjük a két löveg teljesítményadatait, ez nem meglepő, hisz az új hegyi ágyú gyakorlatilag ugyanazokat a lövedékeket hozza, kisebb súly és méretek mellett. Ezeket az eszközöket tehát nem a jobb teljesítményadatokkal haladta meg, mint elődeit, hanem a jobb kezelhetőséggel, szállíthatósággal.

Az Osztrák-Magyar Monarchia löveganyagának lecserélésével egy olyan esetet látunk, amikor egy korszerűtlen eszközpark a megváltozott követelményrendszer (háború) hatására a világ élvonalába kerül. Visszaülök itt az első fejezetben felállított, a löveg tulajdonságait műszaki fejlődés és a vele szemben támasztott követelményrendszer viszonylatában vizsgáló táblázathoz. (1. táblázat) Az előzőek alapján látszik, hogy a vizsgált fegyverrendszer a háború kezdetekor mind a fegyvernemmel szemben támasztott követelményekhez képest, mind az általános műszaki-technikai fejlettséghez képest rosszabb volt, tehát fejlesztésre szorult, amit végül a háború ki is kényszerített.

A háború kezdetekor kimutatható lemaradás a kortársak számára is nyilvánvaló volt. (Ld. Cziegler Gusztáv korábban idézett megállapításait.) Az, hogy a követelményrendszert miért nem tudták elfogadtatni, érvényesíteni a háborúra való fegyverkezés időszakában, külön dolgozat tárgyát képezheti.

IV.4.2. A második világháború: fejlesztés a semmiből

A trianoni békeszerződés egy löveganyagát és fegyvergyártási kapacitását elvesztett országot talált. A megszálló román csapatok jóvátétel címén elszállították a fegyvergyártásra

alkalmas gépeket és berendezéseket, így a győri ágyúgyár teljes gépparkját, de a létesítés alatt álló diósgyőri lövegüzem már meglévő gépeit is. A békediktátum 129 lövegben maximalizálta a rendszerben tartható lövegek számát, és nem engedélyezte a 105 mm felettiek alkalmazását.

A szerződés aláírása előtt sikerült Németországtól 50 löveget vásárolni. A diósgyőri Kovácsműhely, Lövegüzem és Hőkezelőüzem 1924-ben megépült. 1928-ban hagyták jóvá a gyár teljes befejezéséhez szükséges költségvetést, így az, óriási áldozatok árán, 1932-re elkészült. [19; 2. o.] A magyar hadiipar 1927-ig szoros ellenőrzés alatt állt, a Szövetségek Közi Katonai Ellenőrző Bizottság minden hadiüzembe és katonai objektumba beléphetett és ott ellenőrzést tarthatott. Ezzel a jogával rendszeresen élt is, ennek ellenére a diósgyőri lövegüzem ez alatt az időszak alatt közel 280 (!) löveget gyártott. [36; 155. o.] Ezek az eszközök az első világháború alatt használt típusok voltak, de még nem számítottak elavultnak.

Az 34. táblázatból látszik, hogy a magyar királyi Honvédtüzérség 1928-as löveganyagának nagyobb részét a diósgyőri MÁVAG lövegüzem szállította 1920 és 1927 között. Ez azért is óriási teljesítmény, mert a tevékenység nagy részét titokban, fedve kellett elvégezni. A Szövetségek Közi Katonai Ellenőrző Bizottság sem az átadott dokumentációk alapján, sem az ellenőrzések során nem tudta felfedni a jelentős darabszám-túllépést és a tiltott 15 cm-es lövegek gyártását.

34. táblázat: A Honvédség löveganyaga 1928-ban [36; 155-156. o.]

Lövegtípus	A diósgyőri lövegüzemben gyártva	Összesen
1915 M 7,5 cm-es hegyiágyú	34	70
1905/08 M és 1918 M 8 cm-es tábori ágyú	125	183
1914 M 10 cm-es tábori tarack	70	129
1914 M 15 cm-es tábori tarack	23	49
1908 M 8 cm-es légvédelmi ágyú	24	36
1915 M 10,4 cm-es ágyú	0	2
1915 M 15 cm-es gépvontatású tarack	0	4
1911 M és 1911/16 M 30,5 cm-es nehézmozsár	0	5
Összesen	276	478

Nyilvánvaló volt azonban, hogy ezzel a löveganyaggal nem lehet hosszan megfelelni az egyre fejlődő haditechnika állította kihívásoknak. 1930-ban felállították a Magyar Királyi Haditechnikai Intézetet, kifejezetten a fegyverzet és a hadfelszerelés modernizálására. Mivel a fegyverimport továbbra is korlátozott (és könnyen ellenőrizhető) volt, modern lövegek hazai gyártására törekedtek. Ennek érdekében a MÁVAG a svéd Bofors cégtől megvásárolta két

modern tábori löveg és egy légvédelmi ágyú gyártási jogát. 1931 M 10,5 cm-es közepes ágyú, 1931 M 15 cm-es gépvontatású közepes tarack és 1929 M 8 cm-es légvédelmi ágyú néven rendszeresítették a liszensz alapján gyártott lövegeket. Vásároltak, illetve liszenszben gyártottak olasz 21 cm-es nehéz tarackokat. A HTI és a MÁVAG együttműködésében modernizálták a meglévő löveganyagot és új fejlesztésekbe kezdtek.

A harmincas években a tábori tüzérség részére tovább gyártották az 1915 M 7,5 cm-es hegyiágyút, illetve annak 1931-ben és 1935-ben rendszeresített lovassági, fogatolt változatait. A löveghiány miatt a második világháború végéig nagy mennyiségben használták az elavult 1905/08 M 8 cm-es tábori ágyút is.

Ebben az időben égető problémaként jelentkezett a könnyűtarackokkal való ellátás kérdése. Jobb híján még a '30-as években is tovább gyártották az 1914 M 10 cm-es tarackot. Németországból vásároltak tarackokat, melyeket 1937 M 10,5 cm-es „Göring” könnyű tarack néven rendszeresítettek, fogatolt és gépvontatású változatban is. A németek nem kívánták eladni a „Göring” tarack gyártási jogát, a felajánlott svéd tarack nem bizonyult megfelelőnek, az 1914 M 10 cm-es pedig reménytelenül elavult volt. Később, csak 1941-ben rendszeresítették az új, magyar fejlesztésű 1940 M 10,5 cm-es könnyű tarackot.

Közepes tarackként gyártották a már korábban említett, kifejezetten modern, de a háború végéig elégtelen mennyiségben rendelkezésre álló svéd eredetű 1931 M 15 cm-es gépvontatású közepes tarackot. Az 1914 M 15 cm-es tábori tarackot modernizálták, és 1914/35 M és 1914/39 M közepes fogatolt tarackként rendszeresítették.

35. táblázat: Tüzérségi fegyverrendszerek és fejlesztőik [36; 194. o.]

	Típus	Fejlesztő
Könnyű	1915 M 7,5 cm-es hegyi ágyú	Skoda
	1915/35 M 7,5 cm-es hegyi ágyú	Skoda, hazai módosítással
	1905/08 M 8 cm-es tábori ágyú	Skoda, hazai módosítással
	1918 M 8 cm-es tábori ágyú	Böhler
	1914/34 M 10,0 cm-es tábori tarack	Skoda, hazai módosítással
	1937 M 10,5 cm-es tarack	Német, Rheinmetall
	1940 M 10,5 cm-es tarack	Diósgyőr, HTI
	1931 M 10,5 cm-es gépvontatású ágyú	Svéd, Bofors
Közepes	1931 M 15 cm-es gépvontatású tarack	Svéd, Bofors
	1914/39 M 15 cm-es tarack	Skoda, hazai módosítással
Nehéz	1939/40 M 21 cm-es gépvontatású nehéztarack	Olasz, hazai módosítással
	1911/16 M 30,5 cm-es mozsár	Skoda, hazai módosítással

Nehézlövegként az olasz eredetű 1939 M (eredeti olasz) és 1940 M (módosított, magyar gyártású) 21 cm-es gépvontatású nehéztarackot rendszeresítették a meglévő 30,5 cm-es mozsarak illetve a svéd eredetű 1931 M 10,5 cm-es gépvontatású ágyú mellé.

1939 októberében Diósgyőrben havi 21 közepes-és nehéztarack vagy 30 könnyűlöveg csövét voltak képesek előállítani. Ez a kapacitás olyannyira nem volt elégséges, hogy már 1940-re 50%-os emelését tervezték. [36; 167. o.]

A diósgyőri lövegüzem (MÁVAG-D) éves termelésének csúcsát 1943-ra érte el, 1260 db legyártott löveggel. Ugyanekkor az üzem 2160 db-osösszmegrendeléssel rendelkezett a HM részéről, aminek a teljesítése a jól megszervezett és széleskörű vállalatközi kooperációk ellenére is lehetetlen volt. [18; 4-6. o.]

A magyar hadiipar az erőltetett és valóban nagyarányú fejlesztések ellenére sem volt képes a Honvédtüzérséget megfelelő mennyiségű korszerű löveggel ellátni. A vásárlások a háború előtt az ország politikai elszigeteltsége miatt igen kis volumenben valósulhattak meg. A háború alatt a zsákmányolt állomány illetve német zsákmányanyagból biztosított löveganyag elégtelen mennyiségű és jobbára elavult volt. A második világháborúban a magyar tüzérség az ipar erőfeszítéseinek dacára is kevés és gyakran korszerűtlen löveggel volt kénytelen megvívni harcait.

IV.5. A második világháborút követő időszak

A világégés lezárulta után a hagyományos tüzérség eszközeinek fejlődése átmenetileg megtorpant. Ennek legfőbb oka a háború alatt felhalmozott készletek és az óriási kiépített gyártókapacitás hatása volt. A háború utolsó éveire kifejlesztett eszközök rendkívül korszerűek voltak, és nagy számban rendelkezésre álltak, de megvoltak a gyártásukhoz szükséges eszközök is. Nyilván egyetlen józanul gondolkodó hadvezetés sem gondolt fejlesztésekre, generációváltásra ilyen környezetben.

Ami méginkább háttérbe szorította a hagyományos fegyverzet, közte a tüzérségi eszközök fejlesztését, az éppen a kialakuló hidegháború, a tömegpusztító, azon belül is a nukleáris fegyverek okozta fenyegetés volt. A stratégiák már megatonnákbán dolgoztak, és nagyon sokáig uralkodott az a szemlélet, ami szerint stratégiai célokat a jövőben kizárólag atomfegyver bevetésével lehet elérni.

Ebben az időszakban a Magyar Honvédség, majd a Magyar Néphadsereg tüzérségi eszközrendszere a világ élvonalába került. Szomorú, hogy nem a vitathatatlanul rendelkezésre

álló szellemi kapacitás kihasználásával, hanem egyszerűen a szovjet fegyverzet átvételével jutottak erre a szintre.

A diósgyőri MÁVAG lövegüzemben a termelés 1944 folyamán megszűnt. 1944 tavaszán a megszálló német csapatok az értékeesebb gépeket elszállították, szeptemberben pedig rendkívül erős amerikai bombatámadás érte a gyárat. November végén a gyár működése megszűnt, megmaradt gépeit Solymárra szállították. A gyár felrobbantásától a németek eltekintettek, olyan súlyos károkat okozott a szeptemberi légitámadás.

A háború befejeztével az üzem szerszámgépek javítását, felújítását végezte, nem utolsósorban a saját gyártási kapacitás visszanyerése érdekében. A szerszámgépek közül 169 db-ot jóvátételként a Szovjetunióba szállítottak. [18; 10. o.]

1949-ben indult újra a löveggyártás Diósgyőrben, a Dróthúzó üzemben. A HM 1948-as átiratában évi 170 darabos termelést várt el, és előírta egy új üzem telepítését kifejezetten a löveggyártás céljára. [18; 13. o.] A HM 1949-ben az iparral szembeni elvárását az 1951-52-es évekre nézve 898 (!) db-ra emelte. [18; 13. o.] Ekkor még nem állt rendelkezésre a gyártáshoz szükséges dokumentáció, így a HM kiutalt egy-egy példányt a szovjet 1942 M 76,2 mm-es páncéltörő ágyúból (amelyet tábori ágyúként is használtak) illetve a szovjet 1938 M 122 mm-es tarackból az üzem részére. Ezekről vették le a méreteket a gyártáshoz illetve ezek alapján keresték a megfelelő magyar alapanyagokat. [18; 13-14. o.] Mivel a nikkel továbbra is igen drága és nehezen beszerezhető volt, a leginkább igénybevett csőfart és magát a csövet a háborús években jól bevált CrV3 takarékcélból készítették el. Ez a későbbiekben sok gondot okozott, mert ez az anyag nem tudta teljesíteni azt a -40 fokon mért ütőmunkát (hidegszívósságra utaló adat) és az arányossági határra (az a legnagyobb feszültség, amivel még még egyenesen arányos a méretváltozás) vonatkozó követelményt, amit a később átadott liszensz előírt. Ennek ellenére az ilyen anyagból gyártott csövek és csőfarok a gyakorlatban megfelelőnek bizonyultak. [18; 17. o.]

Ennél is nagyobb problémát okozott, hogy a mintapéldányokról történő méretlevétel és az az eltérő méretezési elvek miatt a tűréseket is eltérő logika szerint vették fel, így a Diósgyőrben gyártott alkatrészek csak egymással voltak felcserélhetőek, szovjet megfelelőikkel nem. [18; 16. o.]

Az 1948-ban megkötött szovjet-magyar államközi szerződés értelmében az ágyúból Magyarország 72 darabot, míg a tarackból 36 db-ot kapott. Ez a mennyiség nyilvánvalóan elégtelen volt, ezért kellett a gyártást mielőbb beindítani. A két lövegtípus később a Magyar Néphadsereg tábori tüzér ezredeinek alapvető fegyverévé vált.

1949 júniusában megkezdődtek az új üzem építési munkái, és ezzel szinte párhuzamosan a gépek telepítése. 1950 májusában megindult a termelés a DIMÁVAG új gyáregységében. Ez év őszétől folyamatosan érkeztek a szovjet dokumentációk, és szovjet tanácsadók is segítettek a tömeggyártás beindulását. 1951-ben Diósgyőrben több típusból (ideértve a páncéltörő- és légvédelmi ágyúkat is) összesen 855 löveg készült el, 1952-ben 1219, 1953-ban 1287 [114; 547. o.]. Az üzem exporttevékenységet indított Csehszlovákia, Bulgária és az NDK irányába.

A haderő erőltetett fejlesztése a hazai gyártás mellett is erősen támaszkodott a szovjet szállításokra. Itt nem térek ki a páncéltörő- légvédelmi- és rohamlövegekre, amelyek átadásával illetve gyártásával az 1951-ben alakult Néphadsereg korszerű eszközparkra tett szert.

1953-tól elkezdődött a haderő mennyiségi visszafejlesztése. Rendkívül sok löveg került „Mozgósításra Zárolt” (MZ) készletbe. 1954-re a Nehézszerológépgyár (a diósgyőri üzem neve 1952-től) kapacitásainak csak 43 %-át kötötte le a HM. [18; 30. o.]

1956-tól megszűnt a hazai löveggyártás. A gyártás jóval kisebb volumenben, egyetlen típussal, az Sz-60 57 mm-es légvédelmi gépágyúval indul újra 1959-től. Ezzel a gyár komoly exporttermelést valósított meg, ami hozzájárult a löveggyártó képességek fenntartásához.

A tábori tüzérség alaptípusa tehát az 1942 M 76,2 mm-es páncéltörő ágyú – kifejezetten tábori ágyú funkcióban – illetve az 1938 M 122 mm-es tarack lett. Ezt a lövegtípust 1968-ban a diósgyőri lövegüzem modernizálta, és az új 1938/68 M tarack 1990-ig szolgálta a haderőt. [36; 265-266. o.] Az ötvenes évek elején rendszeresítették még az 1931/37 M 122 mm-es tábori ágyút, az 1943 M 152 mm-es D-1 tábori tarackot, és az 1937 M 152 mm-es ML-20 tarackágyút. [36; 265. o.] A D-1 tarack futóművét a 70-es években a diósgyőri lövegüzem modernizálta, így ez a lövegtípus az 1980-as évekig szolgálatban maradt. [36; 269. o.]

Az ötvenes években rendszeresített löveganyag megfelelt a kor színvonalának. A technikai fejlődés néhány évtizeden belül túlhaladta a nagy lőtávolságú és pontos, de kifejezetten nehéz, jóval 7 tonna fölötti tömegű [112; 371-372. o.] 1931/37 M 122 mm-es tábori ágyút, és az 1937 M 152 mm-es ML-20 tarackágyút. Kifejezetten hosszú rendszerben tartást, tehát saját korát talán kicsit megelőző eszközt látunk viszont az 1938 M 122 mm-es tarack és az 1943 M 152 mm-es D-1 tábori tarack esetében.

Az 1960-as évek elején kezdték leváltani az 1942 M 76,2 mm-es páncéltörő ágyúkat a Lengyel Népköztársaság által gyártott 85 mm-es D-44 hadosztályágyúkra. Ezek a hosszú csövű, a harcokosi- és a légvédelmi ágyúkkal azonos lőszer tüzelő eszközök elődjükhöz

hasonlóan kiválóan alkalmasak voltak páncéltörő feladatokra is. Repeszgránáttal 15650 m volt a maximális lőtávolságuk, páncélatütő képességük a megfelelő lőszerrel 500 m-en 210 mm volt. [36; 276. o.]

1974-től rendszeresítették a 152 mm-es D-20 ágyútarackokat. Ezek a korszerű eszközök jelentős növekedést hoztak az 1938/68 M 122 mm-es tarackokhoz képest mind lőtávolságban, mind a lövedék tömegében. 1984-ben 288 ilyen löveg volt rendszerben, [36; 287. o.] és még napjainkban is rendszerben áll 12 [36; 312. o.].⁵⁷

A Magyar Néphadsereg ellátottsága tüzérségi eszközökkel mind mennyiség, mind minőség tekintetében jó volt. Az élenjáró szovjet technika átvétele biztosította, hogy az eszközök világszínvonalúak legyenek. A szovjet döntéshozók a megfelelő darabszám elérésére nem haboztak nyugati technológiát vásárolni (pl.: osztrák csőgyártó gépsorok, lásd: 3. fejezet) és – ahogy azt a hazai példán láthattuk – hangsúlyt fektettek a löveggyártás elősegítésére Varsói Szerződés egyéb államaiban is.

KÖVETKEZTETÉSEK

A negyedik fejezetben összehasonlítottam a magyar tüzérség lövegeit, elsősorban a lövegcsövekre koncentrálva, az európai eszközparkkal.

Magyarországra a tüzérség eszközei két irányból, Délről és Nyugatról áramlottak be. A kezdetekben – a 15. század elejéig – a déli, itáliai hatás volt az erősebb. Az ágyúgyártás nagyon korán, már 1360-as évektől megindult Dalmáciában, valószínűleg velencei előképek nyomán. A német hatást erősítette, hogy országunkban gyakran német tűzmestereket alkalmaztak. Magyarországon Zsigmond uralkodása alatt, a 14-15. század fordulóján terjedt el az ágyúk használata. A kor szokása szerint a városok is tartottak ágyúkat, ágyúmestereket, de a korabeli utazó kifejezetten jól felszerelt várakat is említ. Az uralkodó levelezése arra utal, a nem a várakban elhelyezett királyi lövegeket Budán tartották, azokat szükség esetén – lehetőleg vízi úton – szállították a felhasználás helyére. A leírások arra utalnak, hogy a tüzérségi eszközpark minőségét és mennyiségét tekintve is európai színvonalú volt.

