

Hložek, Josef; Savková, Jarmila; Volák, Josef

Několik poznámek k materiálové struktuře a mechanickým vlastnostem segmentů lamelových zbrojí

Archaeologia historica. 2016, vol. 41, iss. 1, pp. 65-85

ISSN 0231-5823 (print); ISSN 2336-4386 (online)

Stable URL (DOI): <https://doi.org/10.5817/AH2016-1-4>

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/135212>

Access Date: 30. 11. 2024

Version: 20220831

Terms of use: Digital Library of the Faculty of Arts, Masaryk University provides access to digitized documents strictly for personal use, unless otherwise specified.

NĚKOLIK POZNÁMEK K MATERIÁLOVÉ STRUKTUŘE A MECHANICKÝM VLASTNOSTEM SEGMENTŮ LAMELOVÝCH ZBROJÍ

JOSEF HLOŽEK – JARMILA SAVKOVÁ – JOSEF VOLÁK

Abstrakt: Přestože lamelové zbroje, tzv. brigantiny, patří k pokročilým typům středověkých zbrojí, postrádáme u většiny dochovaných exemplářů, torz či ojedinělých nálezů lamel informace o jejich materiálových vlastnostech, způsobu zpracování a kvalitě. Výsledky nově provedených metalografických analýz prozatím nepublikovaných železných lamel pocházejících z areálů hradů Přimdy, Landštejna a Nového Herštejna vnášá více světla do problematiky konstrukce tohoto typu zbroje a zejména pak spektra materiálů použitých k jeho výrobě.

Klíčová slova: brigantina – zbroj – středověk – hrad – metalografická analýza.

Some Notes on the Material Structure and Mechanical Properties of Lamellar Armour Plates

Abstract: Although lamellar armour known as brigandine counts among the advanced types of medieval armour, the majority of preserved specimens, their fragments and sporadic finds of lamellae do not provide information about its material properties, the manner of manufacture and quality. The results of the latest metallographic analyses of unpublished iron lamellae from the Přimda, Landštejn and Nový Herštejn castles help elucidate the construction of this type of armour and, in particular, the spectrum of materials used for its production.

Key words: brigandine – armour – Middle Ages – castle – metallographic analysis.

Úvod

Pozůstalost prof. PhDr. Tomáše Durdíka, DrSc., představuje obsáhlý soubor artefaktů reprezentující jednu z etap české kastellologie (Durdík 2007). V rámci její inventarizace a postupného zpracování byla provedena metalografická analýza 18 exemplářů lamel pocházejících z několika zbrojí nalezených v areálech hradů Přimdy (Durdík 2006; 2007), Landštejna (např. Durdík–Havlová 1990) a Nového Herštejna (Durdík–Procházka 1978; 2002; Procházka 1998; Jánský 2004). Fragmenty středověkých zbrojí patří ve srovnání s nálezy ostatních kovových předmětů k obecně méně četným archeologickým nálezům. Na mnohých lokalitách, kde by bylo možné jejich přítomnost očekávat, však nebyly jejich fragmenty doposud zachyceny (k této problematice např. Durdík 1982; Belcredi 1989; Krajc 2003; Frolík–Musil 2015). Tato skutečnost může být ovlivněna řadou faktorů: mírou poznání jednotlivých lokalit, způsobem jejich zániku (Procházka 1998, 222; Žákovský 2009, 438), spektrem archeologických transformací, kterými byly formovány (k této problematice např. Neustupný 1986, 527–531; 2007, 46–64), a v neposlední řadě také mírou poškození těchto lokalit v důsledku nelegálního působení majitelů detektorů kovů (namátkou Čížmář 2006; Kuna 2006; Smrž 2006; Baierl 2010). Železné segmenty související se segmentovou nebo kombinovanou zbrojí jsou známy nejen z obecně vyššího sociálního prostředí (např. Durdík 1984, 14). S nálezy lamel se setkáváme v různých částech hradních organismů v místech souvisejících s více či méně rozsáhlými konflikty (např. Thordeman 1940; 1940a; 2001; Procházka 1998, 222; Marek 2008), ale také v prostředí dalších sídelních aglomerací různého charakteru (pro oblast českých zemí např. Nekuda 1985, 138–139; Měchurová 1997, LII:1; Krajc 2003, 130; Kouřil 2009; Knápek 2011). Tato skutečnost koresponduje s řadou dochovaných právních omezení týkajících se měšťanů a jejich práva nosit zbraň. Na vlastnictví ani nošení zbroje se žádná taková dochovaná omezení nevztahovala (Wagner–Durdík–Drobná 1956, 53–54).

Většinu dokladů brigantin či kombinovaných zbrojí (např. Žákovský 2009) z archeologických kontextů nebo sbírek různého charakteru představují ojedinělé kovové lamely, jejich nevelké kolekcce, zlomky jednotlivých exemplářů nebo větší či menší části zbrojí. Zejména s ohledem na velmi různorodý stav dochování lamel, které tvořily součást obou typů zbrojí, a jejich tvarovou variabilitu zůstávala řada exemplářů v depozitářích sbírkotvorných organizací či v různých

sbírkách po dlouhou dobu nerozpoznána (např. Durdík 1983, 14). Na tuto skutečnost upozornil také prozatím poslední provedený soupis nálezů lamel segmentových zbrojí na našem území (Zitová 2013). Některé z kovových lamel dochovaných v rámci archeologických situací nebo prezentovaných v různých expozicích však nemusely vždy souviset jen s brigantinami. V této souvislosti je nutné upozornit také na skutečnost, že se železné či obecně kovové, např. mosazné, lamely uplatnily také při výrobě železných rukavic či bot (např. Thordeman 2001, 118). V případě tzv. kombinovaných zbrojí byly lamely různého tvaru užívány k ochraně zádových partií a boků, kde mohly být nahrazeny také kroužkovou brní, a v neposlední řadě také k ochraně slabín a partií pod úrovní pasu v podobě sukničky či šorců (Žákovský 2009, 416–419, 434 s odkazy na další literaturu). I přes poměrně pokročilé vědomosti o konstrukci, vlastnostech i míře použití různých, nejen lamelových, typů zbrojí prozatím – až na výjimky (např. Williams 1999; Starley 2005; Hošek 2003, 85; Williams 2003; 2009) – postrádáme podrobnější informace o materiálových vlastnostech jejich kovových částí.

S ohledem na soubor kladených otázek se v největší stručnosti dotkneme pouze několika souvislostí spojených s vývojem lamelové a kombinované zbroje. Ikonografické prameny, především monumentální figurální plastika (Wagner–Durdík–Drobná 1956, část II tab. 2; Žákovský 2009, 413 s přehledem literatury), ale také desková a knižní malba z území západní a střední Evropy ilustrují stoupající oblibu a význam lamelové zbroje od 13. století a zejména pak v průběhu 14. století, kdy se tento typ zbroje dále vyvíjí a stává běžnější, avšak nákladnou součástí hmotné kultury. I v průběhu 15. a dále pak v 16. století si tento typ zbroje v podobě severoitalských *corazzin*, vyrobených z velkého množství drobných lichoběžníkovitých lamel, udržel značnou oblibu (např. Thordeman 1940; 1940a; 2001; Müller 1957, 93; Blackmore 1965, 18; Blair 1979, 58; Klučina–Romaňák 1983, 155–158; Beneš 1991; 1992, 11; Kouřil–Prix–Wiholda 2000, 560; Scalini 2003). Současně s rozvojem brigantin však dochází již v průběhu 14. let 14. století (např. Gamber 1953; Žákovský 2009, 414–418) v důsledku zvětšování a stmelování použitých lamel ke vzniku kombinovaných zbrojí sestávajících z celoplátového kyrsu kombinovaného s dalšími, především lamelami tvořenými segmenty chránícími břišní a zádové partie, boky a též partie pod úrovní pasu. Další vývoj se od závěru 14. století ubírá směrem k celoplátovým kyrsům kryjícím hrud' i břišní partie. Tyto kyrsy byly doplněny o další ochranu tvořenou plátovými segmenty kryjícími částí zádových partií, lamelami různého charakteru či kroužkovou brní. I u těchto zbrojí se uplatnilo, podobně jako u lamelové zbroje, potažení jejich povrchu textilií (Žákovský 2009, 421 s přehledem evropské literatury a širších souvislostí). V následujícím období vývoj směřoval již k celoplátovým zbrojím.