Erős volt a tüzérségi eszközök, illetve az azokat előállító mesterek beáramlása. A műszaki-technikai fejlődés hatása a kész, az ilyen befolyást tükröző fegyvergyártó

⁵⁷ A dolgozat korlátai miatt nem ejtettem szót az 1960-as években felálló rakétatüzérségről, az 1970-es évek elején beszerzett BM-21 rakéta-sorozatvetőről, a 122 és 152 mm-es önjáró lövegek bevezetéséről. Nem fért a keretekbe a páncéltörő rakéták sora, és őszinte sajnálatomra a kitűnő 100 mm-es simacsövű MT-12 páncéltörő ágyú sem. A korszak tüzérségének értékelését lásd: [36; 213-293. o.]

technológiák, tüzérségi eszközök átvételével valósult meg. Nincs olyan forrás, ami arra utalna, hogy hazánkban alkalmaztak volna először valamilyen előremutató, a műszaki-technológiai fejlődés által inspirált új fegyvergyártó módszert vagy tüzérségi eszközt. Ez utóbbi megállapítás a hazai használatú tüzérségi eszközök teljes történetére igaz.

Mátyás alatt még megvoltak az előző kor kőgolyókat vető óriáságyúi, de a modernizálódó hadviselés egyre inkább a hosszabb csövű, vaspolyót vető, messzebbre tüzelő lövegeket részesítette előnyben. A lövegek fejlődése még mindig kettős hatás alatt állt. Mátyásnak egyaránt voltak német és olasz stílusú ágyúi, és „rendszerben tartotta” az örökölt vagy zsákmányolt lövegeket is. Ezen kívül – ahogy azt apja, János tette – gondosan és egyáltalán nem önzetlenül számon tartotta a városok lövegparkját. Ez volt az a kor, amikor a jelentős városok saját ágyúkat öntettek, nemegyszer a saját városi ágyúöntő műhelyben. Az ágyú ebben az esetben nem csak az önvédelem eszköze, de a város gazdagságának, hatalmának jelképe is volt.

Mátyásnak nagy hadserege és komoly tüzérsége volt. 1468-ban Csehország ellen 50 nehéz ágyút vitt, 1479-ben a törökök ellen olyan tüzérségi összpontosítást hajtott végre, amellyel elnyerte Európa figyelmét. 148 ágyúja és 24 seregbontója volt 80 tűzmesterrel és a szükséges legénységgel. Naszádjai is komoly fegyverzettel rendelkeztek, a 364 hajón 1354 ágyú volt. Bátran kijelenthetjük, hogy a tüzérségi eszközök tekintetében kifejezetten erős volt, mind a török mind a nyugati hadseregekkel összehasonlítva megállta a helyét.

Ebben a korszakban a műszaki-technikai fejlődés egyértelmű, közvetlen hatásáról – gyakorlatilag a harangöntő módszer átvételéről – beszélhetünk, amikor a kőgolyókat tüzelő bronz bombardák, mozsarak előállítását vizsgáljuk.

A fegyvergyártás igényei alapján kifejlesztett, új technológiát látunk, amikor a hasonló, de vasból, kovácsolással készített dongás-abroncsos ágyúk előállítását vizsgáljuk. Itt az általános műszaki haladás közvetlenül nem, de a kovácsolási technikák magabiztos alkalmazásával közvetetten hatott az eszközök előállítására, az új technológia megjelenésére.

A hosszú, vaspolyót tüzelő bronzágyúk előállítása megint csak egy új, a civil életben előképpel nem rendelkező, előremutató technológiát kívánt. Az általános műszaki-technikai fejlődés az alapanyagok, olvasztási technikák javulásával megteremtette a feltételét ennek az előremutató eljárásnak, a harangöntők mintakészítő- és formázástechnikája biztosította a mesterfogásokat. A hosszú lövegcsövek torkolattal felfelé való öntése kifejezetten olyan új technológia volt, aminek a kidolgozását az általános műszaki-technikai fejlődés tette lehetővé, de a tüzérséggel szemben támasztott követelmények, az erődítések javulása illetve a hordozhatóság egyre erősödő kíváncsi kényszerítette ki.

A mohácsi csatát, illetve a Buda elvesztését követő években egy összefüggő védelmi vonal alakult ki Magyarország területén az oszmán haderő feltartóztatására. A magyar végvárak – nem utolsósorban az Ausztriából érkező utánpótlás hatására – az ágyúk német osztályozási rendszerét alkalmazták. Elmaradtak ugyan tüzérségi felszereltségük tekintetében a fejlett nyugat-európai erődítményektől, nemegyszer igen koros lövegeket is használatban tartottak, de erejük általában elégségesnek bizonyult az oszmán előretörés megállítására. A védelmet a kézi tűzfegyverek és a lövegek alkotta tűzrendszerre alapozták, ami az ostromok visszaverését még nagy túlerő esetén is lehetővé tette.

Az osztrák Örökös Tartományokat védő várak – Kanizsa, Győr, Komárom - a kor legjobb fegyverzetét kapták. Az ilyen várak feltöltését, ellátását az Örökös Tartományok vagy egyenesen a Német-Római Birodalom biztosította. Léteztek azonban magyar kézben lévő ágyúöntő műhelyek is. Ilyen volt Besztercebánya, Eperjes, Sárospatak és Gyulafehérvár. Ezeken kívül öntöttek lövegeket Kassán, Trencsénben, Galgócon, Vágbesztercén, Pozsonyban, Váradon és Zólyomban is. Ezután nem meglepő, hogy az öntető neve (őt mindig feltüntették a csövön) a vizsgált 492 esetből 275 magyar, 199 császári és 11 német birodalmi. Az öntőmesterek – akár osztrák, német vagy magyar öntetőről van szó – minden esetben németek.

A végvári harcok erősségeit tehát jelentős magyar áldozatvállalással látták el lövegekkel. Az újonnan biztosított tüzérségi eszközök – köszönhetően a német öntőmestereknek – a kor színvonalán álltak. Az egyszerűbb önthetőség, mozgathatóság miatt azonban elsősorban a tábori lövegeket alkalmazták a várakban is, a nagyobb űrméretű ritkábbak voltak. Gyakori volt, hogy ugyanaz a (német) megnevezés Magyarországon kisebb űrméretű ágyút jelölt.

A végvárak tüzérségi felszerelésének általános színvonala tehát kissé elmaradt a legfejlettebb lehetőségektől, ennek oka pedig a végvárakra fordítható anyagi források korlátossága volt.

Ausztria tüzérségét az örökösödési háború (1740-48) után Joseph Wenzel, Lichtenstein hercege alakította újjá. A herceg meghatározta a járatos űrméreteket, szakértői egyszerűsítették a lövegcső alakját, a csőfurat és a lövedék közti méretkülönbséget pedig csökkentették. Ezt az új, Franciaországban kidolgozott ágyúfúró technológia átvétele tette lehetővé. Nagymértékben modernizálták, egyszerűsítették és egységesítették az ágyútalpakat, lövegmozdonyokat, lőszeres kocsikat és a löveg kiszolgálásának szerszámain, azaz kihasználták a műszaki-technikai fejlődés adta lehetőségeket. Ez a valóban előremutató, jól használható fegyverrendszer 1859-ig szolgálta az osztrák császárság tüzéreit.

Az osztrák császárság a hétéves háború alatt és után nagy súlyt fektetett tüzérségének modernizálására és a hazai gyártás megszervezésére. Erre képes is volt, hozzá kell azonban tenni, hogy soha sem tett komoly kísérletet egy tengeri flotta rengeteg löveget kívánó felszerelésére. Bronz lövegeket gyártottak Meceln-ben (ma Belgium) Bécsben, Grácban, Prágában, Pesten és Brassóban, többségüket a két első városban. Vasból Mariazell-ben és Resicán öntöttek. Az osztrák, a napóleoni háborúk korában a legjobb Napóleon-ellenes tüzérségként a poroszokat a lövegek számával, az oroszokat a mozgékony egységek nagyobb arányával múlta felül. A császári tüzérség tehát a 18. század közepétől a 19. század közepéig elegendő mennyiségű és kifejezetten jó minőségű löveganyaggal gazdálkodhatott, megállta a helyét a porosz vagy orosz riválissal szemben.

1848-ban éppen ezzel a hatékony és jól felszerelt tüzérséggel kellett szembenéznük a magyar forradalmi csapatoknak. Novemberben a körülzárt Háromszék reménytelennek látszó helyzetbe került: tüzérség hiányában az ellenállás megszervezése legalábbis nehéznek, ha nem egyenesen reménytelennek tűnt. A november 16-i sepsiszentgyörgyi népgyűlésen azonban felszólalt Gábor Áron, és ágyúkat ígért. Szavát megtartotta: Bodvajon megszervezte az első ágyúk öntését, majd oroszlánrészt vállalt Turóczi Mózes rézöntő műhelyének ágyúgyárrá fejlesztésében. Gábor Áron zsenije abban állt, hogy felismerte, a lövegek előállításához nem Európa, vagy akár csak Magyarország műszaki-technikai lehetőségeit kell figyelembe venni, hanem a körülzárt Háromszékét. Ezzel a felismeréssel visszanyúlt egy ősből, egyszerűbb ágyúöntő módszerhez, amit a helyi körülményekhez illesztett. A régi módszer adaptálásával mennyiségi növekedést ért el.

Háromszéken (illetve a szomszédos, udvarhelyszéki Bodvajban) 1848 novembere és 1849 júniusa között összesen több mint hetven ágyút öntöttek. A Kézdivásárhelyen 1849-ben elkészült lövegek a harctéri követelményeknek is megfelelő, a csatatéren alkalmazható fegyverek voltak. A lövegek száma összemérhető a térségben jelenlévő szembenálló erők erejével: az egyesült osztrák–orosz haderő 1849 júniusában 120 ágyú fölött rendelkezett. Az, hogy megfelelő minőségű és elegendő löveget voltak képesek legyártani, óriási eredmény volt, mert az ágyúgyárat a semmiből teremtették.

A „boldog békeévek” után az Osztrák-Magyar Monarchia tüzérsége – ahogy azt az első fejezetben felvett vizsgálómátrix-rendszerrel bemutattam – a kor kívánalmainak már teljes mértékben megfelelni nem tudó bronz csövekkel szerelt, kifejezetten korszerűtlen tüzérségi eszközökkel lépett az első világháborúba. Ez az elmaradás már 1914-ben nyilvánvalóvá vált, amikor a viszonylag korszerűen felszerelt orosz tüzérséggel kerültek szembe.

1915-től megjelentek az új, modern lövegek az osztrák-magyar arzenálban. Bemutattam, hogy a konstrukciós fejlődés a lövegek teljesítményében is egyértelműen megmutatkozott.

Növelték a tarackok arányát. A háború alatt legnagyobb számban az 1914 M 10 cm-es könnyűtarackot gyártották. A lövegcsőből 6458 darab, míg hozzá való lövegtalpból 4077 darab készült 1915-től. Az olyan frissen alapított gyárak termelése, mint a Győri Magyar Ágyúgyár, meredeken felfutott. A Monarchia hadiüzemei több mint 15500 lövegcsövet és 10300 lövegtalpat gyártottak a háború alatt.

Igazoltam, hogy az osztrák-magyar tüzérség a nagy háborút kifejezetten korszerűtlen eszközparkkal kezdte, ami a háború hatására világszínvonalúvá vált, megfelelt az általános műszaki-technikai fejlettségnek.

A trianoni békeszerződés egy löveganyagát és fegyvergyártási kapacitását elvesztett országot talált. A megszálló román csapatok jóvátétel címén elszállították a fegyvergyártásra alkalmas gépeket és berendezéseket, így a győri ágyúgyár teljes gépparkját is. A békediktátum 129 darabban maximalizálta a rendszerben tartható lövegek számát, és nem engedélyezte a 105 mm feletti alkalmazását.

A magyar királyi Honvédtüzérség 1928-as löveganyagának (478 db) nagyobb részét a diósgyőri MÁVAG lövegüzem szállította 1920 és 1927 között. Ez azért is óriási teljesítmény, mert a tevékenység nagy részét titokban, fedve kellett elvégezni. A Szövetségek Közi Katonai Ellenőrző Bizottság sem az átadott dokumentációk alapján, sem az ellenőrzések során nem tudta felfedni a jelentős darabszám-túllépést és a tiltott 15 cm-es lövegek gyártását.

Mivel a fegyverimport továbbra is korlátozott (és könnyen ellenőrizhető) volt, modern lövegek hazai gyártására törekedtek. Svéd és olasz liszenszket vásároltak, és továbbgyártották egyes első világháborús típusok modernizált változatait. 1939 októberében Diósgyőrben havi 21 közepes-és nehéztarack vagy 30 könnyűlöveg csövet voltak képesek előállítani. Ez a kapacitás olyannyira nem volt elégséges, hogy már 1940-re 50%-os emelését tervezték. A diósgyőri lövegüzem (MÁVAG-D) éves termelésének csúcsát 1943-ra érte el, 1260 db legyártott löveggel. Ugyanekkor az üzem 2160 db-osösszmegrendeléssel rendelkezett a HM részéről, aminek a teljesítése a jól megszervezett és széleskörű vállalatközi kooperációk ellenére is lehetetlen volt.

Megállapítottam, hogy a magyar hadiipar az erőltetett és valóban nagyarányú fejlesztések ellenére sem volt képes a második világháború alatt a Honvédtüzérséget megfelelő mennyiségű korszerű löveggel ellátni.

A második világháborút követő időszakban a Magyar Honvédség, majd a Magyar Néphadsereg tüzérségi eszközrendszere a világ élvonalába került. Nem a vitathatatlanul rendelkezésre álló szellemi kapacitás kihasználásával, hanem egyszerűen a szovjet fegyverzet átvételével jutottak erre a szintre. 1949-ben indult újra a löveggyártás Diósgyőrben szovjet típusok előállításával. A HM 1948-as átiratában évi 170 darabos termelést várt el, és előírta egy új üzem telepítését kifejezetten a löveggyártás céljára. A HM 1949-ben az üzemmel szembeni elvárását az 1951-52-es évekre nézve 898 (!) db-ra emelte. 1951-ben Diósgyőrben több típusból (ideértve a páncéltörő- és légvédelmi ágyúkat is) összesen 855 löveg készült el, 1952-ben 1219, 1953-ban 1287.

1953-tól elkezdődött a haderő mennyiségi visszafejlesztése. Rendkívül sok löveg került „Mozgósításra Zárolt” (MZ) készletbe. 1954-re a Nehézszerológépgyár (a diósgyőri lövegüzem neve 1952-től) kapacitásainak csak 43 %-át kötötte le a HM.

1956-tól megszűnt a hazai löveggyártás. A gyártás jóval kisebb volumenben, egyetlen típussal, az Sz-60 57 mm-es légvédelmi géppáúval indul újra 1959-től.

A Magyar Néphadsereg ellátottsága tüzérségi eszközökkel mind mennyiség, mind minőség tekintetében jó volt. Az élenjáró szovjet technika átvétele biztosította, hogy az eszközök világszínvonalúak legyenek. A szovjet döntéshozók a megfelelő darabszám elérésére nem haboztak nyugati technológiát vásárolni (pl.: osztrák csőgyártó gépsorok, lásd: 3. fejezet) és – ahogy azt a hazai példán láthattuk – hangsúlyt fektettek a löveggyártás elősegítésére Varsói Szerződés egyéb államaiban is. Így a hazai gyártás kiesése után volt lehetőség sorozatos vásárlásokkal kielégíteni a hazai igényeket.

A fejezetben bemutattam azt a folyamatos törekvést, ami a magyar tüzérség korszerű eszközökkel való ellátására irányult a teljes tárgyalt időszakban. Komoly elmaradást a világszínvonaltól az első világháború elején és a második világháború időszakában lehetett felismerni. Amíg azonban a háborúba lépő Osztrák-Magyar Monarchia rendszeresített löveganyaga egyértelműen korszerűtlen volt, addig a második világháborút közvetlenül megelőző időszakban rendszeresített lövegeink megfelelőek voltak, de nem állt belőlük rendelkezésre elégséges mennyiség.

Kijelenthető, hogy az első világháború kezdetének kivételével a műszaki-technikai fejlődés és a tüzérség eszközeinek fejlődése ugyanúgy haladt együtt hazánkban, ahogy a legfejlettebb államokban. A műszaki-technikai fejlődés hatása a kész, az ilyen befolyást tükröző fegyvergyártó technológiák, tüzérségi eszközök gyors átvételével valósult meg.

V. A MÚZEUMI GYŰJTEMÉNY SZEREPE

A TŰZÉRSÉGI ESZKÖZÖK FEJLŐDÉSÉNEK BEMUTATÁSÁBAN

Ahogy azt az előző fejezetekben – különös tekintettel a fejlődés fokmérőjéül választott lövegcsövekre – bemutattam, a magyar haderő tüzérségének eszközei általában megfeleltek az általános műszaki-technikai fejlődésnek, a korszakok követelményeinek. Ez alól az első világháború kezdete kivétel, de a hadiipar ekkor is gyorsan felzárkózott, ismét korszerű eszközöket adva a tüzérségnek. A második világháború alatt rendelkezésre álltak a korszerű típusok, bár a mennyiség nem volt elegendő. Így – bár a magyar tüzérség lövegekkel való ellátása nem mindig volt megfelelő – a magyar lövegpark fejlődésének bemutatása jól reflektál az európai lövegpark fejlődésére.

Ha tehát létrehozunk egy muzeális gyűjteményt a magyar tüzérség eszközeiből, az jól mutatja a lövegek fejlődését világszerte. Jelen dolgozat társadalmi hasznossága növelhető, ha nyomára létrejön egy ilyen, teljesnek mondható gyűjtemény. Ezzel jól illusztrálható a tüzér fegyvernem és a hadművészet fejlődése. A fegyverekben megtestesülő innováció, tudás és műszaki kultúra bemutatásával jobb, érdekesebb, hatékonyabb lesz a hazafias, honvédelmi nevelés is.

A tüzérség ilyen, eszközközpontú bemutatását megnehezíti, hogy nem áll rendelkezésre Magyarországon olyan szakirodalom, amely tendenciózusan, konkrét példákkal végigvinné az ágyú jó hét évszázados történetét úgy, hogy az egyes technológiai ugrásoknak megfeleltesse a lövegek szerkezetében, a lövegcsövek jellemzőiben beállt változásokat. Az előző fejezetekben törekedtem ennek a hiányosságnak a felszámolására, jelen fejezetben a fellelhető löveganyagot feleltetem meg a korábban leírtaknak.

Hazánkban a legtöbb muzeális tüzérségi eszköz a Hadtörténeti Múzeum gyűjteményeiben található. Kézenfekvő, hogy a vizsgálatok alapját ez az állomány képezze. Nehézséget jelent, hogy két gyűjtemény tartalmaz lövegeket, így sem átfogó adatbázisuk, sem egységes gyűjteményi politikájuk nincsen. A kettő közül a több műtárgyat befogadó Gépesített Haditechnikai Gyűjtemény mára túlduzzadt, a műtárgyak selejtezésének kérdése is felmerült.

A két gyűjtemény – akár virtuális – összevonásához, az állomány ésszerűsítéséhez és így egy valóban reprezentatív gyűjtemény összeállításához át kell tekinteni a lövegek történetét az első ágyúk megjelenésétől napjainkig. Fel kell állítani azt a szabályrendszert, aminek segítségével a gyűjteményben betöltött hasznosságuk szempontjából összevethetőek

lesznek a különböző korok lövegei. Az alkalmazott műszaki megoldásokat a kor technikai színvonalához mérve kell meghatározni egy-egy korszak kiemelkedő vagy jellemző eszközeit.

V.1. A gyűjtemények bemutatása

A Korai Lőfegyver Gyűjtemény az elöltöltő lőfegyvereket és azok tartozékait őrzi. Műtárgyainak túlnyomó része elöltöltő kézfegyver. A kezdetektől a hátultöltők 19. századi megjelenéséig gyűjt lövegcsöveket. A csövek elöltöltőek, kivéve a 16. századi sajkás ágyút, a hátultöltők egyik legkorábbi képviselőjét.