Metalografický rozbor a charakteristika souboru hodnocených lamel

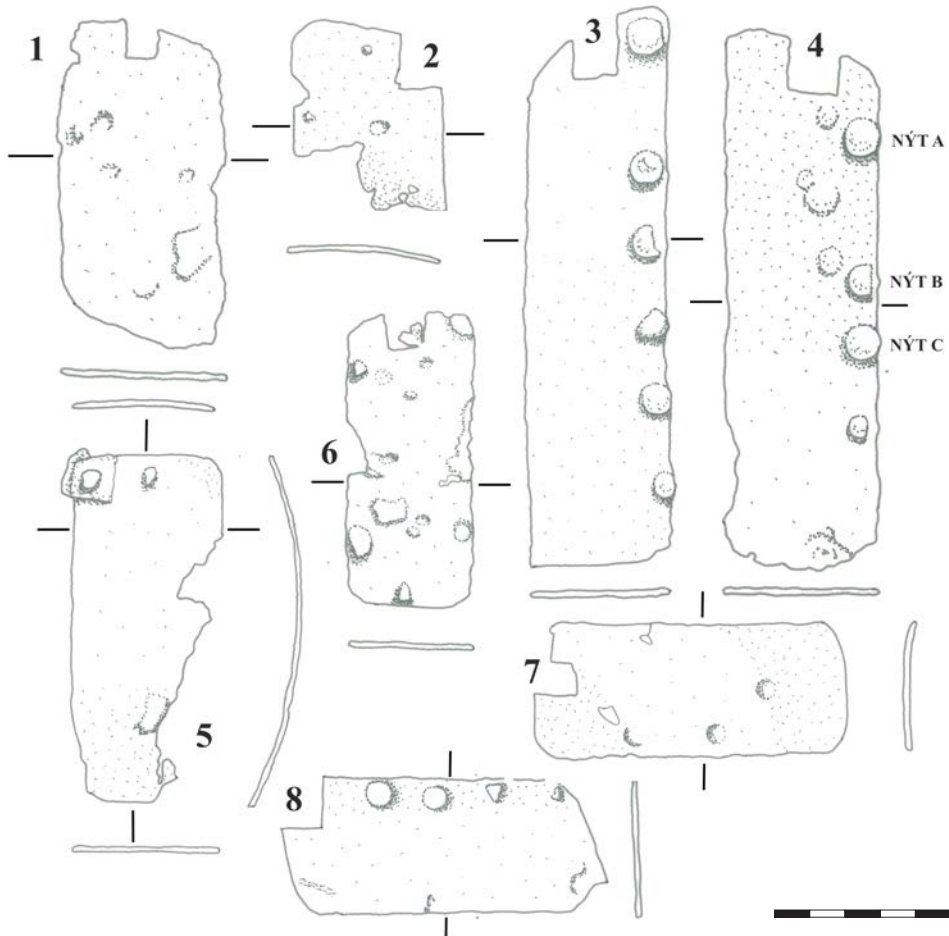
Soubor železných lamel byl podroben základní metalografické analýze s cílem vytvoření přehledu materiálů použitých k výrobě brigantin a jejich vlastností. Při hodnocení jednotlivých lamel byl přednostně odebrán materiál z jejich okraje tak, aby byla možná zpětná rekonstrukce jednotlivých exemplářů a nedošlo k jejich znehodnocení pro další výstavní účely (viz tab. 1 a 2). Záměrně pak nebyly do souboru hodnocených lamel zařazeny exempláře pocházející z požárem zaniklého manského domu hradu Křivoklátu (např. Durdík 1988; 1995). Intenzivní zánikový požár mohl významnou měrou ovlivnit strukturní vlastnosti použitého materiálu. Příkladem může být krojidlo pluhu nalezené v požárem zaniklé usedlosti středověké vesnice Sloupek na Rokycansku. Materiálové vlastnosti krojidla byly ovlivněny nejen přímým působením vysokého žáru, ale také velmi pozvolným chladnutím v požárovém horizontu. Tento proces nejspíše zapříčinil vznik Widmannstättenovy struktury na povrchu krojidla (Hložek–Savková–Vařeka v přípravě).

Odebraný materiál byl dělen na přesné pomaloběžné pile Buehler IsoMet LS s použitím diamantového kotouče o tloušťce 0,3 mm. Výbrusy vzorků byly připraveny běžnými postupy, zahrnujícími zalití za studena, broušení za mokra, leštění diamantovými pastami a leptání Nitalem. Mikrostruktura byla dokumentována pomocí optických mikroskopů Nikon Epiphot 200 a Nikon SMZ800 a 3D optického mikroskopu Hirox KH8700. Identifikace prvkového složení

jednotlivých strukturálních částí separovaných vzorků bylo provedeno na skenovacím mikroskopu FEI Quanta 200 ve spojení s EDS detektorem EDAX s využitím plošné a bodové analýzy. Hodnocení mikrotvrdosti strukturálních částí dle Vickerse bylo prováděno na tvrdoměru Buehler 2100 při zatížení 2,942 N ($HV_{0,3}$).

Předmětem zájmu pak bylo nejen materiálové složení lamel, ale také místa jejich spojů pomocí nýtů vykazujících různé vlastnosti i povrchové úpravy, jež mají mimo jiné i vliv na estetické kvality zbroje.

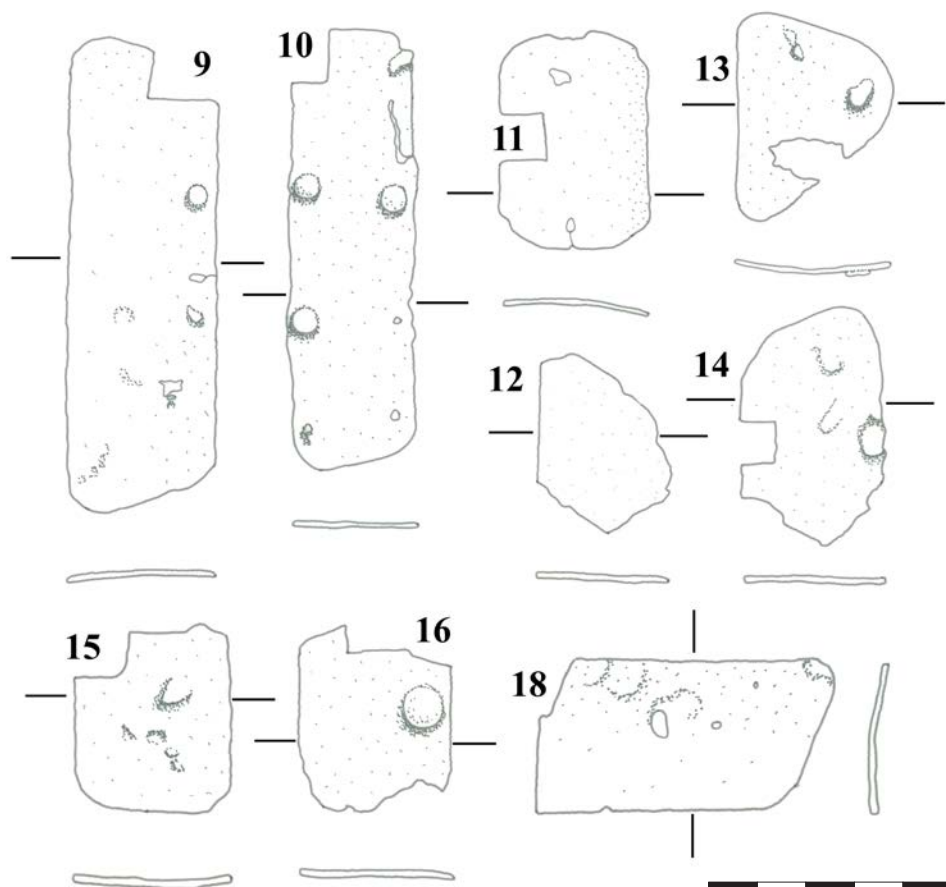
Prvkové složení¹ povrchové úpravy některých nýtů bylo provedeno metodou XRF. Pro analýzu byl použit přenosný spektrometr XL3t 980 GOLDD vyrobený firmou Niton (USA). Spektrometr je vybaven rentgenkou (X-ray generator) 50 kV/2,0 W se stříbrnou anodou. Jednotlivá měření probíhala v základním továrním nastavení přístroje v režimu „general metals“ s nastavením kolimátoru (collimator) v režimu „small spot“ o průměru 3 mm a celkovou dobou měření 45 sekund. Spektrometr byl upevněn v pracovním stolku „Thermo Scientific Smart Stand“, který



Tab. 1. Kolekce hodnocených brigantin. Čísla jednotlivých lamel odpovídají číslování lamel v textu. Na lamelách jsou patrná místa po odběru vzorků materiálu. Kresba H. Krasanovská.

Taf. 1. Kollektion der ausgewerteten Brigantinen. Die Ziffern der einzelnen Lamellen entsprechen der Nummerierung der Lamellen im Text. An den Lamellen sind die Entnahmestellen der Materialproben zu erkennen. Zeichnung H. Krasanovská.

¹ Za provedení měření děkujeme PhDr. Janu Maříkovi, Ph.D., z Archeologického ústavu AV ČR, Praha, v. v. i.



Tab. 2. Kolekce hodnocených brigantin. Číslo jednotlivých lamel odpovídají číslování lamel v textu. Na lamelách jsou patrná místa po odběru vzorků materiálu. Kresba H. Krasanovská.

Taf. 2. Kollektion der ausgewerteten Brigantinen. Die Ziffern der einzelnen Lamellen entsprechen der Nummerierung der Lamellen im Text. An den Lamellen sind die Entnahmestellen der Materialproben zu erkennen. Zeichnung H. Krasanovská.

zajišťoval stabilní vzdálenost jednotlivých vzorků od přístroje. Povrch měřených hlav nýtů vykazujících povrchovou úpravu byl očištěn při standardní konzervaci. Další zvláštní úpravy povrchu nebyly před měřením prováděny.

Odolnost hodnocených lamel s dostatečně dochovaným kovovým jádrem byla testována prostřednictvím *Small Punch Testu*. Jde o relativně novou metodu vhodnou ke stanovování materiálových charakteristik (mez pevnosti, kluzu, deformace atd.) zejména u materiálů, které jsou k dispozici v omezeném množství. Podstatou metody je protlačování disku průměru 8 mm, nejčastěji tloušťky $0,5 \text{ mm} \pm 0,005$, kuličkou o průměru 2,5 mm. Výsledkem testu je stanovení vztahu síla vs. deformace. Vzorky byly vyrobeny na drátořezu bez tepelného ovlivnění. Následně byly podrobeny metalografickému broušení na finální rozměr. Poté byly realizovány jednotlivé testy (obr. 14).

Popis lamel a jejich metalografické hodnocení

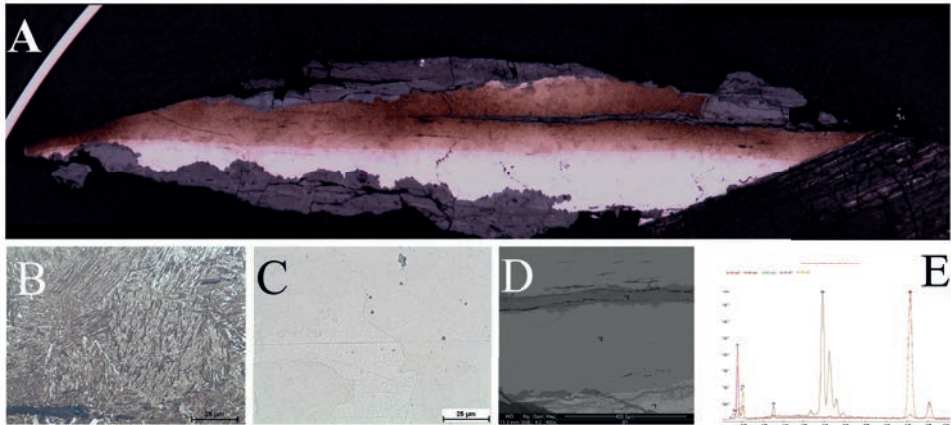
Hodnocený soubor obsahuje 18 exemplářů železných lamel různého tvaru s různým počtem dochovaných nýtů. I přes stabilní a pevný povrch hodnocených lamel nebylo ve všech případech dochováno jejich kovové jádro, nebo jeho velmi špatná míra dochování neumožňovala metalografické vyhodnocení.

Lamela č. 1 (tab. 1, obr. 1)Lokalita/rok: Přimda²

Rozměry a hmotnost: 73 × 38 mm; tloušťka 2 mm; prohnutí 11 mm; hmotnost 22 g

Popis: Jednostranně zkosená lamela se zaoblenými rohy, při okraji jeden nýt bez hlavy.

Metalografický rozbor: Lamela je složena ze dvou materiálů o přibližně stejném podílu. Přečtová oblast se nachází zhruba v polovině tloušťky lamely. Materiál v horní části je tvořen martenzitickými jehlicemi, vměstkovitost je relativně nízká, nitkovitého tvaru ve směru kolmém na tváření, s výjimkou vkovaného zoxidovaného pásu; spodní část lamely je tvořena hrubozrnným feritem s malým podílem vměstků. Korozní napadení okraje lamely je relativně výrazné. Výhradně v okolí nýtu byly na povrchu lamely zaznamenány stopy cínu. Tvrdost: martenzitická část – 440 HV_{0,3}, feritická část – 185 HV_{0,3}.



Obr. 1. Lamela 1. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nitalem; B – martenzitická struktura (horní část lamely); C – hrubozrnný ferit (dolní část lamely); D – analyzovaná oblast EDX v materiálovém kontrastu; E – EDX analýza složení – cín na povrchu lamely. Foto J. Savková.

Abb. 1. Lamelle 1. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – martenzitische Struktur (oberer Lamellenteil); C – grobkörniges Ferrit (unterer Lamellenteil); D – Analysierter EDX-Bereich im Materialkontrast; E – EDX-Analyse der Zusammensetzung – Zinn auf der Lamellenoberfläche. Foto J. Savková.

Lamela č. 2 (tab. 1, obr. 2)

Lokalita/rok: Nový Herštejn 1977

Rozměry a hmotnost: šířka 40 mm; tloušťka 1,8 mm; prohnutí není možné hodnotit kvůli částečné deformaci lamely; hmotnost 11 g

Popis: Neúplná pravděpodobně obdélná lamela se zaoblenými rohy, při okrajích dva nýty bez hlavy.

Metalografický rozbor: Povrch lamely vykazuje pokročilý stupeň koroze. Kovové jádro lamely je tvořeno hrubozrnným feritem bez přítomnosti vměstků. Tvrdost: 100 HV_{0,3}.



Obr. 2. Lamela 2. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nitalem; B – hrubozrnný ferit. Foto J. Savková.

Abb. 2. Lamelle 2. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – grobkörniges Ferrit. Foto J. Savková.

² Bez uvedení data nálezů.