A Gépesített Haditechnikai Gyűjtemény őrzi a katonai járműveket és minden olyan haditechnikai eszközt, ami önjáró, vontatható vagy fogatolt. Mint ilyen, a múzeum legszerteágazóbb gyűjteménye. Külön nehézséget okoz, hogy műtárgyai az ország egész területén, haditechnikai parkokban, nemegyszer afféle emlékműként vannak kiállítva. A gyűjtemény a hátultöltő lövegek széles palettáját foglalja magába.

Amint látjuk, mindkét gyűjtemény tartalmaz a lövegeken kívül egyéb műtárgyakat is. A két kollekció közt a határ a lövegek szempontjából az elöltöltő-hátultöltő technológiaváltás.

V.2. A gyűjteményi szerkezet összevetése a 2. és a 3. fejezetben leírtakkal

Időrendben haladva az összevetést a Korai Lőfegyver Gyűjtemény elöltöltő lövegcsöveivel kezdem. Az összevetést 2. és fejezetben bemutatott alapvető lövegcső-típusok sorrávételével végzem. Az adott típushoz a gyűjtemény lövegcsöveit felsoroló táblázatból (4. sz. melléklet) az odaillő cső sorszámát rendelem.

A második alfejezetet a Gépesített Haditechnikai Gyűjtemény lövegei adják. Hasonlóan az előzőhöz, a 3. fejezetben bemutatott alapvető löveg- vagy lövegcső-típushoz rendelem hozzá az odaillő löveg vagy cső sorszámát a mellékelt táblázatból. (5. sz. melléklet)

V.2.1. A Korai Lőfegyver Gyűjtemény löveganyagának vizsgálata az elöltöltő ágyúk fejlődésének tükrében

„*Pot de fer*” vagy „*vassa*”: Nincs ilyen típusú ágyúnk. Ezekből a legkorábbi apró lövegekből rendkívül kevés maradt fenn, és nincs forrás arra nézve, hogy használtak volna ilyet Magyarországon.

Korai bronz mozsár: Ezt a lövegtípust használták Magyarországon, de hazánkban nem maradt fenn példány belőle, így gyűjteményünkben sem lelhető föl. Mivel mind későbbi bronz mozsár, mind a hasonló arányokkal rendelkező kortárs abroncsos ágyú rendelkezésre áll, ennek a típusnak a hiánya elfogadható.

Abroncsos ágyú: Az abroncsos-dongás szerkezettel kovácsolt lövegtípust használták Magyarországon, rendkívül értékes képviselője a gyűjteményben az 1. tétel. (4. melléklet)

Hosszú bronzágyú: Ahogy Európa- szerte, úgy hazánkban is öt évszázadon keresztül használták az ilyen lövegcsöveket. A gyűjtemény időben és térben is változatos és teljes metszetét adja a típusnak. Képviselői: 6, 11, 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40.

Kovácsolt vascsővek: Kisebb űrméreteknél még a 18. században is előfordult a puskacsőhöz hasonlóan készült kovácsolt cső. Képviselői a gyűjteményben: 3, 13.

Elöltöltő simafuratú öntöttvas lövegcsövek: Nyolc ilyen cső van a gyűjteményben, az egész korai, sikeresetlen szükségágyú-csőtől (2.) a precíz brit 56 fontos lövegig (37.). A listában: 2, 7, 8, 9, 10, 15, 16, 17, 37.

V.2.2. A Gépesített Haditechnikai Gyűjtemény löveganyagának vizsgálata a hátultöltő ágyúk fejlődésének tükrében

Öntöttvas hátultöltő ágyúk: A korai („átmeneti”) hátultöltők jellegzetes képviselői megtalálhatók a gyűjteményben, osztrák illetve német darabok állnak rendelkezésre. Szép és ismert a Lajta Monitor Múzeumhajó beépített fegyverzeteként látható két hátultöltő öntöttvas lövegrekonstrukció. A listában (5. melléklet) ilyen az 1, 2, 3. tétel.

Abroncsolt lövegek: A csőfaron gyűrűvel erősített („átmeneti”) hátultöltők osztrák-magyar képviselője az 1880 M 15 cm-es tarack, a 8. tétel.

Acélbronz hátultöltő lövegek: Az Osztrák-Magyar Monarchia jellegzetes terméke az 1875 M 9 cm-es Uchatius ágyú csöve, illetve az 1896-ban öntött 15 cm-es tarack csöve. A listában ezek a 6, 15. tételek.

Modern tábori ágyúk 1947-ig: A Honvédség szovjet fegyverekkel való átfegyverzéséig használt tábori ágyúk közt megtalálható az eredeti, első világháborús lövegek több reprezentánsa: 12, 18, 20, 23, 24, 25. Találunk itt modernizált első világháborús lövegeket: 26, 27, 33, illetve a második világháború modern lövegeit: 32, 35.

Modern tábori ágyúk 1948-tól: A Honvédség, majd a Magyar Néphadsereg a korszerű eszközöket, illetve ezek gyártási jogát vásárolta meg a Szovjetuniótól. Ilyenek a listában: 38-41, 42-43, 46-54, 61.

Modern tarackok 1947-ig: Az első világháború tarackjait képviseli a 16, 17. tétel, modernizált a 33. tétel, második világháborús a 30. és a 34. számú löveg.

Modern tarackok 1948-tól: A szovjet mintájú lövegek sorszámai: 37, 44-45, 55-60, 62-67, illetve a rendkívül korszerű önjáró lövegek: 68-70.

Modern mozsarak: ilyen eszközök 1947-ig voltak szolgálatban. A gyűjteményben két 1915M 12 cm-es mozsárcső található a 21-22. tételen. Nincs példány a jellegzetes első világháborús 30,5 vagy 42 cm-es nehézmozsarakból.

V.3. A gyűjteményi szerkezet értékelése

A Korai Lőfegyver Gyűjteményben található negyven elöltöltő ágyúcső rendkívül jól adja vissza a korai lövegek hazai fejlődését. Annak ellenére, hogy a legelső, vázaszerű ágyúknak és az utánuk nem sokkal megjelenő bronz mozsaraknak nincs reprezentánsa a gyűjteményben, a kollekció teljesnek mondható.

Ennek az az oka, hogy az első ágyúk közül az egyetlen megmaradt darab a Loskhult-ágyú, így ezt igazán ritka típusnak tekinthetjük, ráadásul, ahogy írtam, semmilyen bizonyíték nincs arra nézve, hogy ilyet valaha is használtak volna Magyarország területén. Egy ilyen eszköz vagy másolatának beszerzése kiegészítené a gyűjteményt, de annak teljessége szempontjából nem létfontosságú.

Más a helyzet a korai bronz mozsarakkal: ilyeneket mind a török, mind a magyar csapatok használtak legalábbis Mátyás király koráig. Ezekről a fegyverekről viszont jó képet nyerhet a látogató, ha megtekinti a kortárs kovácsoltvas abroncsos ágyút, és a gyűjtemény 18. századi (tehát késői, a hosszú bronzágyúkkal kortárs) bronz mozsarát. (25. tétel) Eszerint jól

indokolható volna egy ilyen löveg(másolat) a gyűjteményben, de az eszközök technológiai sorának bemutatása szempontjából nem elsődlegesen fontos.

Az említett abroncsos ágyú igazi ritkaság: óriási fegyvertény, hogy van ilyen darab a gyűjteményben. A hasonló lövegeket Magyarországon is elterjedten használták.

A hosszú bronzágyúk 25 gyűjteményi darabbal látszólag túlerepresentáltak a kollekcióban, ám ha tekintetbe vesszük azt a hosszú időszakot, amíg ilyeneket használtak, illetve a Magyarországon alkalmazott, sokszor külföldön öntött lövegek sokféleségét, azt kell mondanunk, számuk jól reprezentálja azt a szerepet, amelyet az ilyen fegyverek betöltöttek a magyar történelemben, sokféleségük pedig azt a szerteágazó forrásokból származó löveganyagot, amit hazánkban alkalmaztak, azaz a nagy szám indokolt.

A puskaszerű technológiával kovácsolt kisebb űrméretű vaságyúk viszonylag gyakoriak voltak, ám anyaguk miatt kevés képviselőjük maradt fenn. A gyűjteményben őrzött két darab egyike egy sajós ágyú, amely a legkorábbi hátultöltők egyike, a másik viszont valószínűleg egy óriás szakállas puska csövére hasonlít.

A sajós ágyú létrehozását az indukálta, hogy a viszonylag kis méretű folyami naszádokon a löveg előlről való megtöltését nem tudták megoldani. Így innováció (a hátultöltés megoldása) útján a megfogalmazott követelményrendszer hatására minőségi fejlődést értek el az ilyen lövegek bevezetésével.

52. táblázat: Hátultöltő, „sajós” ágyú bevezetésének vizsgálata

		Az elért eredmény	
		Mennyiségi növekedés	Minőségi fejlődés
Az alkalmazott technológia	Adaptáció	0	0
	Új fejlesztés	0	+

A szakállas pusokák mintájára kovácsolt cső egyszerűen előállítható, de durva, a hasonló űrméretű bronzágyúkkal összehasonlítva kezdetleges kialakítású, pontatlanabb eszköz. Nyilvánvalóan a kornak inkább megfelelő lövegek pótlására állítottak elő ilyeneket, tehát a használatba vehető lövegek számát emelték a rendelkezésre álló eszközök, szaktudás felhasználásával.

37. táblázat: Szakállas ágyú bevezetésének vizsgálata

		Az elért eredmény	
		Mennyiségi növekedés	Minőségi fejlődés
Az alkalmazott technológia	Adaptáció	+	0
	Új fejlesztés	0	0

A két jelentősen eltérő darab bemutatja a korabeli csúcstechnikát és az akkor elérhető legolcsóbb löveget, tehát mindkettő jelenléte indokolt a gyűjteményben.

Az öntöttvas ágyúk mind korukban, mind az öntésük helyében nagy változatosságot mutatnak. Jól reprezentálják az ilyen lövegek fejlődését és történeti súlyát Magyarországon. Számuk alatta marad a hasonló bronz ágyúk számának: ez jogos, hiszen ahogy azt Domonkos György kimutatta, az ilyen lövegek Magyarországon kevésbé terjedtek el, mint Nyugat-Európában. Számuk elégséges a megfelelő bemutatáshoz.

A fentiek alapján kijelenthetjük, hogy a Korai Lőfegyver Gyűjteményben található elöltöltő lövegcsövek sora teljes, jól bemutatja a fegyver fejlődését, sem selejtezésre, sem pótlásra nem szorul.

Az 1914 előtti időszak lövegcsöveiből a sor szinte teljes: a korai öntöttvas hátultöltők, az acélbronz ágyúk, az abroncsolt lövegek képviselői jól adják vissza a „boldog békeidők” lövegparkját. Itt sem apasztás, sem bővítés nem indokolt.

Az általam már modern lövegeknek minősített eszközök acélcsővel rendelkeztek, emellett gyorsan kezelhető lövegzárral, lövegpajzzsal és csőhátrasiklást fékező-helyretoló berendezéssel.

A gyűjtemény jó keresztmetszetét adja az első világháború kis és közepes űrméretű lövegeinek, de a nehéztüzérséget adó 1911 M 30,5 cm-es, 1916 M 30,5 cm-es, vagy 1911 M 42 cm-es mozsarak nem találhatók meg benne. Ezeknek a lövegeknek a képe a korszakban számos plakáton, emléktárgyon, kisplasztikán megjelent, tehát már akkor is jellemzőnek, emblematikusnak tekintették. Ezért különösen fájó, hogy nincs ilyen a gyűjteményben, ezt valamilyen módon (akár másolat elkészítésével) pótolni kell.

A kollekcióban megtalálhatók a modernizált első világháborús lövegek, amelyek még a második háborúban is komoly szerephez jutottak, végül láthatjuk a kifejezetten a második világháborúra való készülődés jegyében gyártott, akkor modernnek számító lövegeket is. Ezek száma, típusbeli sokfélesége elegendő.

A hátultöltő ágyúk közül látható túlsúlyban vannak az 1948-ban és az után rendszeresített szovjet típusú lövegek. Ezek teljes sorát adják a háború utáni tábori

tüzérségnek, azt mondhatjuk, néhány típus, a 46-54, 55-60, 62-67. tételen szereplő 85 mm-es D-44 hadosztályágyú, 1938/1968M 122 mm-es tarack és a máig használt 152 mm-es D-20 ágyútarack kissé túlreprezentált. Kétségtelen azonban, hogy ezek voltak a háború utáni magyar haderő legnagyobb számban alkalmazott lövegei. Figyelembe véve az ilyen eszközök tárolásának nehézségeit is, számuk csökkentése nem befolyásolná károsan a gyűjtemény történeti értékét.

Összegzésképp megállapítom, hogy a Hadtörténeti Múzeum löveg- illetve lövegcső-gyűjteménye igen jól reprezentálja a hazai használatú lövegek fejlődését.

Amennyiben kihelyezésük külső kiállítóhelyekre, haditechnikai parkokba nem megoldható, indokolt lehet a D-44-es hadosztályágyúk illetve a D-20 ágyútarackok számának csökkentése.

Az első világháborús óriásmozsarak egy képviselőjének, egy 30,5 cm-es vagy egy 40 cm-es mozsárnak vagy másolatának a beszerzése volna szükséges ahhoz, hogy a gyűjtemény az eszközök bemutatása és így a teljes történeti–technológiai sor megjelenítése szempontjából teljes legyen.

KÖVETKEZTETÉSEK

A tüzérség eszközközpontú bemutatását megnehezíti, hogy nem áll rendelkezésre Magyarországon olyan szakirodalom, amely tendenciózusan, konkrét példákkal végigvinné az ágyú történetét úgy, hogy az egyes technológiai ugrásoknak megfeleltesse a lövegek, lövegcsövek jellemzőiben beállt változásokat. Az előző fejezetekben törekedtem ennek a hiányosságnak a felszámolására, míg ebben a fejezetben a fellelhető löveganyagot feleltettem meg a korábban leírtaknak. A dolgozat társadalmi hasznossága növelhető, ha nyomára létrejön egy ilyen, a műszaki-technikai fejlődésnek megfeleltetett, teljesnek mondható gyűjtemény. Ezzel jól bemutatatható a tüzér fegyvernem és a hadművészet fejlődése. A fegyverekben megtestesülő innováció, tudás és műszaki kultúra bemutatásával jobb, érdekesebb, hatékonyabb lehet a hazafias, honvédelmi nevelés is.

Hazánkban a legtöbb muzeális tüzérségi eszköz a Hadtörténeti Múzeum gyűjteményeiben található. Kézenfekvő, hogy a fenti vizsgálatok alapját ez az állomány képezze. Nehézséget jelent, hogy két gyűjtemény tartalmaz lövegeket, így sem átfogó adatbázisuk, sem egységes gyűjteményi politikájuk nincsen. A kettő közül a számosabb, sokféle haditechnikai eszközt tartalmazó Gépesített Haditechnikai Gyűjtemény mára túlduzzadt, a műtárgyak (de elsősorban nem a lövegek) selejtezése elengedhetlenné vált.

Az ötödik fejezetben megvizsgáltam a HM HIM Hadtörténeti Múzeum gyűjteményeiben fellelhető löveganyagot. Az első fejezetben leírt módszer segítségével összevetettem a fellelhető darabok sokféleségét és számosságát a 2. és 3. fejezetben leírt, térségünkben használt, elterjedt eszközökkel. Felhasználtam azt a 4. fejezetben megalapozott, jelen fejezet elején bővebben kifejtett megállapítást, hogy a magyar lövegpark fejlődésének bemutatása jól reflektál az európai lövegpark fejlődésére. A gyűjtemény teljességének vizsgálata tehát annak az igazolását szolgálja, hogy az megfelelően bemutatja-e az tüzérségi eszközök, lövegek, lövegcsövek fejlődését általában, az egész fejlett iparral rendelkező világra, illetve specifikusan, hazánkra vonatkoztatva.

A Korai Lőfegyver Gyűjteményben található negyven elöltöltő ágyúcső rendkívül jól adja vissza a korai lövegek hazai fejlődését. Annak ellenére, hogy a legelső, vázaszerű ágyúknak és az utánuk nem sokkal megjelenő bronz mozsaraknak nincs reprezentánsa a gyűjteményben, a kollekció teljesnek mondható. Ezt az állítást arra alapozom, hogy az első kisméretű lövegeknek mindössze egyetlen fennmaradt reprezentánsa ismert, és nincs arra adat, hogy ilyet valaha használtak volna magyar területen. Mind a korai bronz mozsarak kortársa, egy abroncsos ágyú, mind egy későbbi elöltöltő mozsár megtalálható a

gyűjteményben, így a látogató jó képet nyerhet az első bronzból öntött, kőgolyót vető mozsarakról. Óriási eredmény, hogy rendelkezésre áll a fentebb említett XV. századi abroncsos löveg. Mind az előtöltő bronz- mind pedig az öntöttvas lövegcsövek kellő számban és sokféleségben jelennek meg a gyűjteményben.

A Gépesített Haditechnikai Gyűjteményben található hátultöltő ágyúk között az 1914 előtti időszak lövegcsöveiből a sor szinte teljes: a korai öntöttvas hátultöltők, az acélbronz ágyúk, az abroncsolt lövegek képviselői jól adják vissza a „boldog békeidők” lövegparkját.

A gyűjtemény jó keresztmetszetét adja az első világháború kis és közepes űrméretű lövegeinek, de a nehéztüzérséget adó 30,5 cm-es vagy 42 cm-es mozsarak nem találhatók meg benne.

A kollekcióban megtalálhatók a modernizált első világháborús lövegek, amelyek még a második háborúban is komoly szerephez jutottak, végül láthatjuk a kifejezetten a második világháborúra való készülődés jegyében gyártott, akkor modernnek számító lövegeket is.

Látható túlsúlyban vannak az 1948-ban és azután rendszeresített szovjet típusú lövegek. Ezek teljes sorát adják a háború utáni tábori tüzérségnek, azt mondhatjuk, néhány típus, a 85 mm-es D-44 hadosztályágyú, 1938/1968M 122 mm-es tarack és a máig használt 152 mm-es D-20 ágyútarack kissé túlreprezentált, ezek selejtezése vagy cseréje indokolt lehet. Kétségtelen azonban, hogy ezek voltak a háború utáni magyar haderő legnagyobb számban alkalmazott lövegei.

Úgy találtam, hogy a magyar tüzérség mindenkori eszközparkja igen jól reprezentált ezekben a gyűjteményekben. Mindössze az első világháborúban alkalmazott óriás mozsarak legalább egy képviselője hiányzik az adott korszak tüzérségének eszközközpontú bemutatásához.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

A történelem folyamán a tüzérség fejlődésének lehetőségeit alapvetően a lövegek jellemzőinek változása határozta meg. Ezeknek az eszközöknek a fejlődése nem egy magában álló folyamat, hanem az általános tudományos, műszaki és technikai haladás része. A tüzérség eszközparkja, annak műszaki fejlettsége tükrözi az azt létrehozó társadalom műszaki-technikai fejlettségét. Mégis, rendre feltűnnek olyan történelmi példák, amikor ez a látszólagos evidencia nem valósul meg. Munkám célja ilyen esetek vizsgálata, feltárása.

Nem lehet egy doktori értekezés keretein belül a magyar tüzérség egész eszközkészletét vizsgálni annak teljes történelme alatt. A hagyományos, csöves lövegek a legkorábban megjelent és máig a leggyakoribb, legjellemzőbb típusát alkotják a tüzérség eszközeinek. Az ilyen fegyverek osztályozása, kategóriába sorolása a lövegcső tulajdonságai – méretei, arányai – alapján történik. Ez a központi elem, ami a legkorábbi lövegeken is felismerhető, a magyar tüzérség teljes történetének időszaka alatt tanulmányozható, és tulajdonságai jól reflektálnak a tüzérségi eszközrendszer fejlettségére, az abban rejlő potenciálra. A csöves lövegekben és különösen a lövegcsövekben megtestesülő műszaki színvonal változása jól összevethető az általános műszaki-technikai fejlődéssel.