Lamela č. 3 (tab. 1, obr. 3)

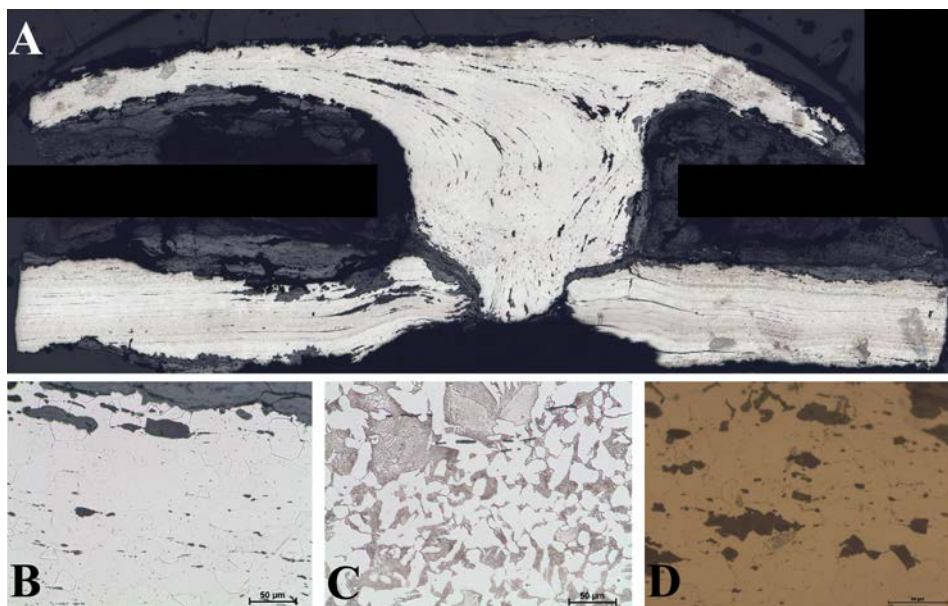
Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 150 × 36 mm; tloušťka 1,5 mm; prohnutí 17 mm; hmotnost 50 g

Popis: Jednostranně zkosená lamela se zaoblenými rohy, při okraji šest nýtů s hlavou o průměru 10–13 mm. Jeden nýt v řadě patrně chybí.

Metalografický rozbor: Mikrostruktura lamely je tvořena dvěma oblastmi – středovým pásem s feriticko-perlitickou strukturou a okraji tvořenými hrubozrnným feritem. Celkově lamela vykazuje vyšší vměstkovitost podélného i kulovitého tvaru. Nýt byl tvořen hrubozrnným feritem.

Tvrдость: lamela – 214–240 HV_{0,3}, nýt – 133 HV_{0,3}.



Obr. 3. Lamela 3. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nitalem; B – hrubozrnný ferit (lamela); C – feriticko-perlitická struktura (středový pás lamely); D – hrubozrnný ferit (nýt). Foto J. Savková.

Abb. 3. Lamelle 3. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – grobkörniges Ferrit (Lamelle); C – ferritisch-perlitische Struktur (Mittelstreifen der Lamelle); D – grobkörniges Ferrit (Niete). Foto J. Savková.

Lamela č. 4 (tab. 1, obr. 4)

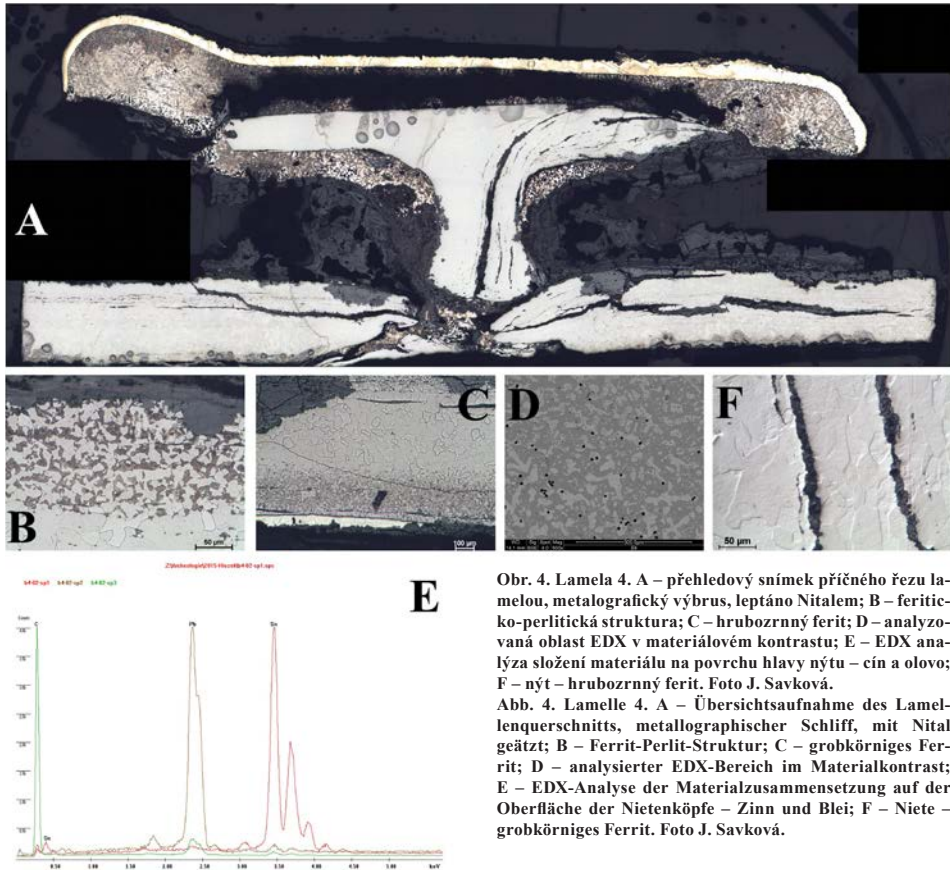
Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 128 × 37 mm; tloušťka 1,5 mm; prohnutí není možné hodnotit kvůli deformaci; hmotnost 46 g

Popis: Jednostranně zkosená lamela se zaoblenými rohy, při okraji jeden nýt s odlomenou hlavou a čtyři nýty s hlavou potaženou vrstvou tvořenou slitinou mědi o průměru 10–11 mm. Jeden nýt byl odebrán jako součást metalografického vzorku.

Metalografický rozbor: Lamela je tvořena dvěma materiály – ve středních partiích hmoty lamely byl zaznamenán jemnozrnný ferit, na povrchu ferit s vyloučeným perlitem na hranicích zrn. Oba materiály jsou odděleny korozní vrstvou. Zachovalý a v podobě vzorku odebraný nýt je tvořen hrubozrnným feritem s hlavou pokrytou cínovým bronzem. Hlava nýtu je finálně pokryta vrstvou tvořenou slitinou mědi, resp. mosazí. XRF měření bylo provedeno u všech tří finálně upravených nýtů na lamele: Nýt 1 – Cu 77,18 hm. %; Zn 17,77 hm. %; Sn 1,64 hm. %; Ti 1,08 hm. %; ostatní 2,33 hm. %; Nýt 2 – Cu 77,40 hm. %; Zn 17,14 hm. %; Sn 2,18 hm. %; ostatní 3,28 hm. %; Nýt 3 – Cu 76,64 hm. %; Zn 16,8 hm. %; Sn 3,58 hm. %; Pb 0,87 hm. %; ostatní 2,11 hm. %.

Tvrдость: lamela – 118 HV_{0,3}, nýt – 213 HV_{0,3}.



Obr. 4. Lamela 4. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metallografický výbrus, leptáno Nitalem; B – feritiko-perlitická struktura; C – hrubozrnný ferit; D – analyzovaná oblast EDX v materiálovém kontrastu; E – EDX analýza složení materiálu na povrchu hlavy nýtu – cín a olovo; F – nýt – hrubozrnný ferit. Foto J. Savková.

Abb. 4. Lamelle 4. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – Ferrit-Perlit-Struktur; C – grobkörniges Ferrit; D – analysierter EDX-Bereich im Materialkontrast; E – EDX-Analyse der Materialzusammensetzung auf der Oberfläche der Nietenköpfe – Zinn und Blei; F – Niete – grobkörniges Ferrit. Foto J. Savková.