A tüzérség eszközeinek fejlődésére ható két legfontosabb tényező az általános műszaki-technikai fejlődés és a fegyvernemmel szemben támasztott követelményrendszer. Ezek nem függetlenek egymástól, és egyszerre hatnak, ezért a továbbiakban azokat az eseteket tekintem inkább (de nem feltétlenül) a műszaki-technikai fejlődés hatásának, ahol kimutatható egy technológia, műszaki megoldás átvétele a lövegek, lövegcsövek gyártásának céljára. A hadiiparban újként alkalmazott gyártástechnológia kidolgozása történhet így, a máshol már meglévő műszaki megoldások, gyártási eljárások hadiipari célra történő átalakításával (adaptáció) vagy teljesen új eljárások kifejlesztésével.

A fentiek szerint kidolgozott eljárások hatása lehet mennyiségi, azaz a termelékenységet növelő, vagy lehet minőségi, azaz az előállított eszköz egy vagy több előnyös tulajdonságát erősítő.

A haditechnika történetének tárgyalásában, de az általános műszaki muzeológia esetében is komoly problémát jelent egy adott eszköz vagy eszközrendszer alkalmasságát, az adott korhoz, környezethez viszonyított korszerűségét megítélni. Megalkottam egy vizsgálómátrixot, (2. táblázat) amelyben a fejlődést leginkább jellemző paramétereket feltüntetve egyszerűen áttekinthető, hogy annak alapja adaptáció vagy új fejlesztés, illetve eredménye minőségi fejlődés vagy mennyiségi növekedés. A vizsgálómátrix a megfelelő

paraméterek használatával alkalmas lehet arra, hogy egy eszköz vagy eszközrendszer fejlettségét megadja saját kora általános műszaki-technikai fejlettségéhez képest.

A lövegek történetének kezdetén nem lehetett határvonalat húzni a békés célú és a hadiipar között.

Az első ágyúkat valószínűleg harangöntő mesterek készítették. Mind a legelső, kis űrméretű, váza formájú lövegeknél, mind a későbbi, egyre nagyobb űrméretű mozsárszerű arányokkal rendelkező eszközöknél sikeres volt a harangöntő módszer. A 14. század közepén – elsősorban a költségek kímélésére – kifejlesztettek egy új technológiát, melynek segítségével kovácsoltvasból, a hordóhoz hasonló dongás-abroncsos szerkezettel készítettek mozsarakat, néha kifejezetten nagy méretben is. Mind az ilyen vaságyúk, mind mívesebb, bronzból öntött párjaik kőgolyókat hajítottak. A kovácsolt vaságyúk bevezetése növekedést hozott az ágyúk számában, egy új, máshol még nem alkalmazott technológia segítségével.

Magyarországra a tüzéség eszközei két irányból, Délről és Nyugatról áramlottak be. A kezdetekben – a 15. század elejéig – a déli, itáliai hatás volt az erősebb. Az ágyúgyártás nagyon korán, már 1360-as évektől megindult Dalmáciában, valószínűleg velencei előképek nyomán. A német hatást erősítette, hogy országunkban gyakran német tűzmestereket alkalmaztak. Magyarországon Zsigmond uralkodása alatt, a 14-15. század fordulóján terjedt el az ágyúk használata. A kor szokása szerint a városok is tartottak ágyúkat, ágyúmestereket, de a korabeli utazó kifejezetten jól felszerelt várakat is említ. Az uralkodó levelezése arra utal, a nem a várakban elhelyezett királyi lövegeket Budán tartották, azokat szükség esetén – lehetőleg vízi úton – szállították a felhasználás helyére. A leírások alapján a tüzéségi eszközpark minőségét és mennyiségét tekintve is európai színvonalú volt.

Az egyre fejlődő öntéstechnológiának köszönhetően a 15. század végétől inkább csak a kisebb méretű ágyúkat (pl. a folyami hajókon alkalmazott „sajkás” ágyúkat) és a kézfegyverek csöveit készítették kovácsoltvasból. Az ágyúk egyre jobban megnyúltak, a nagy űrméretű, kőgolyót tüzelő lövegek helyét részben átvették a hosszabb csövű, kisebb űrméretű, tehát könnyebben mozgatható, ugyanakkor pontosabb, többnyire bronzból öntött ágyúk.

A régi rövid csövű ágyúkat, ahogy a harangokat, torkolattal lefelé öntötték. Ez addig sikeres volt, amíg az ágyúk rövidek, mozsárszerűek voltak. A lövegcsővek megnyúlása azonban a furatot kiadó mag rögzítését egyre nehezebbé tette. A filigránabb cső hűlési folyamatai kevésbé voltak kézben tarthatóak, és a megjelenő öntési hibák éppen a csőfarban sűrűsödtek. Ezt a problémát egy, a minőség javulását hozó innováció segítségével oldották

meg. A 15. század közepén bevezetett új eljárás szerint a lövegcsövet álló helyzetben, torkolattal felfelé készítették, hogy a folyékony fém nyomása a leginkább igénybe vett csőfárból szorítsa ki a szennyeződések és a légzárványokat. Ebben az állásban a magot is „belógatták” azaz függesztve tudták a formába helyezni, az alsó, csőfari részen oldalirányban megtámasztva elmozdulás ellen.

A csövet tehát már eleve üregesre öntötték, a furatát öntés után vízszintes helyzetben, egy egyszerű csigas fúróval simították. A technológia formázó- és mintázó anyagaiban, mesterfogásaiban még mindig nagyban hasonlított a harangok öntéséhez.

A bronz lövegcsőre mint öntvényre tekintve két nyitott kérdés merül föl: az anyagösszetételre vonatkozó korabeli leírások eltérnek, tehát nem ismert a pontos ötvözet. Ami még ennél is szembetűnőbb, hogy az öntvény kitáplálása (a hűlés közbeni zsugorodás pótlása) legalábbis kétséges. A vékonyabb torkolati rész vélhetően korábban dermed meg, mint az alul levő, testesebb rész, tehát elzárja a felülről érkező, folyékony fém útját, azaz az alul lévő, vastag, erősen zsugorodó csőfari rész alakhibás vagy porózus lesz.

Az alapanyagot két, 18. századi ágyún végzett vizsgálatom alapján 7,7-9% ónt és 0,4-0,8% ólmot (itt szennyező) tartalmazó ónbronzként határoztam meg. Ez az összetétel megfelel a Dollaczek [32] által a 19. század második felében megadott 10:1 (~9%) réz-ón aránynak, ami nem meglepő, mert a két vizsgált 24 fontos ágyú az Osztrák Császárság területén, Bécsben illetve Budán készült. Az ötvözési arányok ettől kismértékben eltérhettek a földrajzi hely és a kor függvényében. Riderer [43] 10% körüli értéket ad meg jellemzően nyugat-európai, az általam vizsgáltaknál korábban öntött ágyúk elemzése után. Tekintve, hogy az ón mindig rendkívül drága volt, úgy gondolom, a Riderer által megadott érték a kohászati eljárások finomodásával egyre inkább a felső határává vált az ötvözet öntartalmának.

A lövegcső dermedésére nézve 2008-ban végeztem kísérletet a leghosszabb ideig használt technológiát, az agyagformába való öntést véve alapul. Mivel égetett agyagformába bronzot napjainkban csak harangkészítők öntenek, az ő mesterségük pedig nagyban a hagyományokra és csak kevésbé az elméleti számításokra épül, a szakirodalomban nem lehet adatokat találni ilyen öntvények dermedési számításaihoz. A továbblépés érdekében kísérletre volt szükség a dermedési állandó meghatározására. A kapott adatokból számolva a 24 fontos osztrák típusú ágyú közel öt óra alatt (4 óra 51 perc) szilárdult meg. Jelen dolgozatom érdekében a számítást elvégeztem homok öntőformára is, ami 2 óra 54 perces eredményt hozott, megerősítve az első fejezetben szakirodalmi források alapján tett kijelentést azzal, hogy az új eljárás nemcsak a gyorsabb formakészítés, de a gyorsabb megszilárdulás miatt is termelékenyebb volt.

A kapott adatok alapján kiszámítottam, hogy az agyagformába öntött bronz ágyúcső irányított dermedése nem valósulhat meg, az öntvény kitáplálása elégtelen. Bár ilyet sehol nem írtak le, feltételeztem, hogy az öntőforma felső, torkolati részét előmelegítették.

Számítással igazoltam, hogy 310°C-os előmelegítés már biztonsággal elég a megfelelő minőségű öntvény létrehozására. Ezzel rekonstruáltam egy eddig le nem írt technológiai lépést.

Mátyás király alatt még megvoltak az előző kor kőgolyókat vető óriáságyúi, de a modernizálódó hadviselés egyre inkább a fenti technológiával készült hosszabb csövű, vasgolyót vető, messzebbre tüzelő lövegeket részesítette előnyben. A lövegek fejlődése még mindig kettős hatás alatt állt. Mátyásnak egyaránt voltak német és olasz stílusú ágyúi, és „rendszerben tartotta” az örökölt vagy zsákmányolt lövegeket is. Ezen kívül – ahogy azt apja, János is tette – gondosan és egyáltalán nem önzetlenül számon tartotta a városok lövegparkját. Ez volt az a kor, amikor a jelentős városok saját ágyúkat öntettek, nemegyszer a saját városi ágyúöntő műhelyben. Az ágyú ebben az esetben nem csak az önvédelem eszköze, de a város gazdagságának, hatalmának jelképe is volt.

Mátyásnak nagy hadserege és komoly tüzérsége volt. 1468-ban Csehország ellen 50 nehéz ágyút vitt, 1479-ben a törökök ellen olyan tüzérségi összpontosítást hajtott végre, amellyel elnyerte Európa figyelmét. 148 ágyúja és 24 seregbontója volt 80 tűzmesterrel és a szükséges legénységgel. Naszádjai is komoly fegyverzettel rendelkeztek, a 364 hajón 1354 ágyú volt. Bátran kijelenthetjük, hogy a tüzérségi eszközök tekintetében kifejezetten erős volt, mind a török, mind a nyugati hadseregekkel összehasonlítva megállta a helyét.

A bronz mint csőanyag kiválóan alkalmas volt az elöltöltő ágyúk alapanyagául, egyetlen, fontos jellemzőjét, az árát kivéve. Az olcsó öntöttvas ágyúk gyártását kidolgozó William Hogge brit olvasztár, valamint németalföldi és svéd követői által 1543-tól elért eredmények tették lehetővé az egységes, nagy darabszámú haditengerészeti ágyúpark megteremtésére irányuló törekvések megvalósulását. Az ő sikereik nyomán a 17. századra a szárazföldi hadviselésben is elterjedtek az elöltöltő öntöttvas lövegek.

A mohácsi csatát, illetve a Buda elvesztését követő években egy összefüggő védelmi vonal alakult ki Magyarország területén az oszmán haderő feltartóztatására. A magyar végvárok – nem utolsósorban az Ausztriából érkező utánpótlás hatására – az ágyúk német osztályozási rendszerét alkalmazták. Elmaradtak ugyan tüzérségi felszereltségük tekintetében a fejlett nyugat-európai erődítményektől, nemegyszer igen koros lövegeket is használatban tartottak, de erejük általában elégségesnek bizonyult az oszmán előretörés megállítására. A

védelmet a kézi tűzfegyverek és a lövegek alkotta tűzrendszerre alapozták, ami az ostromok visszaverését még nagy túlerő esetén is lehetővé tette.

Az osztrák Örökös Tartományokat védő várak – Kanizsa, Győr, Komárom – a kor legjobb fegyverzetét kapták. Az ilyen várak feltöltését, ellátását az Örökös Tartományok vagy egyenesen a Német-Római Birodalom biztosította. Léteztek azonban magyar kézben lévő ágyúöntő műhelyek is. Ilyen volt Besztercebánya, Eperjes, Sárospatak és Gyulafehérvár. Ezeken kívül öntöttek lövegeket Kassán, Trencsénben, Galgócon, Vágbesztercén, Pozsonyban, Váradon és Zólyomban is. Ezután nem meglepő, hogy az öntető neve (őt mindig feltüntették a csövön) a szakirodalomban megtalálható, vizsgált 492 esetből 275 magyar, 199 császári és 11 német birodalmi. Az öntőmesterek – akár osztrák, német vagy magyar öntetőről van szó – minden esetben németek voltak.

A végvári harcok erősségeit tehát jelentős magyar áldozatvállalással látták el lövegekkel. Az újonnan biztosított tüzérségi eszközök – köszönhetően a német öntőmestereknek – a kor színvonalán álltak. Az egyszerűbb önthetőség, mozgathatóság miatt azonban elsősorban a tábori lövegeket alkalmazták a várakban is, a nagyobb űrméretű ritkábbak voltak. Gyakori volt, hogy ugyanaz a (német) megnevezés Magyarországon kisebb űrméretű ágyút jelölt. A felszerelés általános színvonala így kissé elmaradt a legfejlettebb lehetőségektől, ennek oka pedig a végvárakra fordítható anyagi források korlátossága volt.

Az Angliában kibontakozó ipari forradalom hozta az öntöttvas egyre magabiztosabb alkalmazását. Az acélgyártó eljárások tökéletesedése elősegítette a magas karbontartalmú (csapolható, önthető) nyersvasat adó magaskohók elterjedését. Az alacsony karbontartalmú, kovácsolható, szilárd vasbucát (acélt) egy lépésben előállító bucakemencék lassan kiszorultak a használatból. Egyre terjedt a kokszt használata. Hengerművek épültek, nőtt a félkésztermékek mennyisége, azonban a Henry Cort által 1784-ben szabadalmaztatott kavarási acélgyártás még mindig szilárd terméket adott, azaz a kavarási kemence nem volt csapolható. Az eljárás végtermékeként kapott acélbugákat még egybe kellett hengerelni, kovácsolni. Az így kapott félkésztermék a forrasztott acél vagy kavartacél. Ezt újra kellett olvasztani ahhoz, hogy acélöntvény készülhessen belőle. Az ilyen, újraolvasztott, nemritkán újraöntvözött termék neve – utalva előállítására jellegzetes eszközére – a tégelyacél. Ez az eljárás nem volt elég termelékeny ahhoz, hogy acél ágyúcső előgyártmányául szolgáló öntvényt készíthessenek a segítségével.

Az acélöntéssel ellentétben az ágyúcső fúrásának tekintetében óriási eredményeket értek el a 17-18. század folyamán. A hagyományos eljárás szerint az ágyúcsőveket üregesre öntötték, és egy egyszerű berendezéssel, vízszintes helyzetben „fúrták fel”, valójában

simították a furatot. A 17. század végére már általánosan alkalmazták a nagyobb teljesítményű, függőleges elrendezésű fúrógépeket. Itt az ágyúcső a saját súlyánál fogva ereszkedett a forgó fúrófejre.

Óriási fejlődést jelentett a svájci Jean Maritz által Franciaországban, az 1710-es évek elején bevezetett vízszintes elrendezésű fúrógép. Itt már az ágyúcső forgott, így a módszerrel a furat helyzethibája (amikor a furat hossz tengelye és a csőköpeny hossz tengelye nem vág egybe) kiküszöbölhető volt. A vízszintes helyzettel munkadarab cseréje is egyszerűbbé vált. A valódi áttörést az jelentette, hogy a gép teljesítménye jóval nagyobb volt, mint elődjéé, és ez lehetővé tette, hogy az üreg nélkül öntött, tömör lövegcsőbe készítsék el a furatot. Az öntvény alakja ezáltal egyszerűbb lett, feleslegessé vált a furatot kiadó mag alkalmazása.

Jan Verbruggen holland mester vezette be Maritz eljárását brit földön, a woolwich-i Royal Brass Foundry-ban, (Királyi Rézöntöde) ahol a bronzágyúkat öntötték. 1774-ben John Wilkinson előállt egy jelentősen továbbfejlesztett gép szabadalmával: egy hasonló horizontális berendezéssel, ami azonban már alkalmas volt a bronznál jóval keményebb öntöttvas lövegek felfúrására is.

Módszere olyan sikeres lett, és annyiban megnövelte a pontosságot, hogy az 1770-es évek végétől a fegyverek átvételét a brit állam részéről végző Board of Ordnance csak tömör öntvényből felfúrt öntöttvas lövegeket fogadott el.

Ezt az eljárást azonban nem csak ágyúfúrásra, hanem gőzgépek hengereinek felfúrására is lehetett alkalmazni. Wilkinson hamar új megrendelőre talált: módszere megadta azt a méretpontosságot, amely lehetővé tette a Watt-féle kisnyomású gőzgépek öntöttvas hengereinek sorozatgyártását, az új, hatékonyabb gőzgépek elterjedését. Itt bemutatam egy szép példáját annak, amikor egy hadiipari célokra kifejlesztett technológia a békés célú ipart is átformálja, előrelendíti.

Ausztria tüzéségét az örökösödési háború (1740-48) után Joseph Wenzel, Lichtenstein hercege alakította újjá. A herceg meghatározta a járatos űrméreteket, szakértői egyszerűsítették a lövegcső alakját, a csőfurat és a lövedék közti méretkülönbséget pedig csökkentették. Nagymértékben modernizálták, egyszerűsítették és egységesítették az ágyútalpakat, lövegmozdonyokat, löszeres kocsikat és a löveg kiszolgálásának szerszámain. Ez a valóban előremutató, jól használható fegyverrendszer 1859-ig szolgálta az Osztrák Császárság tüzéreit.

Ausztria a hétéves háború alatt és után nagy súlyt fektetett tüzéségének modernizálására és a hazai gyártás megszervezésére. Erre képes is volt, hozzá kell azonban tenni, hogy soha sem tett kísérletet egy tengeri flotta rengeteg löveget kívánó felszerelésére.

Bronz lövegeket gyártottak Meceln-ben (ma Belgium) Bécsben, Grácban, Prágában, Pesten és Brassóban, többségüket a két első városban. Vasból Mariazell-ben és Resicán öntöttek. Az osztrák, a legjobb Napóleon-ellenes tüzérségként a poroszokat a lövegek számával, az oroszokat a mozgékony egységek nagyobb arányával múlta felül. A császári tüzérség tehát a 18. század közepétől a 19. század közepéig elegendő mennyiségű és kifejezetten jó minőségű löveganyaggal gazdálkodhatott, megállta a helyét a porosz vagy orosz riválissal szemben.

1848-ban éppen ezzel a hatékony és jól felszerelt tüzérséggel kellett szembenézniük a magyar forradalmi csapatoknak. Novemberben a körülzárt Háromszék reménytelennek látszó helyzetbe került: tüzérség hiányában az ellenállás megszervezése legalábbis nehéznek, ha nem egyenesen reménytelennek tűnt. A november 16-i sepsiszentgyörgyi népgyűlésen azonban felszólalt Gábor Áron, és ágyúkat ígért. Szavát megtartotta: Bodvajon megszervezte az első ágyúk öntését, majd oroszlánrészt vállalt Turóczi Mózes Kézdivásárhelyi rézüöntő műhelyének ágyúgyárrá fejlesztésében. Gábor Áron zsenije abban állt, hogy felismerte, a lövegek előállításához nem Európa, vagy akárcsak Magyarország műszaki-technikai lehetőségeit kell figyelembe venni, hanem a körülzárt Háromszékét. Ezzel a felismeréssel visszanyúlt egy ősből, egyszerűbb ágyúöntő módszerhez, amit a helyi körülményekhez illesztett.

Háromszéken (illetve a szomszédos, udvarhelyszéki Bodvajban) 1848. novembere és 1849. júniusa között összesen több mint hetven ágyút öntöttek. A Kézdivásárhelyen 1849-ben elkészült lövegek a harctéri követelményeknek is megfelelő, a csatatéren alkalmazható fegyverek voltak. A lövegek száma összemérhető a térségben jelenlévő szembenálló csapatok erejével: az egyesült osztrák–orosz haderő 1849. júniusában 120 ágyú fölött rendelkezett. Az, hogy magyar részről elegendő, és megfelelő minőségű löveget voltak képesek legyártani, óriási eredmény volt, mert az ágyúgyárat a semmiből teremtték.

A 19. század második felére nyilvánvalóvá vált, hogy az addigi csőanyagok (bronz, öntöttvas) alkalmazása mellett a lövegek teljesítményét már nem lehet tovább növelni. Acélból – a sokáig egyeduralkodó Krupp Művek kivételével – nem voltak képesek olyan nagyméretű, jó minőségű öntvény előállítására, ami a csőkovácsolás előterméke lehetett volna.

Ezzel szembesült Henry Bessemer, aki a krími háborútól inspirálva kidolgozott egy újfajta lövedéket, amelyet azonban az általánosan alkalmazott öntöttvas lövegekből nem lehetett a cső károsodása nélkül kilőni. Bessemer úgy gondolta, az acél akkor lehetne a lövegcsövek ideális alapanyaga, ha növelhetnék az acélgyártás termelékenységét. Az addig alkalmazott kavarási eljárásnál az acélt adó reakció felülete kicsi volt, az csak az olvadék felszínén játszódhatott le. A feltaláló rádöbbsent, hogy úgy tudja megnövelni ezt a felületet, ha

levegőt fúvat az olvadék alá. Erre a célra egy speciális dönthető, fúvatható, tűzálló téglákkal bélelt üstöt – konvertert – dolgozott ki. A módszer rendkívül sikeresnek bizonyult, a reakció rendkívül gyorsan, körülbelül 20 perc alatt lejáródott. Mivel a folyamat hőt termelt, az acél folyékony formában volt kinyerhető belőle, ezért az ilyen ötvözet a folytacél. Az új eljárás – a szélfrissítés – nagyban növelte az acélgyártás termelékenységét, ezzel csökkentette az árakat. A tonnánkénti acélárak Nagy-Britanniában és Amerikában ötödrészükre estek, az előállított mennyiségek hihetetlenül megnöttek, azaz a civil ipar is jelentősen profitált az újdonságból. Bessemer az eredeti cél tekintetében is sikert könyvelhetett el: az 1862-es Világkiállításon bemutatta folytacél ágyúcsövét. Ezzel ismét egy olyan sikeres, hadiipari célra kifejlesztett eljárást ismertettem, ami a békés célú ipart is forradalmasította.

A fentiek ellenére a Bessemer-eljárást még nem tartották megbízható, a különleges kívánalmaknak megfelelő acélok előállítására alkalmas módszernek. Ennek az volt az oka, hogy a nagy reakciósebesség miatt az acélban maradó oxigén egyes esetekben ridegtörékenységet okozott. Azt lehet mondani, hogy a kavarási eljárás és a szélfrissítés párhuzamos alkalmazása tudta az ipart az összes szükséges acélfélével ellátni. Az 1864-ben szabadalmaztatott, szintén folytacélt adó Siemens-Martin eljárás bizonyult végül teljesen megfelelőnek, alkalmasnak arra, hogy mindkét acélgyártó eljárást kiváltsa.

A Siemens-Martin eljárás a Carl Wilhelm Siemens által szabadalmaztatott gáztüzelésű rendszeren alapult. Pierre-Émile Martin dolgozta ki azt a kemencefalazatot és azt a salakvezetési metódust, (azaz a folyékony fémekben végbemenő változások kontrollját a felszínét borító salak tulajdonságainak megváltoztatásával) amivel lágyvastól a magas karbontartalmú szénacélig bármilyen termék előállítható volt, sőt, gyengén ötvözött acélok is. A Siemens-Martin eljárás száz évig uralta az acélgyártást, csak napjainkra szorították ki az oxigénes konverteres eljárások.

A Siemens-féle tüzelési eljárás forradalmasította az addig kevésbé termelékeny tégelyacélgyártást is. A hatékonyabb fűtéssel a beolvasztható mennyiség jelentősen megnőtt, így már lehetővé vált nagyobb méretű, erősen ötvözött acélöntvények készítése is. A Siemens-féle tüzelés elterjedése kellett ahhoz, hogy a folytacél, mint csőanyag általánosan elfogadottá váljon. Addig azonban igen érdekes megoldások születtek a rendelkezésre álló anyagok felhasználására a megfelelő teljesítményű csövek létrehozása érdekében.

Krupp már a kezdetekkor tégelyacélból öntött ágyúkat: az ő fejlesztése az volt, hogy nagyszámú tégelyt alkalmazott egyszerre. Az így előállított lövegcsövek rendkívül drágák, de vetélytársaiknál sokkal jobb minőségűek voltak. Krupp így a régi technológiával minőségi fejlődést ért el.

Amerikában az öntési technika javításával és a modern méretezési elvek alkalmazásával javítottak az öntöttvas ágyúk tulajdonságain, létrehozva a kolumbiádokat és a Dahlgreen-féle palackágyút. Az amerikaiak kezdték használni először a brit Blakely százados találmányát, a farrészénél acélhüvellyel erősített öntöttvas ágyút (Parrott-ágyú). Maguk a britek ezt túl veszélyesnek találták, és Armstrong épített ágyúit állították rendszerbe. Ezek a lövegek hengerelt kavartacél rudak rugószerű, spirális felcsavarásával majd egybekovácsolásával kialakított csődarabokból, kétrétegű (betétcső-köpenycső) szerkezettel készültek.

Az acélgyártó eljárások fejlődésével a lövegyártók visszatérhettek Blakely eredeti elképzeléshez, és elkezdtek egy darabból készíteni a betétcsövet, később a köpenycövet is. A kétrétegű szerkezet előnye, hogy a betétcsőre melegen ráhúzott köpenycső összenyomja a belső csövet, azaz anyagában érintő irányú nyomófeszültséget kelt. A lövés igénybevétele először ezt a nyomófeszültséget oldja fel, így a nyomáscsúcson kialakuló veszélyes érintő irányú húzófeszültség kisebb lesz. A szerkezet hátránya az, hogy rendkívül pontos megmunkálást igényel: az illeszkedő átmérők elenyésző változása is komoly különbséget okoz a betétcső előfeszítésében. Ezt a jelenséget küszöbölte ki a huzalerősítésű ágyú: a betétcsőre tekert acélhuzal feszültségét, ezáltal az előfeszítés nagyságát nagyon pontosan be lehetett állítani.

Az első világháború idejére a megmunkáló eljárások pontosságának fejlődése és a modern acélgyártó eljárások elterjedése miatt a legnagyobb lövegek kivételével visszatértek a betétcső-köpenycső szerkezethez, vagy az anyagminőségek javulását kihasználva az egyszerű, monoblokk acélcsövekhez. Ez alól az osztrák-magyar haderő kivétel volt: ekkor még mindig az Uchatius tábornagy által kifejlesztett acélbronz csöveket használták. Ezek a mechanikai úton keményített bronzanyagból készült lövegek 1875-ös rendszeresítésükkor még felvették a versenyt az akkori acélágyúkkal, ám a világháború idejére már elavultnak számítottak. Uchatius módszere mindaddig állta a versenyt az acélcsövekkel, amíg a folytacél magabiztos alkalmazása el nem vezetett a nikkelötvöztetésű, kettős falú, tehát köpenycső-béléscső rendszerű lövegcsövekhez. Ezeknek már lényegesen jobbak voltak a mutatói, mint acélbronz versenytársaiknak.

Árulkodó, hogy az 1914 előtt rendszeresített osztrák-magyar tábori és hegyi lövegek egy kivételével bronzcsövények, míg a háború alatt rendszeresítettek csöve már acélból készült. Ez arra mutat, hogy az első világháború kezdetén rendelkezésre álló tábori és hegyi löveganyag csövei elavult technológiával készültek. Az első fejezetben e tárgyban felvett vizsgálómátrix-rendszer (8-9. táblázat) kimutatta, hogy a lövegállomány az egyes

lövegtípusok négy kulcsfontosságú paraméterét vizsgálva műszakilag elavult volt. A harmadik fejezetben pedig bemutattam, hogy ennek oka nem a hadi- vagy az acélgyártó ipar lemaradása volt.

Az Osztrák-Magyar Monarchia tüzérsége tehát a kor kívánalmainak már teljes mértékben nem tudó bronz csövekkel szerelt, kifejezetten korszerűtlen tüzérségi eszközökkel lépett az első világháborúba. Ez az elmaradás már 1914-ben nyilvánvalóvá vált, amikor a korszerűen felszerelt orosz tüzérséggel kerültek szembe.

Már ebben az évben elkezdték rendszeresíteni az új, modern, acélcsővel szerelt lövegeket az osztrák-magyar arzenálban. A konstrukciós fejlődés a lövegek teljesítményében is egyértelműen megmutatkozott, az új lövegek egyenértékűek voltak orosz megfelelőikkel.

A háború alatt legnagyobb számban az 1914 M 10 cm-es könnyűtarackot gyártották. Általában elmondható, hogy a háborús tapasztalatok nyomán növelték a tarackok arányát. Az olyan frissen alapított gyárak termelése, mint a Győri Magyar Ágyúgyár, meredeken felfutott. A Monarchia hadiüzemei több mint 15500 lövegcsövet és 10300 lövegtalpat gyártottak a háború alatt.

Az osztrák-magyar tüzérség a nagy háborút kifejezetten korszerűtlen eszközparkkal kezdte, ami a háború hatására világszínvonalúvá vált.

Az első világháborúban már megjelentek azok a csövek, amelyeket Uchatius ágyújához hasonlóan hidegalakítással keményítettek. Ezt az eljárást autofrettálásnak nevezzük. Az autofrettálás olyan visszamaradó feszültségek keltése egy monoblokk lövegcsőben, melyek a legjobban igénybevett furatközeli réteget részlegesen tehermentesítik, a kevésbé kitett külső részt pedig nagyobb terhelés alá vetik. Ezt a cső belső nyomás általi deformációja útján érik el, úgy, hogy a jobban tárgult belső rétegeket a kevésbé jelentős alakváltozást szenvedett külső rész szorítja, összenyomja.

A második világháború előtt és alatt kizárólag az eljárás hidraulikus válfaját alkalmazták, tehát nyomás alá helyezett folyadékkal érték el a szükséges deformációt. A második világháború után megjelenő nagyszilárdságú acélok autofrettálására – elsősorban az akkor alkalmazott tömítések gyengesége miatt – ez az eljárás nem volt alkalmas. Ezért újra felfedezték az Uchatius által kidolgozott módszert, és mechanikai úton, túlméretes idomnak a furaton való áthúzásával érték el a kívánt alakváltozást. Később megoldották a tömítés kérdését és a hidraulikus módszert is továbbhasználták. Napjainkban a nehezen uralható, de igen termelékeny ballisztikus autofrettálással kísérleteznek. Itt egy speciális lövéssel deformálják a csövet. Kísérleteznek még olyan módszerekkel, amiknél az autofrettálással azonos lépésben a cső belső bevonatolását is elvégzik.

A köpenycső-betétcső rendszer javított a minőségen, míg az autofrettálás az így elért minőség megtartása mellett az előállítható mennyiséget növelte.

Az első világháborút lezáró trianoni békeszerződés Magyarországot érdemi löveganyag és fegyvergyártási kapacitás nélkül találta. A megszálló román csapatok jóvátétel címén elszállították a fegyvergyártásra alkalmas gépeket és berendezéseket, így a győri ágyúgyár teljes gépparkját is. A békediktátum 129 darabban maximalizálta a rendszerben tartható lövegek számát, és nem engedélyezte a 105 mm felettiek alkalmazását.

Az előírások betartását az 1928-ig tevékenykedő Szövetségek Közi Katonai Ellenőrző Bizottság felügyelte. Ennek ellenére a magyar királyi Honvédtüzérségnek ebben az évben rendelkezésre álló lövegállománya (478 db) nagyjából a frissen létrehozott diósgyőri MÁVAG lövegüzem 1920 és 1927 között gyártott terméke volt. (51. táblázat)

Mivel a fegyverimport továbbra is korlátozott (és könnyen ellenőrizhető) volt, modern lövegek hazai gyártására törekedtek. Svéd és olasz liszenszket vásároltak, és továbbgyártották egyes első világháborús típusok modernizált változatait. 1939 októberében Diósgyőrben havi 21 közepes-és nehéztarack vagy 30 könnyűlöveg csövet voltak képesek előállítani. Ez a kapacitás olyannyira nem volt elégséges, hogy már 1940-re 50%-os emelését tervezték. A diósgyőri lövegüzem (MÁVAG-D) éves termelésének csúcsát 1943-ra érte el, 1260 db legyártott löveggel. Ugyanekkor az üzem 2160 db-osösszmegrendeléssel rendelkezett a HM részéről, aminek a teljesítése a jól megszervezett és széleskörű vállalatközi kooperációk ellenére is lehetetlen volt.

A magyar hadiipar az erőltetett és valóban nagyarányú fejlesztések ellenére sem volt képes a második világháború alatt a Honvédtüzérséget megfelelő mennyiségű korszerű löveggel ellátni. Hiába volt a minőség tekintetében világszínvonalú a lövegek gyártása, az elégtelen kapacitás miatt az eszközkészlet részben korszerűtlen maradt. Azaz, bár a gyártmány és a technológia is a kor műszaki-technikai színvonalán állt, az alkalmazott fegyverzet végül elmaradt attól.

A folytácél cső alapgyártmánya ekkor még hagyományosan süllyesztékes kovácsolással készült, napjainkban azonban már forgatva kovácsolják a csövet. A technológiaváltás a '70-es években világszerte lezajlott. A fellelt dokumentumok szerint a Szovjetunió is megvásárolta az eljárást. A II. világháború idejére kialakult, máig használt csőanyag fő ötvözője 0,3% karbontartalom mellett a nikkel (~3%) és a króm (~1%).

A második világháborút követő időszakban a Magyar Honvédség, majd a Magyar Néphadsereg tüzérségi eszközrendszere a világ élvonalába került. Nem a vitathatatlanul rendelkezésre álló szellemi kapacitás kihasználásával, hanem egyszerűen a szovjet fegyverzet

átvételével jutottak erre a szintre. 1949-ben indult újra a löveggyártás Diósgyőrben szovjet típusok előállításával. A HM 1948-as átiratában évi 170 darabos termelést várt el, és előírta egy új üzem telepítését kifejezetten a löveggyártás céljára. Az üzemmel szembeni elvárást 1949-ben az 1951-52-es évekre nézve 898 (!) db-ra emelték. 1951-ben Diósgyőrben több típusból (ideértve a páncéltörő- és légvédelmi ágyúkat is) összesen 855 löveg készült el, 1952-ben 1219, 1953-ban 1287.

1953-tól elkezdődött a haderő mennyiségi visszafejlesztése. Rendkívül sok löveg került „Mozgósításra Zárolt” (MZ) készletbe. 1954-re a Nehézszerológépgyár (a diósgyőri lövegüzem neve 1952-től) kapacitásainak csak 43 %-át kötötte le a HM.

1956-tól megszűnt a hazai löveggyártás. A termelés jóval kisebb volumenben, egyetlen típussal, az 57 mm-es Sz-60 légvédelmi géppágyúval indul újra 1959-től.

A Magyar Néphadsereg ellátottsága tüzérségi eszközökkel mind mennyiség, mind minőség tekintetében jó volt. Az élenjáró szovjet technika átvétele biztosította, hogy az eszközök világszínvonalúak legyenek. A szovjet döntéshozók a megfelelő darabszám elérésére nem haboztak nyugati technológiát vásárolni (pl.: osztrák csőgyártó gépsorok, lásd: 3. fejezet) hangsúlyt fektettek a löveggyártás elősegítésére a Varsói Szerződés egyéb államaiban is. Így a hazai gyártás megszűnte után is volt lehetőség sorozatos vásárlásokkal kielégíteni a hazai igényeket.

A lövegek, lövegcsövek gyártása az első ágyúk megjelenése óta óriási technológiai haladáson ment keresztül.

Azért, hogy meghatározhassam, a saját korában mennyire számított fejlettségnek egy gyártmány, visszafejtettem és a második és a harmadik fejezetben ismertettem a lövegcsövek gyártástechnológiájának változását. Ehhez korabeli forrásokat, történelmi, technikátörténeti és a mai műszaki szakirodalmat használtam. Nagyban támaszkodtam a lövegcsöveken végzett vizsgálatokra, és az egyes szakterületek szakértőivel folytatott konzultációkra. Öntészeti kísérletet végeztem, és a mai számítási eljárásokkal egészítettem ki a rendelkezésre álló információkat. Ezek eredményeképp a két fejezet hiánypótló, a további kutatásokban, az oktatásban jól hasznosítható összefoglalóját adja a löveggyártás, a lövegcső-gyártás történetének.

Szintén az adott korszakhoz viszonyított fejlettség vizsgálatára kidolgoztam és már az első fejezetben sikerrel alkalmaztam egy új, vizsgálómátrixon alapuló módszert.

Megállapítottam, hogy a fejlett államok az ipar legújabb eredményeit használták fel a löveggyártás céljára, sőt, néhány esetben az igényeket felismerve technológiai ugrásokat

valósították meg, azaz megelőzték, felülmúlták az általános műszaki-technikai színvonalat. Ilyen volt az elöltöltő vaságyúöntésének kidolgozása, (Hogge) a nagy pontosságú ágyúfúrás, (Wilkinson) a termelékeny szélfressítéses acélgyártás, (Bessemer) vagy a csövek anyagát előfeszítő autofrettálás. Wilkinson és Bessemer találmánya a civil ipart is forradalmasította.

Egyetlen példát találtam, ahol a lövegben, lövegcsőben megtestesülő gyártmány jelentősen elmaradt az állam általános ipari fejlettségétől, és ezt éppen az első világháborúra készülő Osztrák-Magyar Monarchia adta. Ahogy azt az első fejezetben felvett vizsgálómátrix-rendszer segítségével meghatároztam, a Monarchia tüzérsége által használt lövegek felépítése korszerűtlen volt. A harmadik fejezetben kimutattam, hogy a bronz lövegcsövek a háborúra elavultak.

A negyedik fejezetben bemutattam azt a folyamatos törekvést, ami a magyar tüzérség korszerű eszközökkel való ellátására irányult a teljes tárgyalt időszakban. Komoly elmaradást a világszínvonalától az első és a harmadik fejezetben előrevetítettek szerint az első világháború elején lehetett felismerni. A háborúba lépő Osztrák-Magyar Monarchia alig gyártott korszerű tábori löveget a nagy háború kezdetén, a tüzérségi eszközkészlet fejlettsége egyértelműen elmaradt az általános műszaki-technikai fejlettségtől. Ahogy azt a negyedik fejezetben ismertettem, a háború alatt modern lövegeket rendszeresítve és a termelést felfuttatva képes volt tüzérségi eszközrendszerének korszerűsítésére.

Kijelenthető, hogy az első világháborút közvetlenül megelőző időszak kivételével a műszaki-technikai fejlődés és a tüzérség eszközeinek fejlődése ugyanúgy haladt együtt hazánkban, ahogy a legfejlettebb államokban. A műszaki-technikai fejlődés hatása a kész, az ilyen befolyást tükröző fegyvergyártó technológiák, tüzérségi eszközök gyors átvételével valósult meg. Nincs olyan forrás, ami arra utalna, hogy hazánkban alkalmaztak volna először valamilyen előremutató, a műszaki-technológiai fejlődés által inspirált új fegyvergyártó módszert vagy tüzérségi eszközt.