Lamela č. 5 (tab. 1, obr. 5)

Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 98 × 42 mm; tloušťka 1,1 mm; prohnutí 12 mm; hmotnost 26 g

Popis: Obdélná lamela se zaoblenými rohy a třemi nýty velmi poškozenými korozi s hlavou o průměru 7–11 mm. V rohu spojuje nýt dvě lamely. Přinýtovaná lamela dochována pouze v podobě malého, od zbývající části lamely odlomeného fragmentu.

Metallografický rozbor: Materiál lamely je tvořen feritickou ocelí s drobnými vměstkami kulovitěho až nitkovitého tvaru přibližně v třetině tloušťky materiálu lamely. Tvrdost: 160 HV_{0,3}.



Obr. 5. Lamela 5. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metallografický výbrus, leptáno Nitalem; B – hrubozrnný ferit. Foto J. Savková.

Abb. 5. Lamelle 5. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – grobkörniges Ferrit. Foto J. Savková.

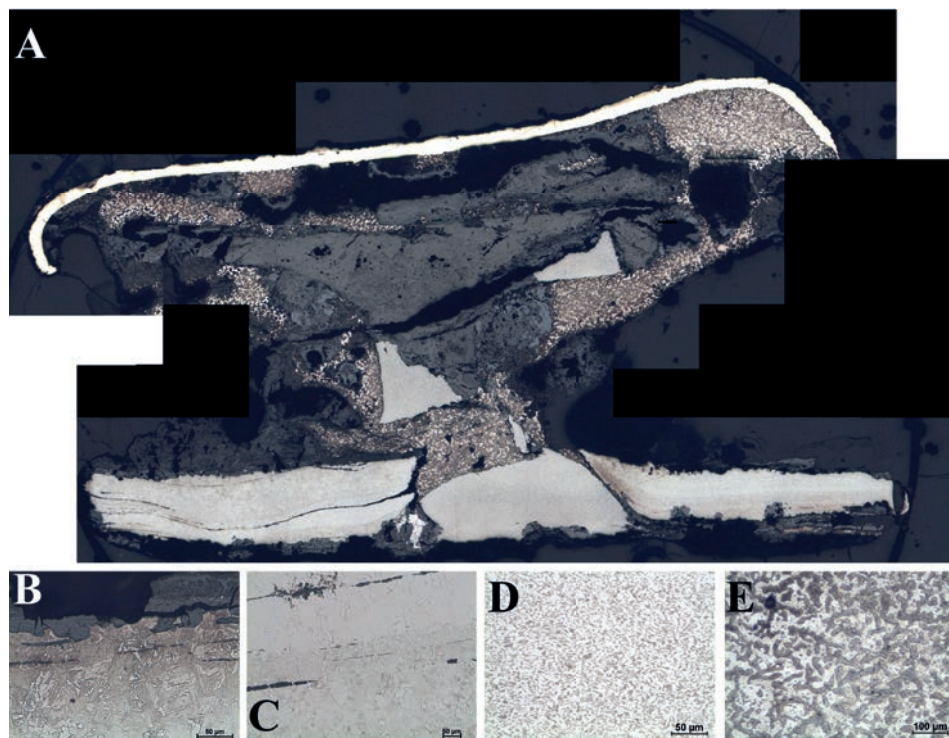
Lamela č. 6 (tab. 1, obr. 6)

Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 87 × 30 mm; tloušťka 1,1 mm; prohnutí 7 mm (lamela je mírně deformovaná); hmotnost 26 g

Popis: Obdélná lamela se zaoblenými rohy a se třemi nýty s hlavou o průměru 6–11 mm. Dvě hlavy nýtu potaženy kompaktní vrstvou tvořenou slitinou mědi, resp. mosazí. Na hlavě třetího nýtu je patrné potažení mosazí pouze v podobě špatně zřetelných stop.

Metalografický rozbor: Materiál lamely je ve středové části tvořen hrubozrnným feritem s hrubými nitkovitými vměstky, okrajové části lamely mají martenzitickou strukturu. Odebraný nýt vykazuje feriticko-perlitickou mikrostrukturu, hlava nýtu je pokryta cínovým bronzem. Nýty byly finálně překryty vrstvou tvořenou slitinou mědi, resp. mosazí (Cu 73,61 hm. %; Zn 19,99 hm. %; Sn 1,56 hm. %; Ti 1,73 hm. %; ostatní 3,11 hm. %). Tvrdost: lamela – 156 HV_{0,3}, nýt – 192 HV_{0,3}, povrch hlavy nýtu – 10 HV_{0,3}.



Obr. 6. Lamela 6. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nitalem; B – martenzitická struktura (okraj lamely); C – hrubozrnný ferit (střed lamely); D – jemnozrnná feriticko-perlitická mikrostruktura; E – cínový bronz na povrchu železného nýtu pod finální úpravou. Foto J. Savková.

Abb. 6. Lamelle 6. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – martensitische Struktur (Lamellenrand); C – grobkörniges Ferrit (Lamellenmitte); D – feinkörnige ferritisch-perlitische Mikrostruktur; E – Zinnbronze auf der Oberfläche der Eisenniete unter der Endbehandlung. Foto J. Savková.

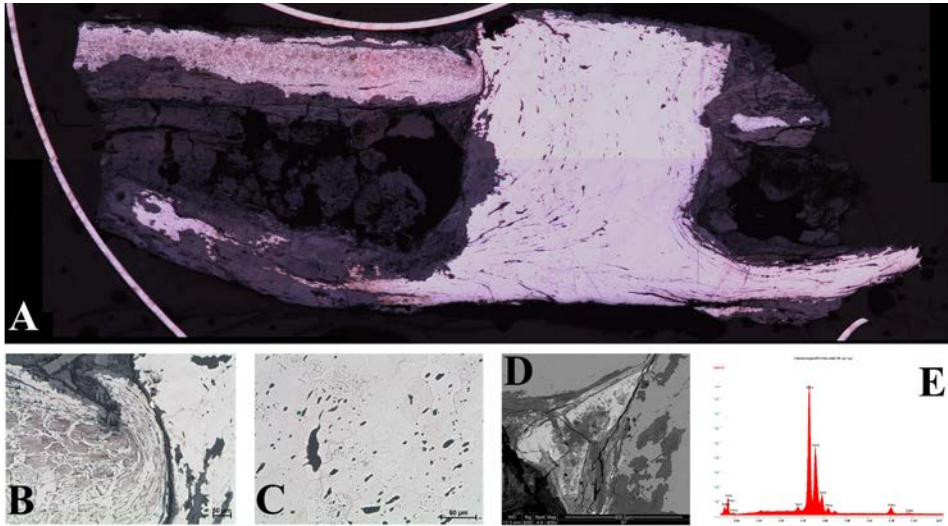
Lamela č. 7 (tab. 1, obr. 7)

Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 92 × 39 mm; tloušťka 1,5 mm; prohnutí 9 mm; hmotnost 22 g

Popis: Obdélná oboustranně prohnutá lamela se zaoblenými rohy patrně s korozi poškozeným otvorem pro nýt pocházející zřejmě z pasové oblasti brigantiny. Jeden nýt, dochovaný při okraji lamely, byl odebrán v rámci vzorku pro metalografickou analýzu.

Metalografický rozbor: Materiál lamely je tvořen feriticko-perlitickou ocelí, s feritem vyloučeným po kraji perlitu, lamela obsahuje několik hrubších podélných vměstků. Na rozhraní tvořeném okrajem lamely a tělem nýtu je viditelná deformace způsobená mechanickým namáháním. Zachovaný nýt je tvořen hrubozrnným feritem s vysokou vměstkovitostí převážně nitkovitého tvaru. Nýt byl pravděpodobně potažen cínem, dochovaným pouze na styku mezi lamelou a tělem nýtu (viz obr. 1). Tvrdost: lamela – 282 HV_{0,3}, nýt – 269 HV_{0,3}.



Obr. 7. Lamela 7. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nitalem; B – feriticko-perlitická struktura (lamela); C – hrubozrnný ferit (nýt); D a E – EDX analýza složení – cín na rozhraní lamely a nýtu. Foto J. Savková. Abb. 7. Lamelle 7. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – feritisch-perlitische Struktur (Lamelle); C – grobkörniges Ferrit (Niete); D und E – EDX-Analyse der Zusammensetzung – Zinn an der Nahtstelle von Lamelle und Niete. Foto J. Savková.

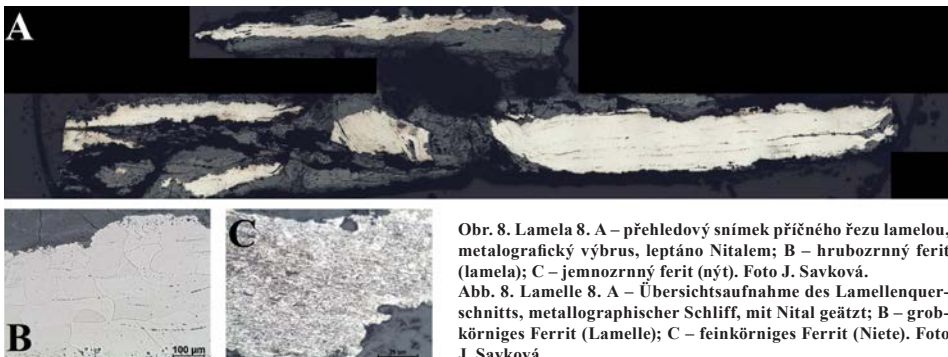
Lamela č. 8 (tab. 1, obr. 8)

Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: šířka 38 mm; tloušťka 1,6 mm; prohnutí 5 mm; hmotnost 25 g

Popis: Lichoběžníková oboustranně prohnutá lamela se zaoblenými rohy a pěti nýty při okraji. Hlavy dvou nýtů o průměru 7,5–8 mm, hlavy dvou nýtů částečně při okrajích odlámané. Jeden nýt odebrán v rámci vzorku.

Metalografický rozbor: Materiál lamely je tvořen hrubozrnným feritem s velkými vměstkami kulovitého nebo oválného tvaru. Nýt je výrazně zkorodován, mikrostruktura je feritická s jemným zrnem deformovaným ve směru tváření. Tvrdost: lamela – 176 HV_{0,3}, nýt – 306 HV_{0,3}.



Obr. 8. Lamela 8. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nitalem; B – hrubozrnný ferit (lamela); C – jemnozrnný ferit (nýt). Foto J. Savková.

Abb. 8. Lamelle 8. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – grobkörniges Ferrit (Lamelle); C – feinkörniges Ferrit (Niete). Foto J. Savková.

Lamela č. 9 (tab. 2, obr. 9)

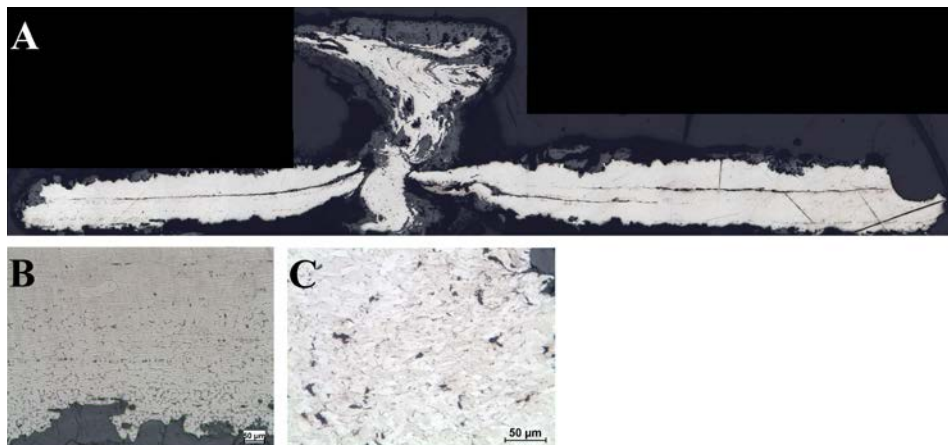
Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 136 × 41 mm; tloušťka 1,2 mm; prohnutí 18 mm; hmotnost 36 g

Popis: Lichoběžníková lamela se zaoblenými rohy a třemi nýty s hlavou o průměru 7–8 mm.

Jeden nýt odebrán jako součást metalografického vzorku.

Metalografický rozbor: Materiál lamely sestává ze dvou materiálů – jemnozrnného a hrubozrnného feritu. Kovářský svar prochází středem lamely. Podél svaru jsou patrné jemné kulovité a oválné vměstky. Nýt je tvořen feritickou ocelí s perlitem vyloučeným po hranicích zrn. Zrna jsou deformována ve směru tváření materiálu nýtu. Tvrdost: lamela – 180 HV_{0,3}, nýt – 282 HV_{0,3}.



Obr. 9. Lamela 9. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nítalem; B – přechod hrubozrnný/jemnozrnný ferit; C – feritická ocel s perlitem vyloučeným po hranicích zrn. Foto J. Savková.

Abb. 9. Lamelle 9. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – Übergang grobkörniges/feinkörniges Ferrit; C – ferritischer Stahl mit an der Korngrenze ausgeschiedenem Perlit. Foto J. Savková.

Lamela č. 10 (tab. 2, obr. 10)

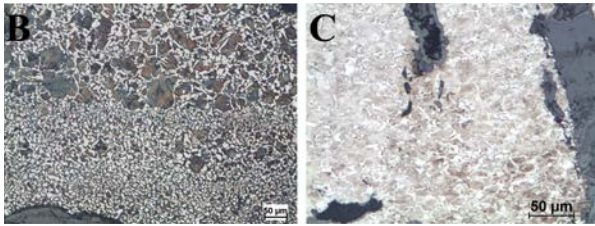
Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 121 × 35 mm; tloušťka 1,6 mm; prohnutí 6 mm; hmotnost 29 g

Popis: Jednostranně zkosená lamela se zaoblenými rohy a pěti nýty při okrajích. Čtyři nýty s hlavou o průměru 8–11 mm, jedna hlava nýtu odlomena. Při okraji lamely jsou patrné další dva otvory pro nýty.

Metalografický rozbor: Materiál lamely je tvořen jemnozrnnou a hrubozrnnou feriticko-perlitickou ocelí s nitkovými vměstky. V jemnozrnné oblasti je zřetelný perlit vyloučený po hranicích zrn. V hrubozrnné oblasti jsou viditelná velká perlitická zrna. Nýt vykazuje feriticko-perlitickou mikrostrukturu s perlitem vyloučeným po hranici zrn. Nýt je značně napaden korozí. Tvrdost: lamela – 248 HV_{0,3}, nýt – 270 HV_{0,3}.





Obr. 10. Lamela 10. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nitalem; B – feriticko-perlitická struktura (rozhraní mezi jemnozrnnou a hrubozrnnou částí); C – feriticko-perlitická mikrostruktura s feritem vyloučeným po hranici zrn. Foto J. Savková.