Az ötödik fejezetben azt vizsgáltam, hogy a Hadtörténeti Múzeum gyűjteményi szerkezete mennyiben tükrözi az előző fejezetekben leírt fejlődési sorokat, mennyiben alkalmas a hazai tüzérség eszközeinek bemutatására. Ennek érdekében besoroltam a gyűjteményi állományt a második és harmadik fejezetekben bemutatott alapvető típusok valamelyikébe, és ezt a besorolást a negyedik fejezetben leírtak alapján értékeltem, összehasonlítva a meglévő állományt a magyar tüzérség által használt lövegfajtákkal- majd típusokkal. Megállapítottam, hogy a hazai használatú lövegek teljes fejlődéstörténetének bemutatására a gyűjteményből mindössze az első világháborús nehézmozsarak képviselője hiányzik.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Új, vizsgálómátrixon alapuló módszert vezettem be annak az igazolására, hogy az osztrák–magyar tüzérség lövegei az első világháború kezdetén fejlettségükben elmaradtak az állam általános műszaki-technikai fejlettségétől.
2. Méretezési számítással bizonyítottam, hogy az elöltöltő bronzágyúk öntése csak az öntőforma torkolati részének a szakirodalomban le nem írt előmelegítésével volt lehetséges.
3. Bebizonyítottam, hogy az osztrák-magyar ipar képes lett volna korszerű lövegekkel ellátni a háborúra készülő monarchiát. Ezzel igazoltam, hogy a korszerűtlen konstrukciójú, bronz lövegcsövekkel szerelt lövegek első világháborúig való továbbkalmazásának oka nem az állam ipari fejletlensége volt.
4. A szakirodalomban elsőként ismertem fel és igazoltam, hogy a békés célú iparban forradalmi változásokat hozó Bessemer-féle acélgyártás illetve Wilkinson-féle csőfűrés eredetileg a lövegcső gyártásához kifejlesztett eljárások voltak.
5. Összehasonlító vizsgálatokkal igazoltam, hogy az osztrák–magyar tüzérség eszközparkja az első világháború hatására a világ élvonalába került.
6. Elsőként vizsgáltam a műszaki-technikai fejlődés tükrében a Hadtörténeti Múzeum gyűjteményi szerkezetét. Ennek eredményeként rámutattam, hogy a lövegek teljes fejlődéstörténetének bemutatására a gyűjteményből mindössze az első világháborús nehézmozsarak képviselője hiányzik.

AJÁNLÁSOK

- A dolgozatomban első fejezetében felállított, az általános műszaki-technikai fejlettséghez és a fegyvernemmel szemben támasztott követelményekhez viszonyított szempontrendszer alkalmas arra, hogy nemcsak a múlt, de a jelen és a jövő számára is egyfajta értékelési lehetőséget adjon a fegyverzet fejlesztésére szolgáló gyártástechnika értékelésére.
- Az előlőtt bronzágyúöntéstechnológiai kérdéseinek feltárását tervezem kiterjeszteni az előlőtt öntöttvas lövegekre. Széleskörű tudományos együttműködés körvonalazódik, amelynek eredményei feloldhatnak olyan hadtörténeti problémákat, mint például az előlőtt vaságyú aránytalanul ritka alkalmazása a Magyar Királyság területén.
- A hadtörténelemmel foglalkozó kutatók figyelmébe ajánlom azt a rendkívüli időszakot, ami az első világháborúra való felkészülést, majd az első háborús éveket jellemezte. Kifejezetten továbbgondolásra érdemes, milyen hibás döntések vezettek oda, hogy a Monarchia nem használta ki a meglévő ipari kapacitást tüzérségének korszerű felfegyverzésére. További kutatások témája lehet, hogy milyen intézkedésekre volt szükség az első háborús években a löveg-, lövegcsőgyártás színvonalának felemelésére az általános műszaki-technikai fejlettségének szintjére.
- A dolgozatban megfogalmazott megállapítások alapjai lehetnek egy tematikus, tüzérséget bemutató haditechnikai park kialakításának.
- A második és harmadik fejezetben leírt gyártástechnikai fejlődéstörténet hasznos kiegészítője lehet az NKE HHK katonai vezetői szak műszaki és tüzér specializáció illetve a katonai logisztika szak haditechnika specializáció, valamint a mesterképzés katonai műveleti logisztika szak tananyagának. Jól használható segédlete lehet a Katonai Műszaki Doktori Iskola és a Hadtudományi Doktori Iskola képzéseinek.

TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

LEKTORÁLT KÖNYVFEJEZET

Bán Attila: Fegyvergyártás és fegyverzet

In: Turcsányi Károly (szerk.) *Haderők és hadviselés az elöltöltő fegyverek korában.*

HM Hadtörténeti Intézet és Múzeum, Budapest, 2015. pp. 47-124.

(ISBN: 978-963-7097-73-7)

Turcsányi Károly, Bán Attila, Hegedűs Ernő, Molnár Gábor

A fegyvernemek és alkalmazásuk fejlődése

In: Turcsányi Károly (szerk.) *Haderők és hadviselés az elöltöltő fegyverek korában.*

HM Hadtörténeti Intézet és Múzeum, Budapest, 2015. pp. 157-275.

(ISBN: 978-963-7097-73-7)

Bán Attila: Az ágyúöntés technikája a Székelyföldön 1848–1849-ben

In: Hermann Róbert, Benkő Levente (szerk.) *Ágyúba öntött harangok: Tanulmányok Gábor Áron születésének 200. évfordulójára.*

Háromszék Vármegye Kiadó, Sepsiszentgyörgy, 2014. pp. 100-120.

(ISBN: 978-973-8995-13-0)

Bán Attila: Egy kiemelkedő magyar optikai-hadiipari termék.

In: Ravasz István (szerk.) *Hadi Múltunk kincsesháza.*

HM Hadtörténeti Intézet és Múzeum, Budapest, 2009. pp. 32-33. (ISBN: 978-963-7097-39-3)

LEKTORÁLT FOLYÓIRATBAN MEGJELENT CIKKEK

Bán Attila: The influence of technical and technological development on cannon

manufacturing in Hungary. *Műszaki Katonai Közlöny* 28. évfolyam 1. szám. Budapest, 2018. pp. 277-286. (ISSN: 2063-4986)

Turcsányi Károly, Hegedűs Ernő, Bán Attila

A nagyhatalmak tengeri hadviselése az elöltöltő fegyverek korában (1648-1866) IV. rész

Hadtudományi Szemle 9. évfolyam 4. szám. Budapest, 2017. pp. 126-146. (ISSN: 2060-0437)

Turcsányi Károly, Hegedűs Ernő, Bán Attila

A nagyhatalmak tengeri hadviselése az elöltöltő fegyverek korában (1648-1866) III. rész

Hadtudományi Szemle 9. évfolyam 3. szám. Budapest, 2016. pp. 78-95. (ISSN: 2060-0437)

Turcsányi Károly, Hegedűs Ernő, Bán Attila

A nagyhatalmak tengeri hadviselése az elöltöltő fegyverek korában (1648-1866) II. rész

Hadtudományi Szemle 9. évfolyam 3. szám. Budapest, 2016. pp. 57-78. (ISSN: 2060-0437)

Turcsányi Károly, Hegedűs Ernő, Bán Attila

A nagyhatalmak tengeri hadviselése az elöltöltő fegyverek korában (1648-1866) I. rész

Hadtudományi Szemle 9. évfolyam 1. szám. Budapest, 2016 pp. 111-158. (ISSN: 2060-0437)

Bán Attila: Változások a hadiellátásban a 14.-től a 19. századig.
Katonai Logisztika, 23. évfolyam 2. szám. Budapest, 2015. pp. 240-249. (ISSN: 1789-6398)

Bán Attila: A Monarchia utolsó bronzágyúja és első autofrettált lövegcsöve I. rész.
Haditechnika, 48. évfolyam 2. szám. Budapest, 2014. pp. 2-4. (ISSN: 0230-6891)

Bán Attila: A Monarchia utolsó bronzágyúja és első autofrettált lövegcsöve II. rész.
Haditechnika. 48. évfolyam 3. szám. Budapest, 2014. pp. 2-4. (ISSN: 0230-6891)

Bán Attila: Ágyúk a XIV. században. *Hadtörténelmi Közlemények: Peremirat*. Budapest, 2013. pp. 24-34. (ISSN: 0017-6540)

Bán Attila: A magyar királyi Honvédség ellátása optikai eszközökkel az első világháború előtt és alatt. *A Hadtörténelmi Múzeum Értesítője* 12. Budapest, 2011. pp. 207-213.
(ISSN: 0238-4442)

Bán Attila: Az ágyúgyártás különös nehézségei Háromszéken 1848–1849-ben. *Acta Siculica* 2009. Sepsiszentgyörgy, 2010. pp. 323-338. (ISSN: 1843-8385)

Bán Attila: Középkori és újkori bronzágyúköntésteknológiájának vizsgálata. *Bányászati és Kohászati Lapok. Kohászat*. 142. évfolyam, 1. szám. Budapest, 2009. pp. 6-12
(ISSN: 0005-5670)

IDEGEN NYELVŰ KIADVÁNYBAN MEGJELENT CIKKEK

Bán Attila: The M1941 Field Telephone. Sallay Gergely Pál, Závodi Szilvia (szerk.) *100 Years – 100 Artefacts*. HM Hadtörténelmi Intézet és Múzeum, Budapest, 2012. pp. 102-103.
(ISBN: 978-963-7097-54-6)

Bán Attila: The M1934/38 Gamma-Juhász Director or Auxiliary Predictor.
Sallay Gergely Pál, Závodi Szilvia (szerk.) *100 Years – 100 Artefacts*.
HM Hadtörténelmi Intézet és Múzeum, Budapest, 2012. pp. 86-87. (ISBN: 978-963-7097-54-6)

Bán Attila: The M1930 Compass.
Sallay Gergely Pál, Závodi Szilvia (szerk.) *100 Years – 100 Artefacts*.
HM Hadtörténelmi Intézet és Múzeum, Budapest, 2012. pp. 78-79. (ISBN: 978-963-7097-54-6)

KONFERENCIA KIADVÁNYBAN MEGJELENT ELŐADÁS

Bán Attila: A bronzágyúköntésteknikája a középkor és az újkor fordulóján. Szabó Sarolta (szerk.) *Örökös háború két világ határán: Katonák, fegyverek és hadviselés a törökök elleni küzdelemben: hadtörténelmi konferencia a kenyérmezei csata 510. évfordulóján*. (Konferencia helye, ideje: Nyírbátor, Magyarország, 2009. 10. 13.) Nyírbátor, 2011. pp. 77-91.
(ISBN: 978-963-7220-74-6)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1 ffoulkes, (sic!) Charles: The Gun-Founders in England. Arms & Armour Press, London, 1969.
- 2 Dr. Hegedüs Zoltán: Az ágyúöntés technikája Magyarországon a XV-XVII. században. *Bányászati és Kohászati Lapok* 31. évfolyam 12. szám. Budapest, 1980. 270-274. o.
- 3 Smith, C. S. – Gnudi, M. T.(ford.): The Pirotechnia of Vanoccio Biringuccio. Dover Publications, New York, 2005.
- 4 Faulhaber, Anton: Artillerienkunst. Ulm, 1670-1702.
- 5 Michael Mieth: Artilleriae recentior praxis oder neuere Geschütz-Beschreibung. Frankfurt und Leipzig, 1683.
- 6 Surirey de Saint Remy, Pierre: Memoires d'Artillerie. Imprimerie Royale, Paris, 1707.
- 7 Monzs: Iszkusztvo ljity puski. Vo grad Szv. Petra, 1804.
- 8 Encyclopaedia Britannica. VI. kiadás, 2. kötet. Edinburgh, 1824.
- 9 Holley, Alexander L: A Treatise on Ordnance and Armor. D. Van Nostrand, New York, Trubner & Company, London, 1865.
- 10 Künzel, Carl: Ueber Brunzelegirungen und Ihre Verwendungen für Gesüztrohre und Technische Zwecke. Dresden, 1875.
- 11 Felszeghy Ferenc (szerk): Magyar Tüzér. Reé László Könyvkiadó és Terjesztővállalat, Budapest, 1938.
- 12 Essenwein, A.: Quellen zur Geschichte der Feuerwaffen. Akademische Druck-u. Verlagsanstalt, Graz, 1969.
- 13 Rathgen, Bernhard: Das Geschütz im Mittelalter. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987.
- 14 Blackmore, H. L.: The Armouries of the Tower of London. I. Ordnance. Her Majesty's Stationary Office, London, 1976.
- 15 Sz.n: A löveggyártásnál felhasznált anyag ismertetése. Kohászat. Kézirat. A HTI Könyvtára 6892. Diósgyőri Új Gyár, 1931.
- 16 Sz.n: Lövegcsövek nyersanyaga, gyártási módok és szerkezeti megoldásai. *Magyar Katonai Szemle*, Budapest, 1932. 3. szám 131-135. o.
- 17 Sz.n: Lövegcsövek szerkezeti megoldásai. *Magyar Katonai Szemle*, Budapest, 1932. 4. szám 118-123. o.
- 18 Perlaki Gyula: a hazai löveggyártás története. Kézirat. Budapest, 1985. Hadtörténelmi Levéltár MN Különgyűjtemény. IV/B-57
- 19 Farkas Lajos: A magyar hadiipar kialakulásának, tevékenységének története ti feldolgozása a Diósgyőri Gépgyárnál. Kézirat. Diósgyőr, 1984. Hadtörténelmi Levéltár MN Különgyűjtemény. IV/B-61
- 20 Fuchs, Henry O.: Trapped Stresses. *Machine design*, 1948. július. 114-178. o.
- 21 Davidson, T. E. - Barton, C. S. - Reiner, A. N. – Kendall, D. P.: The Autofrettage Principle as Applied to High Strenght Light Weight Gun Tubes. Technical Report. Watervliet, 1959.
- 22 Transfer of Austrian Gun-barrell Forging Technology to the USSR. Intelligence Memorandum, 1982. CIA.
http://www.foia.cia.gov/sites/default/files/document_conversions/89801/DOC_0000496800.pdf (letöltve: 2016. 04. 17.)
- 23 Audino, Michael: Gun Barrels. DoD Metal Plating Workshop, 2006.
http://www.asetdefense.org/documents/workshops/mfw-5-06/briefings/6-audino-dod_metal_plating_workshop_22may06.pdf (letöltve: 2016. 04. 17.)
- 24 McNeil, Ian: An Encyclopaedia of the History of Technology. Routledge, London, 1990.

- 25 Wille, Hermann Heinz: A szakócától a dinamóig. Kossuth Kiadó, Budapest, 1988.
- 26 Aitchison, Leslie: A History of Metals. Macdonald and Evans, London, 1960.
- 27 Rempert Zoltán: Magyarország vaskohászata az ipari forradalom előestéjén. Montan-Press Kft, Budapest, 1995.
- 28 Rempert Zoltán: Magyarország vaskohászata a dualizmus korában. Montan-Press Kft, Budapest, 2005.
- 29 Müller, Heinrich: Deutsche Bronzgeschützrohre 1400 – 1750. Deutscher Militärverlag, Berlin, 1968.
- 30 Schmidchen, Volker: Bombarden, Befestigungen, Büchsenmeister. Droste Verlag, Düsseldorf, 1977.
- 31 Ryan, J. W.: Guns, Mortars & Rockets. Brassey's Ltd, Exeter, 1982.
- 32 Dollecsek, Anton: Geschichte der Österreichischen Artillerie. Im Selbstverlage, Wien, 1887.
- 33 Iványi Béla: A magyar tüzérség fejlődésének vázlata a XV. és a XVI. században. Csáth Ferenc Magy. Kir. Tudományegyetem Könyvkereskedés és Kiadóvállalat, Debrecen, 1916.
- 34 Horváth Árpád: Az ágyú története. Zrínyi Kiadó, Budapest, 1966.
- 35 Kinard, Jeff: Artillery: An Illustrated History of Its Impact. ABC-CLIO, Santa Barbara, 2007.
- 36 Horváth Csaba (szerk): A magyar tüzérség 100 éve. Zrínyi Kiadó, Budapest, 2014.
- 37 Turcsányi Károly - Bán Attila - Hegedűs Ernő - Molnár Gábor: Haderők és hadviselés az elöltöltők korában. HM Hadtörténeti Intézet és Múzeum, Budapest, 2015.
- 38 Verő József - Káldor Mihály: Fémtan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
- 39 Végvári Ferenc: Fémes szerkezeti anyagok. GAMF, Kecskemét, 1993.
- 40 Nándori Gyula: Elméleti Öntészet I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1986.
- 41 Nándori Gyula: Elméleti Öntészet II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1965.
- 42 Tisza Miklós: Anyagvizsgálat. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2005.
- 43 Riederer, Josef: Műkincsekről vegyész-szemmel. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- 44 Ágoston Gábor: Oszmán monstrumlövegek: valóban szétváltak az európai és az oszmán tüzérség fejlődésének útjai? *Keletkutatás*. 1992 ősz, 11–19. o.
- 45 Turchany Guy – Beranek László – Fülek György – Magyar Beck István – Turcsányi Károly: Fenntartható fejlődés: mítosz vagy valóság? *Valóság*. XLVII. évfolyam, 6. szám. Budapest, 2004. 1 – 18. o.
- 46 Turcsányi Károly: Szempontok, módszerek a haditechnika megfelelőségének megítéléséhez. *Hadtudomány*. XXVI. évfolyam, különszám. Budapest, 2016. 90 – 102. o.
- 47 Rácz Lajos: Az európai gazdaság-világtól a világgazdaságig. JGYF Kiadó, Szeged, 2000.
- 48 Pounds, Norman J. G.: Európa történeti földrajza. Osiris Kiadó, Budapest, 1997.
- 49 Papp László: Mérföldkövek a szabadsági jog egyetemes fejlődésében a XIX. század végéig. A szellemi tulajdon nemzeti hivatalának honlapja.
<http://www.sztnh.gov.hu/kiadv/ipsz/201305-pdf/04.pdf> (letöltve: 2015. 06. 30.)
- 50 Cameron, Rondo: A világgazdaság rövid története. Maecenas Könyvkiadó, Budapest, 1994.
- 51 Történeti áttekintés. A magyar kereskedelmi engedélyezési hivatal honlapja.
http://mkeh.gov.hu/piacfelugyeleti_muszaki/hasznos/torteneti_attekintes (letöltve: 2015. 06. 13.)
- 52 Halberstadt, Hans: Tüzérségi eszközök a középkortól napjainkig. Hajja és Fiai könyvkiadó, Debrecen, 2003.