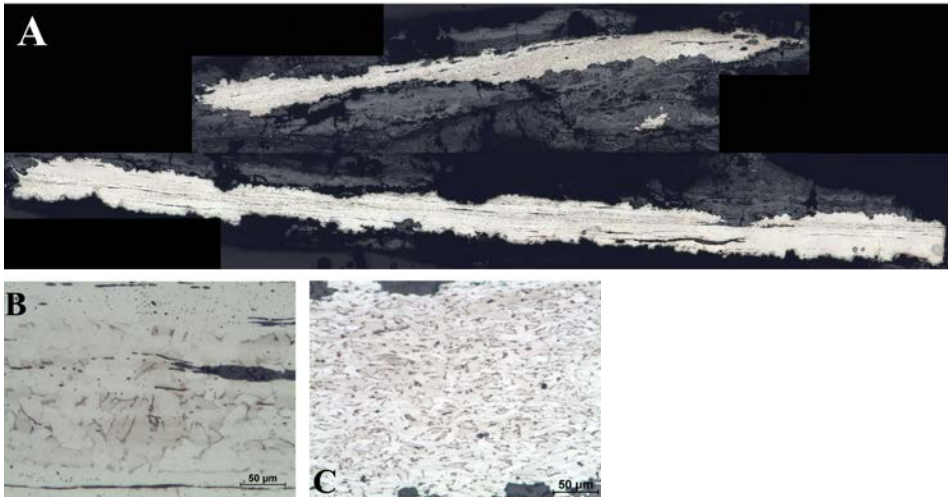
Abb. 10. Lamelle 10. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt; B – ferritisch-perlitische Struktur (Nahtstelle zwischen feinkörnigem und grobkörnigem Teil); C – ferritisch-perlitische Mikrostruktur mit an der Korngrenze ausgeschiedenem Ferrit. Foto J. Savková.

Lamela č. 11 (tab. 2, obr. 11)

Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 60 × 42 mm; tloušťka 1,1 mm; oboustranné prohnutí 8 mm; hmotnost 12 g
 Popis: Obdélná lamela pocházející nejspíš z pasové partie brigantiny, se zaoblenými rohy a dvěma otvory pro nýty.

Metalografický rozbor: Lamela je tvořena hrubozrnným a jemnozrnným feritem s vyloučeným perlitem po hranicích zrn. Jemné nitkovité vměstky byly zaznamenány v obou materiálech. Ve feriticko-perlitické části je jich větší množství. Tvrdost: lamela–180 HV_{0,3}, nýt–224 HV_{0,3}.



Obr. 11. Lamela 11. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nitalem. B – ferit s perlitem vyloučeným po hranicích zrn (lamela); C – deformovaný jemnozrnný ferit s perlitem vyloučeným po hranicích zrn (nýt). Foto J. Savková.

Abb. 11. Lamelle 11. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt. B – Ferrit mit an der Korngrenze ausgeschiedenem Perlit (Lamelle); C – verformtes grobkörniges Ferrit mit an der Korngrenze ausgeschiedenem Perlit (Niete). Foto J. Savková.

Lamela č. 12 (tab. 2)

Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: tloušťka 1 mm; prohnutí není možné hodnotit kvůli špatnému stavu dochování lamely; hmotnost 8 g

Popis: Fragment lamely neurčitelného tvaru patrně se zaoblenými rohy bez dalších detailů.

Metalografický rozbor: Lamela nemá zachované kovové jádro.

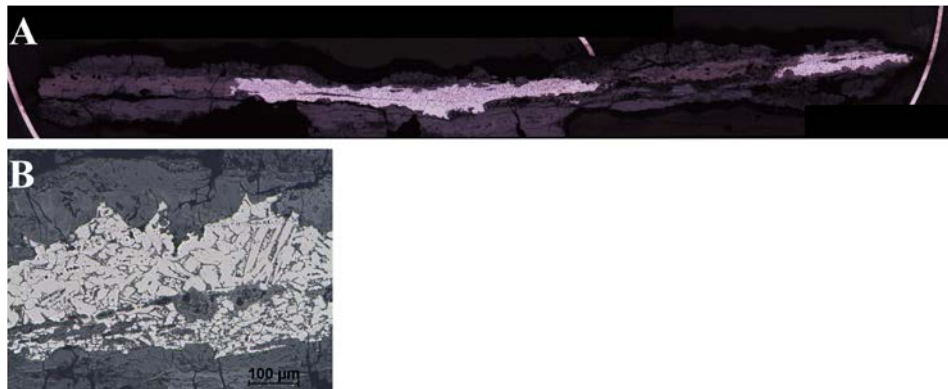
Lamela č. 13 (tab. 2, obr. 12)

Lokalita/rok: Landštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 59 × 60 × 50 mm; tloušťka 1,2 mm; prohnutí 4 mm; hmotnost 10 g

Popis: Trojúhelníková lamela se zaoblenými rohy a dvěma nýty. Jeden nýt se zachovalou hlavou o průměru 10 mm.

Metalografický rozbor: Lamela je tvořena hrubozrnným feritem s perlitem vyloučeným po hranicích zrn. Materiál obsahuje několik hrubších vměstků podélného tvaru. Lamela vykazuje pokročilý stupeň koroze, zachován zůstal velmi malý objem kovu, který neumožňuje relevantní metalografické hodnocení.



Obr. 12. Lamela 13. A – přehledový snímek příčného řezu lamelou, metalografický výbrus, leptáno Nitalem. B – hrubozrnný ferit s perlitem vyloučeným po hranicích zrn. Foto J. Savková.

Abb. 12. Lamelle 13. A – Übersichtsaufnahme des Lamellenquerschnitts, metallographischer Schliff, mit Nital geätzt. B – grobkörniges Ferrit mit an der Korngrenze ausgeschiedenem Perlit. Foto J. Savková.

Lamela č. 14 (tab. 2)

Lokalita/rok: Nový Herštejn 1977

Rozměry a hmotnost: šířka 38 mm; tloušťka 1,8 mm; prohnutí není možné hodnotit kvůli špatnému stavu dochování; hmotnost 12 g

Popis: Neúplná patrně jednostranně zkosená lamela se zaoblenými rohy a dochovaným nýtem s odlomenou hlavou. Nýt odebrán v rámci metalografického vzorku.

Metalografický rozbor: Lamela ani nýt nemají zachované kovové jádro.

Lamela č. 15 (tab. 2)

Lokalita/rok: Nový Herštejn 1977

Rozměry a hmotnost: šířka 35 mm; tloušťka 1,6 mm; prohnutí není možné hodnotit kvůli špatnému stavu dochování; hmotnost 8 g

Popis: Fragment nejspíše obdélné, nebo jednostranně zkosené lamely se zaoblenými rohy bez dalších detailů.

Metalografický rozbor: Lamela nemá zachované kovové jádro.

Lamela č. 16 (tab. 2)

Lokalita/rok: Nový Herštejn 1977

Rozměry a hmotnost: šířka 38 mm; tloušťka 1,5 mm; prohnutí není možné hodnotit kvůli špatnému stavu dochování; hmotnost 14 g

Popis: Fragment nejspíše obdélné, nebo jednostranně zkosené lamely se zaoblenými rohy a dvěma nýty s hlavou o průměru 1,1–1,2 mm.

Metalografický rozbor: Kovové jádro lamely i nýtu není dochované v hodnotitelném stavu.

Lamela č. 17

Lokalita/rok: Nový Herštejn 1977

Rozměry a hmotnost: rozměry neúplné; tloušťka 1,8 mm (silně zkorodovaný povrch); prohnutí není možné hodnotit; hmotnost 8 g

Popis: Neúplná silně zkorodovaná pravděpodobně trojúhelníková lamela se zaoblenými rohy a dvěma nýty bez hlavy.

Metalografický rozbor: Lamela nemá zachované kovové jádro.

Lamela č. 18 (tab. 2)

Lokalita/rok: Nový Herštejn 1977

Rozměry a hmotnost: 70 × 35 mm; tloušťka 1,5 mm; prohnutí 4 mm; hmotnost 14 g

Popis: Neúplná patrně jednostranně zkosená lamela se zaoblenými rohy bez dalších detailů. V případě tří otvorů není možné s určitostí rozhodnout, zda jde o korozi poškozené otvory pro nýty, nebo o otvory vzniklé pokročilou hloubkovou korozi.

Metalografický rozbor: Lamela nemá zachované kovové jádro.