- 53 The Chicago Daily News War Book for American Soldiers, Sailors and Marines, Copyrighted by The Chicago Daily News Company. Chicago, IL; 1918.
- 54 McNeill, William Hardy: The Pursuit of Power. Basil Blackwell Publisher Limited, Oxford, 1983.
- 55 Sweetman, Jack: Admirálisok. Zrínyi Kiadó, Budapest, 1999.
- 56 Keegan, John: A tengeri hadviselés története. Corvina Könyvkiadó, Budapest, 1998.
- 57 Harding, David (szerk): Fegyvertípusok enciklopédiája. Gemini, Budapest, 1995.
- 58 Bán Attila: Ágyúk a XIV. században. *Hadtörténelmi Közlemények*: Peremirat. Budapest, 2013. 24-34. o.
- 59 Pauli, Roger: Firearms: The Life Story of a Technology.
<http://books.google.co.in/books?id=izGOfMdSm2IC&printsec=frontcover&hl=hu#v=onepage&q&f=false> (letöltés: 2012. 06. 21.)
- 60 Dr. Rázsó Gyula: Néhány gondolat a tüzérség születéséről és történelmi szerepéről. A magyar tüzérség kialakulása és fejlődése. Az 1991. november 27-én megtartott konferencia kiadott anyaga. 11-23. o. Budapest, ZMKA, 1992.
- 61 Bán Attila: A bronzágyúköntéstechnikája a középkor és az újkor fordulóján. Szabó Sarolta (szerk.) Örökös háború két világ határán: Katonák, fegyverek és hadviselés a törökök elleni küzdelemben: hadtörténelmi konferencia a kenyérmezei csata 510. évfordulóján. Nyírbátor, 2011. 77-91. o.
- 62 Bán Attila: Közép- és újkori bronz löfegyverek vizsgálata és gyártástechnológiájának feltárása. Diplomamunka. Miskolci Egyetem, 2008.
- 63 Bán Attila: Középkori és újkori bronzágyúköntéstechnológiájának vizsgálata. *Bányászati és Kohászati Lapok. Kohászat*. 142. évfolyam, 1. szám. Budapest, 2009. 6-12. o.
- 64 http://www.mtt.bme.hu/oktatas/segedanyagok/villamosmernoki_anyagtudomany/gyakorlati_segedletek/pasztazo_elektronmikroszkopos_vizsgalat.doc (Letöltve: 2011. 10. 14.)
- 65 <http://ttk.pte.hu/analitika/letoltesek/jegyzet/ch05s01.html> (Letöltve: 2008. 04. 12.)
- 66 www.ttk.pte.hu/fizkem/korny-gyak.pdf/8gyk-kieg.pdf (Letöltve: 2008. 04. 12.)
- 67 McConnell, David: British Smooth-Bore Artillery. Minister of Supply and Services, Canada, 1988.
- 68 Weigley, Russell Frank: The Age of Battles: The Quest for Decisive Warfare from Breitenfeld to Waterloo. Indiana University Press, 2004.
- 69 Dawson, Anthony L. - Dawson, Paul L. – Summerfield, Stephen: Napoleonic Artillery. The Crowood Press, Trowbridge, 2007.
- 70 Károly Gyula – Józsa Róbert: Konverteres acélgyártás. Miskolci Egyetem 2012-13. Digitális tananyag. (Letöltve: 2016. 05. 11.)
- 71 Claudia Flavell-While: Man of steel. *Chemical Engineer*, 2010. november, 68. szám. www.tcetoday.com. (Letöltve: 2016. 05. 05.)
- 72 Az Enciclopedia Britannica online kiadása: Henry Bessemer.
www.britannica.com/biography/Henry-Bessemer (Letöltve: 2016. 05. 05.)
- 73 Skrabec, Quentin R, Jr.: Henry Clay Frick: The Life of a Perfect Capitalist. Jefferson, 2010. (Google Books, Letöltve: 2016. 05. 05.)
- 74 Roberts, Steven: Captain Alexander Blakely RA. London, England 2012.
<https://www.scribd.com/doc/97550420/2/The-Blakely-Patent> (Letöltve: 2016. 04. 30.)
- 75 Todhunter, Isaac: A History of the Theory of Elasticity and of the Strength of Materials. Volume 2. Part 1. Cambridge University Press 2014. Eredeti kiadás: 1893. (Google Books, Letöltve: 2011. 08. 10.)

- 76 Sz.n.: The Construction of Modern Wirewound Ordnance No. I. In: The Engineer. January 7, 1898.-Vol. LXXXV. (sic!) 1-2. o.
<http://www.gracesguide.co.uk/images/0/06/Er18980107.pdf> (Letöltve: 2016. 04. 30.)
- 77 Bán Attila: A Monarchia utolsó bronzágyúja és első autofrettált lövegcsöve I-II. rész. *Haditechnika*, XLVIII. évfolyam 2-3. szám. Budapest, 2014. 2-4. o.
- 78 Maréchal Károly – Imre József: Színesfémek felhasználása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- 79 Ortner, M Christian: The Austro-Hungarian Artillery from 1867 to 1918: Technology, Organization and Tactics. Verlag Militaria, Wien, 2007.
- 80 History. Skoda. <http://www.skoda.cz/en/skoda-holding/key-information/company-history> (letöltve: 2015. 06. 30.)
- 81 Skoda Works. Globalsecurity.org. <http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/at-kuk-skoda.htm> (letöltve: 2015. 06. 30.)
- 82 Skoda-Pilsen. Globalsecurity.org. <http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/skoda-pilsen.htm> (letöltve: 2015. 06. 30.)
- 83 Maiolo, Joseph - Stevenson, David (Szerk): Arms Races in International Politics Oxford, 2016. (Google Books, Letöltve: 2015. 06. 30.)
- 84 Friedman, Norman: Naval Weapons of World War I. Barsley, 2011. (Google Books, Letöltve: 2015. 06. 30.)
- 85 Berend Iván: A gazdasági növekedés a kétezredik évben is folytatódik. Magyar Tudomány 2000. 09. <http://epa.oszk.hu/00700/00775/00022/1079-1086.html> (Letöltve: 2016. 05. 08.)
- 86 U.S. Army Watervliet Arsenal Rotary Forge Background Video.
<https://www.youtube.com/watch?v=QtqwlGEC-bg> (Letöltve: 2016. 05. 08.)
- 87 Barsan, Ghita – Giurgiu, Luminita – Mosteanu, Dan: An Innovative Autofrettage Process for Increasing Life Cycle and Performances of Gun Barrels
http://webintec.ceram.fr/euromot2008/uploads/192/1-iamot_Barsan_Sibiu.pdf (Letöltve: 2011. 10. 14.)
- 88 Spence, John - Banks, W. M. – Nash, D. H. (Szerk): Pressure Equipment Technology: Theory and Practice. Chippenham, 2003. (Google Books. Letöltve: 2011. 10. 14.)
- 89 Veszprémy László: Lovagvilág Magyarországon. Budapest, HM HIM, 2008.
- 90 Veszprémy László: Zsgmond, a katonai reformer? *Hadtörténelmi Közlemények*, 111. évfolyam, 3. szám. Budapest, 1998. 113-121. o.
- 91 Óváry Lipót: Jelentés olaszországi kutatásaimról. *Századok*, 18. évfolyam. Magyar Történelmi Társulat, Budapest, 1884. 509-510. o.
- 92 Domonkos György: A magyar tüzérség a XVI-XVII. században. A magyar tüzérség kialakulása és fejlődése. Az 1991. november 27-én megtartott konferencia kiadott anyaga. Budapest, ZMKA, 1992. 24-38. o.
- 93 Domonkos György: Rákóczi taraszkjai. I. *Örökség*, 2006. 11. 4-5. o.
- 94 Csikány Tamás: Honvédtüzérség az 1848-49-es szabadságharcban. Tinta Könyvkiadó, Budapest, 2000.
- 95 Hollins, David – Delf, Brian: Austrian Napoleonic Artillery 1792-1815. Osprey Publishing Ltd, Oxford, 2003.
- 96 Wise, Terence – Hook, Richard: Artillery Equipments of the Napoleonic Wars. Osprey Publishing, London, 1985.
- 97 McNab, Chris: Armies of the Napoleonic Wars. Osprey Publishing Ltd, Oxford, 2009.
- 98 Bán Attila: Az ágyúöntés technikája a Székelyföldön 1848–1849-ben
Hermann Róbert, Benkő Levente (szerk.) Ágyúba öntött harangok: Tanulmányok Gábor Áron születésének 200. évfordulójára. Sepsiszentgyörgy, 2014. 100-120. o.

- 99 id. Máthé János: A magyarhermányi vasgyártás története. *Acta Siculica* 1996/1, 1997. 61–72. o.
- 100 Remport Zoltán – Lengyelne Kiss Katalin: A bodvaji vasgyártás technikatörténeti leírása. Demeter László (szerk.): A bodvaji kohó. Sepsiszentgyörgy, 2006. 9–21. o.
- 101 Turóczi Mózes visszaemlékezése. Magyar nyelvű tisztázat. MNL OL R.275. Szn.
- 102 id. zágoni Bodola Lajos: A Székely ágyuk története. 1848–49. *Történelmi Lapok*. Kolozsvár, 1895. aug. 15. 136-138. o.
- 103 Mikus Károlyné – Szántai Lajos: Megemlékezés Gábor Áron halálának 150. évfordulójáról. *Öntödei Múzeumi Füzetek* 4. Budapest, 1999.
- 104 Egyed Ákos: Háromszék 1848–49. Kriterion, Bukarest, 1979.
- 105 Bán Attila: Az ágyúgyártás különös nehézségei Háromszéken 1848-49-ben. *Acta Siculica* 2010. Sepsiszentgyörgy, 2010. 328-338. o.
- 106 Gyalókey Jenő: A segesvári ütközet. *Erdélyi Múzeum* XXX. 129–151. Kolozsvár, 1913.
- 107 Kinizsi István: A „Sánta huszár” naplója. 1848–49. *Történelmi Lapok*. Kolozsvár, 1894. május 1. 86-87. o.
- 108 Bíró Ede: Három világrészben. 1848–49. *Történelmi Lapok*. Kolozsvár, 1897. február 1. 10-11. o.
- 109 Nyepokojcsickij, Artur Adamovics: Az erdélyi hadjárat orosz szemmel 1849. (ford. Rosonczy Ildikó), Balassi Kiadó, Budapest, 1999.
- 110 www.bulgarianartillery.it/Bulgarian%20Artillery%201/Deposito/0Pu76mm%20Russian_M1902_1.jpg (Letöltve: 2017. 08. 21.)
- 111 DeVries, Kelly - France, John - Neiberg, Michael S – Schneid, Frederick (szerk): King of Battle: Artillery of World War I. (Google Books. Letöltve: 2016. 04. 30.)
- 112 Kováts-Lugosi-Nagy-Sárhidai: Tábori tüzérség. Zrínyi Kiadó, Budapest, 1988.
- 113 Csesznák Benő: Az Uchatius-ágyúk leírása és hatása. Budapesti Könyvnyomda-részvénytársaság, Budapest, 1877.
- 114 Germuska Pál: A magyar középgepipar. Argumentum Kiadó, Budapest, 2014.

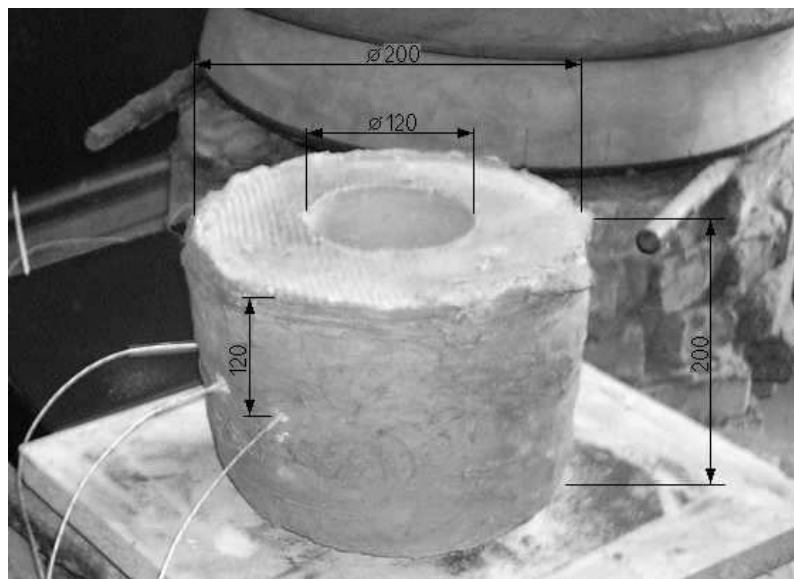
MELLÉKLETEK

1. Kísérlet: agyagformába öntött bronz próbatest lehűlésének vizsgálata
2. A kísérlet során kapott lehűlési görbék
3. A hődiffúziós tényező számítása a kísérletben kapott adatokból
4. A HM HIM korai löveganyaga
5. A HM HIM modern löveganyaga
6. A brit sorhajók tűzerejének növekedése a 17-től a 19. századig

1. Melléklet

Kísérlet: agyagformába öntött bronz próbatest lehűlésének vizsgálata

A kísérletet Gombos Miklós harangöntő mester műhelyében, a harangokhoz hasonlóan szárított, földbe ágyazott agyagformába öntve, a hőmérséklet regisztrálásával végeztük. Az öntött fém CuSn20. A négycsatornás digitális hőmérő- és regisztráló berendezés három csatornán, az öntvény közepének, a formafalnak és a formának (4 cm mélységben) a hőmérsékletét regisztrálta 30 másodpercenkénti mintavétellel.



A kísérlet elvégzésére szolgáló forma és méretei



A kísérlet elvégzésére szolgáló forma belseje a belógó mérőfejjel



A mérésre kész forma



A forma előmelegítése



Öntés

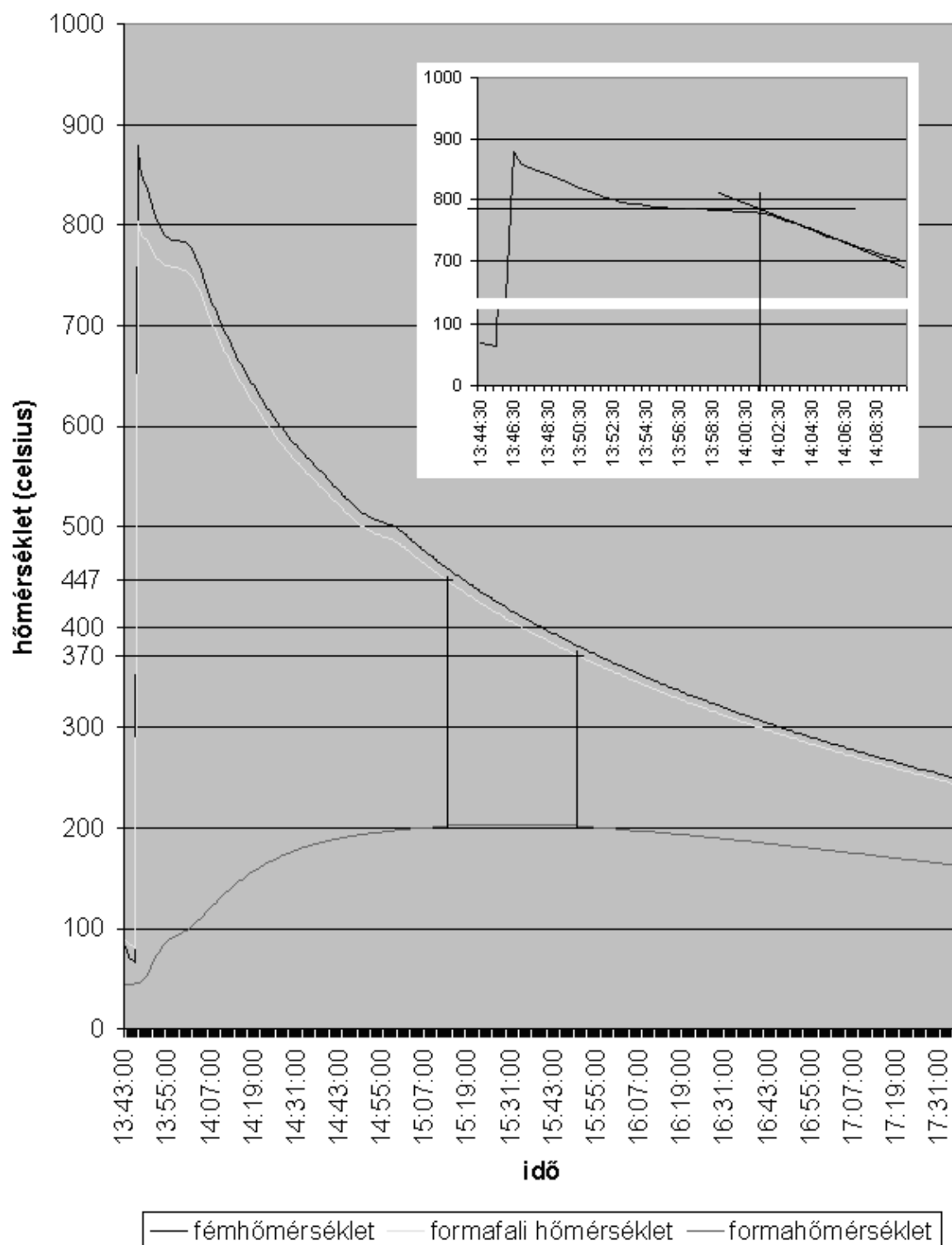


A lehűlés mérése

2. Melléklet

A kísérlet során kapott lehűlési görbék

Harangbronz lehűlése



3. Melléklet:

A hődiffúziós tényező számítása a kísérletben kapott adatokból

t (óra)	T (°C)	$\frac{x}{2 \cdot \sqrt{t}} \left(\frac{m}{\sqrt{h}} \right)$	$\frac{T_D - T}{T_D - T_F}$	$G^* \left(\frac{T_D - T}{T_D - T_F} \right)$	a	„a” átlag
0,13328	68,6	0,054783213	0,997772	0,8427	0,00422619	
0,21658	90,8	0,042975488	0,966852	0,82987	0,00268177	
0,29988	100,8	0,036522142	0,952925	0,82089	0,001979441	
0,38318	118	0,032309377	0,928969	0,81156	0,001584951	
0,46648	135,6	0,029282859	0,904457	0,79691	0,001350232	
0,54978	150,3	0,02697339	0,883983	0,78669	0,001175611	
0,63308	162	0,025136262	0,867688	0,78144	0,00103469	
0,71638	171,1	0,023629703	0,855014	0,7761	0,000927003	
0,79968	178,5	0,022365153	0,844708	0,76514	0,000854401	
0,88298	184,4	0,021284064	0,83649	0,76514	0,000773797	
0,96628	188,8	0,020345975	0,830362	0,75952	0,000717594	
1,04958	192,2	0,019521906	0,825627	0,75952	0,000660642	
1,13288	194,9	0,018790487	0,821866	0,75381	0,000621373	
1,21618	196,9	0,018135564	0,819081	0,75381	0,000578813	
1,29948	198,8	0,01754467	0,816435	0,75381	0,00054171	
1,38278	200,9	0,017008008	0,81351	0,748	0,000517016	
1,46608	201,9	0,01651776	0,812117	0,748	0,00048764	
1,54938	203	0,0160676	0,810585	0,748	0,000461423	
1,63268	204	0,015652347	0,809192	0,748	0,000437881	
1,71598	204	0,015267709	0,809192	0,748	0,000416624	
1,79928	204	0,014910102	0,809192	0,748	0,000397336	
1,88258	204	0,014576501	0,809192	0,748	0,000379755	
1,96588	204	0,014264334	0,809192	0,748	0,000363664	
2,04918	203	0,0139714	0,810585	0,748	0,00034888	
2,13248	201,9	0,013695803	0,812117	0,748	0,000335252	
2,21578	200,9	0,013435897	0,81351	0,748	0,000322649	
2,29908	198,8	0,013190248	0,816435	0,75381	0,000306184	
2,38238	197,8	0,012957597	0,817827	0,75381	0,000295478	
2,46568	196,8	0,012736838	0,81922	0,75381	0,000285496	
2,54898	194,7	0,012526991	0,822145	0,75381	0,000276166	
2,63228	192,9	0,012327186	0,824652	0,75381	0,000267426	
2,71558	191,2	0,012136646	0,827019	0,75952	0,00025534	
2,79888	189,4	0,011954677	0,829526	0,75952	0,000247741	
2,88218	187,5	0,011780655	0,832173	0,75952	0,000240581	
2,96548	185,6	0,011614018	0,834819	0,75952	0,000233823	
3,04878	183,7	0,011454258	0,837465	0,76514	0,000224105	
3,13208	181,7	0,011300914	0,840251	0,76514	0,000218145	
3,21538	179,7	0,011153569	0,843036	0,76514	0,000212494	
3,29868	177,7	0,01101184	0,845822	0,77067	0,000204166	
3,38198	175,5	0,010875381	0,848886	0,77067	0,000199137	
3,46528	173,6	0,010743872	0,851532	0,77067	0,00019435	
3,54858	171,4	0,010617021	0,854596	0,77067	0,000189788	
3,63188	169,3	0,01049456	0,857521	0,7761	0,000182849	
3,71518	167,3	0,010376241	0,860306	0,7761	0,000178749	
3,79848	165,1	0,010261836	0,86337	0,7761	0,00017483	
3,88178	163,1	0,010151133	0,866156	0,78144	0,000168748	
					0,028731931	0,000625

4. Melléklet

A HM HIM korai löveganyaga

	MEGNEVEZÉS	Jelzet	Űrméret	Hossz	MEGJEGYZÉS
1	XV. századi vas mozsár (bombarda)	-	23 cm	132 cm	Abronsos-dongás szerkezetű kovácsolt ágyú.
2	XV-XVI. századi vas szükségágyú	-	8 cm	136 cm	A készítés technikája ismeretlen, (öntött?) a csőfar hátrafelé kitört.
3	XVI. századi kovácsoltvas ágyúcső	-	7 cm	271 cm	Szokatlanul nagyméretű szakállas cső.
4	XVI. századi vas ágyúcső	-	5 cm	229 cm	A készítés technikája ismeretlen.
5	XVI. századi vas ágyúcső	2150/Pu	8 cm	371 cm	Csőtorkolatnál nyolcszög záródású, a csőcsapon X véset, a csőfar nyolcszög záródású, gyűrűs zárógombbal. A készítés technikája ismeretlen.
6	XVI. századi bronz ágyúcső	-	6 cm	236 cm	Michel Dobler által öntött 1554-ben
7	XVII. századi (török?) vas ágyúcső	-	11,5 cm	242 cm	Bal oldalán 41-es szám, a csőtorkolatnál nincs vastagítás, csőcsapok a harmadik mezőben, a 8-as és 9-es számú csövekkel azonos mintát követ
8	XVII. századi (török?) vas ágyúcső	-	11,5 cm	249 cm	Csőcsapok a harmadik mezőben, az 7-es és 9-es számú csövekkel azonos mintát követ
9	XVII. századi (török?) vas ágyúcső	-	9,5 cm	242 cm	Csőcsapok a harmadik mezőben, a csőfaron 1650 A, a csőcsapnál 1695 °N (a leltárba vétel száma)
10	XVII. századi öntöttvas ágyúcső	2143/Pu	7 cm	247 cm	Vésete szerint 36 fontos
11	XVII. századi ágyúcső	2142/Pu	8 cm	239 cm	A század végén önthették.
12	XVII. századi (?) ágyúcső	2141/Pu	7 cm		Francia stílust követő osztrák minta.
13	XVII. századi sajkás ágyú	94.3.1.	5 cm	142 cm	
14	Bronz ágyúcső	2211/Pu	5,3 cm	94 cm	Delfinek nélkül, a csövön évszám (?) 1678 (?)
15	XVIII. századi vas ágyúcső	-	12 cm	305 cm	A gyúlyuk kiégett, a csőfaron F véset, a 16-os és 17-es számú csövekkel azonos mintát követ

16	XVIII. századi vas ágyúcső	-	12 cm	303 cm	121-es szám van belevésve, a 15-ös és 17-es számú csövekkel azonos mintát követ
17	XVIII. századi vas ágyúcső	-	12 cm	301 cm	Kiégett, javított gyúlyuk, bevésve: 67 II, a 15-ös és 16-as számú csövekkel azonos mintát követ
18	oszmán-török XVII. századi bronz ágyúcső	2153/Pu	17 cm	440 cm	„Hosszú Hasszán”; 1683-as évszám arab számokkal
19	francia XVII. századi bronz ágyúcső	2154/Pu	10,6 cm	305 cm	„Narses”, 1685-ös évszámmal
20	XVIII. századi végi ágyúcső	-	12 cm	297 cm	A csőcsapon 6831, alatta CLVDE, alatta 1799
21	szárd XVIII. századi ágyúcső	-	-	356 cm	Csőgombon 3(?) – talán 32; R36017, GIACOMO ANTONIO BIANCO F A 1781, Pa 24 N°4; a gyúlyuk mellett 5934 bécsi font, csőcsapon 22 MAGGIO 1781 N°1, ULTIMA RATIO REGUM; L'ANOTOMICO
22	XVIII. századi kínai bronzágyú (2 db)	-	13,5 cm és 12 cm	330 cm és 310 cm	
23	XVIII. századi bronz ágyúcső	2140/Pu	6,5 cm	122 cm	
24	XVIII. századi bronz ágyúcső	2133/Pu	5 cm	74 cm	A csövön címer, illetve latin és német nyelvű felirat, a csővéggomb letört, delfinek nélkül;
25	XVIII. századi mozsár	-	13 cm	40 cm	
26	XVIII. századi bronz ágyúcső	2138/Pu	-	88 cm	
27	XVIII. századi vas ágyúcső	2168/Pu	-	89 cm	Csővéggomb letört
28	savoyai XVIII. századi bronz ágyúcső	2155/Pu	9,7 cm	285 cm	„EDIPO”, 1738-as évszámmal
29	osztrák XVIII. századi bronz ágyúcső	2156/Pu	15 cm	365 cm	„WIRICH DESHS”, 1726-os évszámmal
30	magyar XVIII. századi bronz ágyúcső	2157/Pu	15 cm	365 cm	Budán öntött, 1729-ben
31	modenai XVIII. századi bronz ágyúcső	2158/Pu	15 cm	355 cm	„LEONELLO”, 1752-ben öntött

32	XVIII-XIX. század fordulójáról származó bronz ágyúcső	2213/Pu	-	124 cm	TURIN (Torinói Köztársaság?)
33	XVIII-XIX. század fordulójáról származó bronz ágyúcső	-	14,5 cm	317 cm	Koronás beütőjel alatt +, 43 – 0 – 17, Nr 4, 18 fontos jelzés
34	XVIII-XIX. század fordulójáról származó bronz ágyúcső	-	14,5 cm	316 cm	Koronás beütőjel alatt +, 41 – 1 – 0, Nr 16, 18 fontos jelzés
35	XIX. század eleji francia bronz ágyúcső	2160/Pu	15 cm	353 cm	Feliratok: LE LOUIS, TURIN PARBOUQUERO CHEF DEB DART, gyúlyuknál N:4
36	Bronz ágyúcső	-	7,5 cm	109 cm	1817 WIEN Lethenyei, báró Révai László örökös turóci főispán részére; 182 fontos
37	XIX. századi Brit 56 fontos Monck-féle ágyúcső	2167/Pu	22 cm	287 cm	Koronás beütőjel, alatta P
38	XIX. századi bronz ágyúcső	-	-	106 cm	
39	XIX. századi bronz ágyúcső	2169/Pu	5 cm	66 cm	Delfinek nélkül
40	XIX. századi bronz hajóágyú cső forgóvillán	2206/Pu	-	-	Távol-keleti

5. Melléklet

A HM HIM modern löveganyaga

1	O-M 1861 M. 15 cm-es öntöttvas ütegágyúcső	2256/Pu
2	O-M 1861 M. 12 cm-es öntöttvas ütegágyúcső	2163/Pu
3	Német 12 cm-es öntöttvas ágyúcső, 19. század közepe	2164/Pu
4	Német 8 cm-es gyalogsági ágyú (19. sz. II. fele)	2199/Pu
5	O-M 37 mm-es gyalogsági ágyú (19. sz. II. fele)	1810/Pu
6	1875M 9 cm-es hátultöltő ágyúcső	2274/Pu.
7	Francia 1878 M. 80 mm-es gyalogsági ágyú	2199/Pu
8	O-M 1880 M. 15 cm-es tarack	2258/Pu
9	O-M 1880 M. 15 cm-es ágyú magasított sánclöveg-talp	2257/Pu
10	O-M 1894 M. 15 cm-es ágyú magasított sánclöveg-talp	2254/Pu
11	O-M 15 cm-es bronz ágyúcső 1896, orosz lövegtalpon	2196/Pu
12	O-M 1905/1908M 8 cm-es tábori ágyú	2083/Pu.
13	Olasz 1904 M. 75 mm-es hegyi ágyú	2139/Pu
14	Belga 7,5 cm-es tábori ágyú 1905/1908M lövegmozdonnyal	2383/PU
15	1905//1908M 8 cm-es tábori ágyú lövegmozdony	2114/pu.
16	1914M 10 cm-es tarack	2088/PU
17	1914M 10 cm-es tarackcső	2198/Pu.
18	14 R.M 8 cm-es tábori ágyú	2002.23.1.
19	1915M 7,5 cm-es hegyi ágyú lövegmozdonya	2116/Pu.
20	O-M 1915M 7,5 cm-es hegyi ágyú	2099/Pu.
21	1915M 12 cm-es mozsár cső	2230/Pu.
22	1915M 12 cm-es mozsár cső	2275/Pu.
23	1915M. 10,4 cm-es tábori ágyú	2253/Pu.
24	O-M 1915 M. 10,4 cm-es tábori ágyú	2252/Pu
25	1918 M 7 cm-es hegyi ágyú	2219/Pu
26	1915/1936 M. 7,5 cm-es hegyi ágyú	2098/Pu
27	1915/1936 M. 7,5 cm-es hegyi ágyú	2089/Pu
28	1915/1936M 7,5 cm-es hegyi ágyú lövegmozdonya	2119/Pu.
29	Lövegmozdony az 1915/36M 7,5 cm-es hegyi ágyúhoz	2120/Pu
30	1937M 10,5 cm-es fogatolt könnyű tábori tarack	2093/Pu.
31	1937M 10,5 cm-es tarack lövegmozdonya.	2113/Pu.
32	1938M 37 mm-es Skoda ágyú	0092/Pu.
33	1914/1939M 15 cm-es tarack csőkocsival	2084/2085/PU
34	1940M 10,5 cm-es könnyű tarack	2092/Pu.
35	1942M 45 mm-es kísérleti ágyúcső	2007.383.1.
36	1943M 10,5 cm-es tarack lövegmozdonya	2111/Pu.
	Szovjet típusok	
37	152 mm-es D-1 tarack	2006.39.1.
38	1931/37M 152 mm-es ágyú	2007.124.1.
39	1931/37M 152 mm-es ágyú	2007.123.1.
40	1931/37M 122 mm-es ágyú	2007.128.1.
41	1931/1937M 122 mm-es ágyú	2007.77.1.
42	1938M 122 mm-es ágyú	2007.126.1.
43	1938M 122 mm-es ágyú	2007.125.1.
44	1938M 122 mm-es tarack	2007.107.1.

45	1938M 122 mm-es tarack	2007.108.1.
46	85 mm-es D-44 hadosztályágyú	2007.100.1.
47	85 mm-es D-44 hadosztályágyú	2007.269.1.
48	85 mm-es D-44 hadosztályágyú	2010.05.01
49	85 mm-es D-44 hadosztályágyú	2007.140.1.
50	85 mm-es D-44 hadosztályágyú	2008.141.1,
51	85 mm-es D-44 hadosztályágyú	2007.104.1.
52	85 mm-es D-44 hadosztályágyú	2007.133.1.
53	85 mm-es D-44 hadosztályágyú	2003.5.1
54	85 mm-es D-44-N hadosztályágyú	2008.142.1.
55	1938/1968M 122 mm-es tarack	2003.7.1
56	1938/68M 122 mm-es tarack	2006.31.1.
57	1938/68M 122 mm-es tarack	2007.134.1.
58	1938/1968M 122 mm-es tarack	2009.7.1
59	1938/1968 M 122 mm-es tarack	2008.134.1.
60	1938/1968M 122 mm-es tarack	2003.6.1
61	152 mm-es D-1 vontatott ágyú	2007.47.1.
62	152 mm-es D-20 ágyútarack	2007.386.1.
63	152 mm-es D-20 ágyútarack	2009.6.1
64	152 mm-es D-20 ágyútarack	2007.387.1.
65	152 mm-es D-20 ágyútarack	2008.131.1.
66	152 mm-es D-20 ágyútarack	2009.37.1.
67	152 mm-es D-20 ágyútarack	2006.34.1.
68	122 mm-es 2Sz1 önjáró tarack	2007.373.1.
69	152 mm-es 2Sz3M önjáró tarack	2007.388.1.
70	152,4 mm-es 2Sz3 önjáró tarack	2007.370.1.

6. Melléklet

A brit sorhajók tűzerejének növekedése a 17-től a 19. századig [30; 347. o.]

Sorhajó osztály	Hajófedélzet	Ágyúszám 17. század (1677)	Ágyúszám 18. század (1745)	Ágyúszám 19. század (1801)
I. osztály	Tatfedélzet és orrfedélzet	12 db 6 fontos	16 db 6 fontos	8 db 12 fontos ágyú 12 db 32 fontos karronád 2 db 18 fontos karronád
	Felső ütegfedélzet	26 db 9 fontos	28 db 12 fontos	34 db 18 fontos
	Középső ütegfedélzet	26 db 18 fontos	28 db 24 fontos	34 db 24 fontos
	Alsó ütegfedélzet	26 db 32 fontos	28 db 32 fontos	34 db 32 fontos
	Összesen	90 db	100 db	120 db
	Oldalsortűz	803 font	1000 font	1516 font
II. osztály	Tatfedélzet és orrfedélzet	10 db 6 fontos	12 db 6 fontos	10 db 12 fontos
	Felső ütegfedélzet	22 db 9 fontos	26 db 12 fontos	30 db 18 fontos
	Középső ütegfedélzet	26 db 18 fontos	26 db 18 fontos	30 db 18 fontos
	Alsó ütegfedélzet	26 db 32 fontos	26 db 32 fontos	28 db 32 fontos
	Összesen	84 db	90 db	98 db
	Oldalsortűz	779 font	842 font	1048 font
III. osztály	Tatfedélzet és orrfedélzet	6 db 6 fontos	12 db 9 fontos	6 db 12 fontos ágyú 12 db 32 fontos karronád 6 db 18 fontos karronád
	Felső ütegfedélzet	22 db 9 fontos	26 db 18 fontos	28 db 18 fontos
	Alsó ütegfedélzet	22 db 18 fontos	26 db 24 fontos	28 db 32 fontos
	Összesen	50 db	64 db	74 db (+6)
	Oldalsortűz	315 font	548 font	982 font

FOGALMAK JEGYZÉKE

Atomabszorpciós spektrometria: Olyan technika, amely lehetővé teszi a mintából származó gőzállapotú atomok által elnyelt elektromágneses sugárzás mérése révén a minta egy adott eleme koncentrációjának meghatározását.

Autofrettálás: Olyan visszamaradó feszültségek keltése egy monoblokk lövegcsőben, melyek a legjobban igénybevett furatközei réteget részlegesen tehermentesítik, a kevésbé kitett külső részt pedig nagyobb terhelés alá vetik. Ezt a cső belső nyomás általi deformációja útján érik el, úgy, hogy a jobban tágult belső rétegeket a kevésbé jelentős alakváltozást szenvedett külső rész szorítja, összenyomja.

Bronz: Az általános szóhasználat szerint az ónbronzzal (réz alapfém, ón ötvöző) megnevezése.

Bucakemence: Ősi, de a 17. századra már nagyon fejlett formát is elérő kohótípus. A benne kialakuló hőmérséklet éppen elégséges a vasérc kiolvasztására, de arra már kevés, hogy a létrejövő vasat folyékonyan tartsa. Végterméke ezért a kemence alján megszilárduló szivacsos, salakos, alacsony karbontartalmú vasbuca.

Dendrit: Kristály, amely növekedése során elágazik. Az ilyen módon növekedő kristályok elágazó, fa-vagy jégcsapszerű megjelenést mutatnak. Relatív hideg felületből „nőnek ki” azaz meglátjuk arra utal, hogy a kristályosodás egy hőelvonó felületen indult meg.

Folytacél: A modern acélgyártó eljárások végterméke, a nagy mennyiségben, folyékony állapotban csapolt acél. Az első, folytacélt adó eljárás a Bessemer-féle szélfrissítés volt.

Forrasztott acél: A hagyományos acélgyártó eljárások végterméke. A bucakemencéből vagy a frisstüzekből kikerülő vasbucát, de a Cort-féle kavárókemencéből (ld: **Kavartacél**) kiemelt vasbugát is melegen át kellett kovácsolni, hengerelni, azaz a különálló darabokat egyesíteni, „összeforrasztani”.

Frisztűz: Frissítőkemence, a magaskohóból kikerülő nyersvas karbontartalmának csökkentésére. A salakágyra fektetett, faszénbe ágyazott nyersvas-darabok megolvadtak, karbontartalmuk a salakba oldódott, ezután a kemence alján megszilárdultak.

Globulit: Az ideális gömbalakot közelítő kristály. Az ilyen kristályszerkezet arra utal, hogy a fém egyenletesen, lassú hőelvonással szilárdult meg.

Kavartacél: Henry Cort 1784-ben szabadalmaztatta kemencéjét, amelynek alakja lehetővé tette, hogy olvadt nyersvas-tartalmát hosszú vasrúddal kavarják. A csökkenő karbontartalommal az olvadáspont megnőtt, az alacsonyabb széntartalmú vas a vasrúdon megszilárdult. Ezt kiemelték, és kovácsolással, hengerléssel feldolgozták.

Kovácsoltvas

Ezen a tárgyalat során olyan félgyártmányt értettek, amelyet a bucavasból vagy a finomított nyersvasból kovácsolás vagy hengerelés útján nyertek. Az ötvözet karbontartalma alapján ezeket a „vasakat” ma szerkezeti- vagy alacsony karbontartalmú szerszámacéloknak sorolnánk be.

Lunker: Gázhólyag, üreg a megszilárdult fémekben.

Mag: Az öntvény üregét, üregeit kiadó öntőformarész vagy részek.

Magaskohó: A 14. századtól elterjedő, jól átfűjtatható, a bucakemencénél jóval termelékenyebb kohótípus. Alkalmas olyan magas hőmérséklet elérésére, amelynél a kemence alján, a medencében már csapolható, olvadt nyersvas gyűlik össze. Hátránya, hogy a vas a magas hőmérsékleten a tüzelőanyagból nagy mennyiségű karbont vesz fel.

Magtámasz: A magot elmozdulás ellen biztosító, vasból (szerkezeti acél) készült tartó.

Monoblokk lövegcső: Egy anyagból kimunkált, nem összetett lövegcső.

Öntőforma: Olyan hőálló edény, amelyben a megszilárduló fém a kívánt alakot veszi fel.

Öntőminta: Az öntőforma kialakítására szolgáló, a kész öntvényhez hasonló, de a hűlés közbeni zsugorodással megnövelt méretű mintadarab.

Öntött acél: Szigorúan a történeti szempontokat figyelembe véve **tégelyacél**, amelyet öntészeti módszerekkel dolgoznak fel. Mai szóhasználatban lehet a **folytacél**ból készült öntvény anyaga is.

Öntöttvas: Magas karbontartalmú kemény, rideg, öntészeti célú (vas-karbon vagy vas-vaskarbid) vasötvözet.

Rácshiba: A fémek ideális állapotától, a tökéletes fémrácstól való eltérés, annak torzulása.

Tápfej (felöntés): A hűlő fém térfogatcsökkenését pótló anyag többlet.

Tégelyacél: Benjamin Huntsman 1740-ben feltalált módszere szerint a felhasznált alapanyagot agyagtégelyben újraolvasztotta. Az eljárás alkalmas volt az acél karbontartalmának beállítására, ötvöztetésére. Rendkívül alacsony termelékenysége csak jóval később, az 1800-as évek végén, a modern tüzelési eljárások elterjedésével nőtt ipari léptékűvé.