Hodnocení formálních znaků lamel

S výjimkou lamel z hradu Nového Herštejna jde o nestratifikované nálezy, které neumožňují bližší časové zařazení (Durdík 1983, 14). Kolekce lamel pocházející z Nového Herštejna byla získána při archeologickém výzkumu v letech 1973–1976. V rámci dokumentačních prací byl rozšířen starší neodborný výkop provedený kdyňským učitelem (Durdík–Procházka 1978, 2) při vnitřní stěně bašty zajišťující východní stranu hradního areálu (Durdík–Procházka 1978; Procházka 1998, 220). V rámci sondy došlo také k částečnému odkryvu severní zdi mladší budovy přiložené k obvodové hradbě zajištěné na vnější straně polookrouhlou věžicí, zvané Panenská bašta, zajišťující první bránu a přístupovou komunikaci mezi první a druhou bránou (Procházka 1998, 222). V komunikačně méně vytiženém koutu tvořeném nádvorní zdí bašty se zazděným vstupem a severní zdí mladší budovy (obr. 14) došlo v průběhu první poloviny 15. století ke kumulaci vrstev tvořených životními nečistotami a dochovala se část destrukce roubené nástavby mladší stavby. Tato situace byla překryta zánikovým horizontem hradu z doby po roce 1475. V souvrství tvořeném vrstvami II, III a IV (Durdík–Procházka 1978, 47–49; Procházka 1998, 217, obr. 20) byla nalezena kolekce čítající 56 kusů železných lamel zbroje různé velikosti, která představovala první stratifikovaný soubor fragmentů lamelové zbroje v Čechách (Durdík–Procházka 1978, 42).³ Soubor sestával ze čtyř kusů o rozměrech 1,3 × 2 cm, čtyř kusů o rozměrech 4 × 2,5 cm, dvou kusů o rozměrech 4,5 × 25 cm⁴, jednoho kusu o rozměrech 4 × 4,5 cm, dvaceti kusů o rozměrech 7 × 4,5 cm a dalších, převážně neúplných lamel v pokročilém stadiu koroze (Durdík–Procházka 1978, 23, 39 a 43; Procházka 1998, 222). S ohledem na koncentraci lamel na velmi omezeném prostoru by bylo možné s velkou opatrností spíše spekulovat o možnosti, že by nalezený soubor lamel mohl představovat torzo jediné zbroje. V pozůstalosti T. Durdíka se však z této kolekce nachází pouze malý zlomek. Tato spekulace tedy nejspíše zůstane nepotvrzená. Ostatní lamely jsou nezvěstné. Nelze ovšem vyloučit, že k jejich ztrátě mohlo dojít při povodních v roce 2002, kdy byla značně poničena pracovna T. Durdíka situovaná v přízemí Archeologického ústavu. Při povodních došlo k nemalým ztrátám nejen na dokumentaci pořízené T. Durdíkem, ale také na zde uložených artefaktech. Dochované lamely se pak staly součástí této práce.

Ze souboru hodnocených lamel nepochybně pocházejících z několika zbrojí⁵ ze tří hradních lokalit umožňují bližší dataci pouze lamely z hradu Nového Herštejna. Čtyři exempláře představují jednostranně zkosené lamely (č. 1 z Přimdy, 3, 4 a 10 z Landštejna). Čtyři exempláře z hradu

³ Vyobrazení na s. 42 však postihuje pouze část nalezené kolekce lamel.

⁴ U těchto lamel nelze s jistotou říci, zda je údaj správný, nebo zda došlo k chybě, resp. opomenutí desetinné čárky. Rozměr lamel mohl být 4,5 × 2,5 cm. V případě správného údaje by mohlo jít o pásovou lamelu, která může krýt oblast hrudi. Tento typ lamel se však hojně uplatňuje také v konstrukci šorců (srov. např. Knápek 2011, 61–64; Schmitt 2008, 164; Marek 2008, 92 obr. 6, 100 obr. 15; Žákovský 2009, 417 s přehledem další lit.).

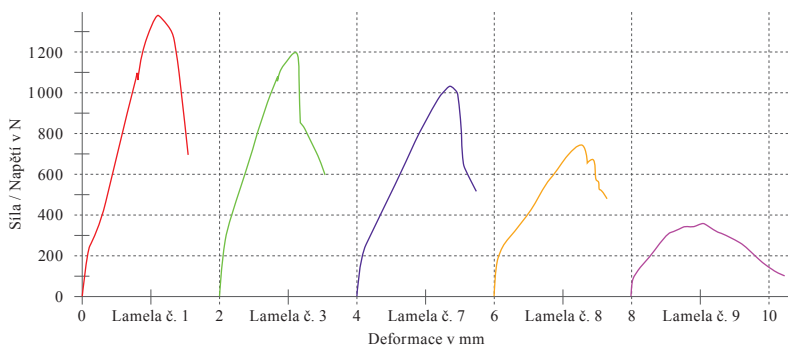
⁵ Za konzultaci děkuji Mgr. Krzysztofowi Cackowskiemu z Univerzity Mikuláše Koperníka v Toruni.

Landštejna představují lamely obdélné (č. 5, 6, 7 a 11), dva exempláře z téže lokality přináležejí k lamelám lichoběžníkovým (č. 8 a 9). Tyto lamely se řadí k obecně nejběžnějším a vyskytují se v širším evropském kontextu v různém prostředí (namátkou Krajíc 2003, 130; Scalini 2003, 388, obr. 11a, b; Marek 2008, 98 obr. 12 a 13, 99 obr. 14). Všechny lamely měly zaoblené rohy a rovněž všechny lamely nesou celé nýty nebo jejich pozůstatky (viz tab. 1 a 2). Sedm exemplářů z hradu Landštejna a Nového Herštejna nebylo možné kvůli jejich špatnému stavu dochování blíže určit, nebo bylo možné pouze určení založené na jisté míře pravděpodobnosti, a to spíše jako lamely obdélné, lichoběžníkovité nebo jednostranně zkosené (č. 2, 12, 14, 15, 16, 17, a 18). Tyto lamely se mohly obecně uplatnit nejen v konstrukci brigantin při ochraně trupu (Scalini 2003, 391), ale také v konstrukci sukničky a kombinovaných zbrojí (Scalini 2003, 386 obr. 7; Spindler 2004, 16–17; Žákovský 2009, 416). Jeden exemplář z Nového Herštejna pak představuje lamelu trojúhelníkovitou (č. 13). I přesto, že se použití lamelové a rozvoj kombinované zbroje časově překrývají (např. Gamber 1953; Žákovský 2009, 413–418), přikláníme se v případě hodnoceného souboru (srov. též Durdík–Procházka 1978, 42) se značnou opatrností k souvislosti nalezených lamel se segmentovou lamelovou zbrojí, která v zásadě směřovala v průběhu 16. století ke vzniku severoitalských *corazzin* (např. Scallini 2003, 388 obr. 11b, 395 obr. 24 a, b).

S ohledem na charakter kolekce a s přihlédnutím k počtu lokalit, z nichž pochází, není možná rekonstrukce počtu zbrojí, ke kterým lamely původně přináležely. Nicméně v případě dvou lamel z hradu Landštejna (č. 4 a 6) s nýty pokrytými mosazi by bylo možné uvažovat o jejich vzájemné souvislosti a snad mohly tvořit součásti jedné zbroje.

Celkem 18 lamel bylo vyrobeno ze železa různé kvality nebo nízkouhlíkové oceli různé tvrdosti a houževnatosti. Všechny hodnocené lamely se řadí k obecně menším exemplářům. Bez zajímavosti není ani snaha o finální úpravu nýtů. Ve dvou případech došlo k úpravě hlavy nýtu (č. 4 a 6) vrstvou mosazi. Nejspíše v jednom případě (č. 1) z hradu Přimdy mohl být povrch hlavy nýtu pokryt cinem. V případě povrchové úpravy nýtů u lamel č. 4 a 6 z Landštejna byly hlavy nýtů nejprve pokryty vrstvou bronzu a ta následně překryta vrstvou mosazi.

Grafické záznamy série



Výsledky zkoušek

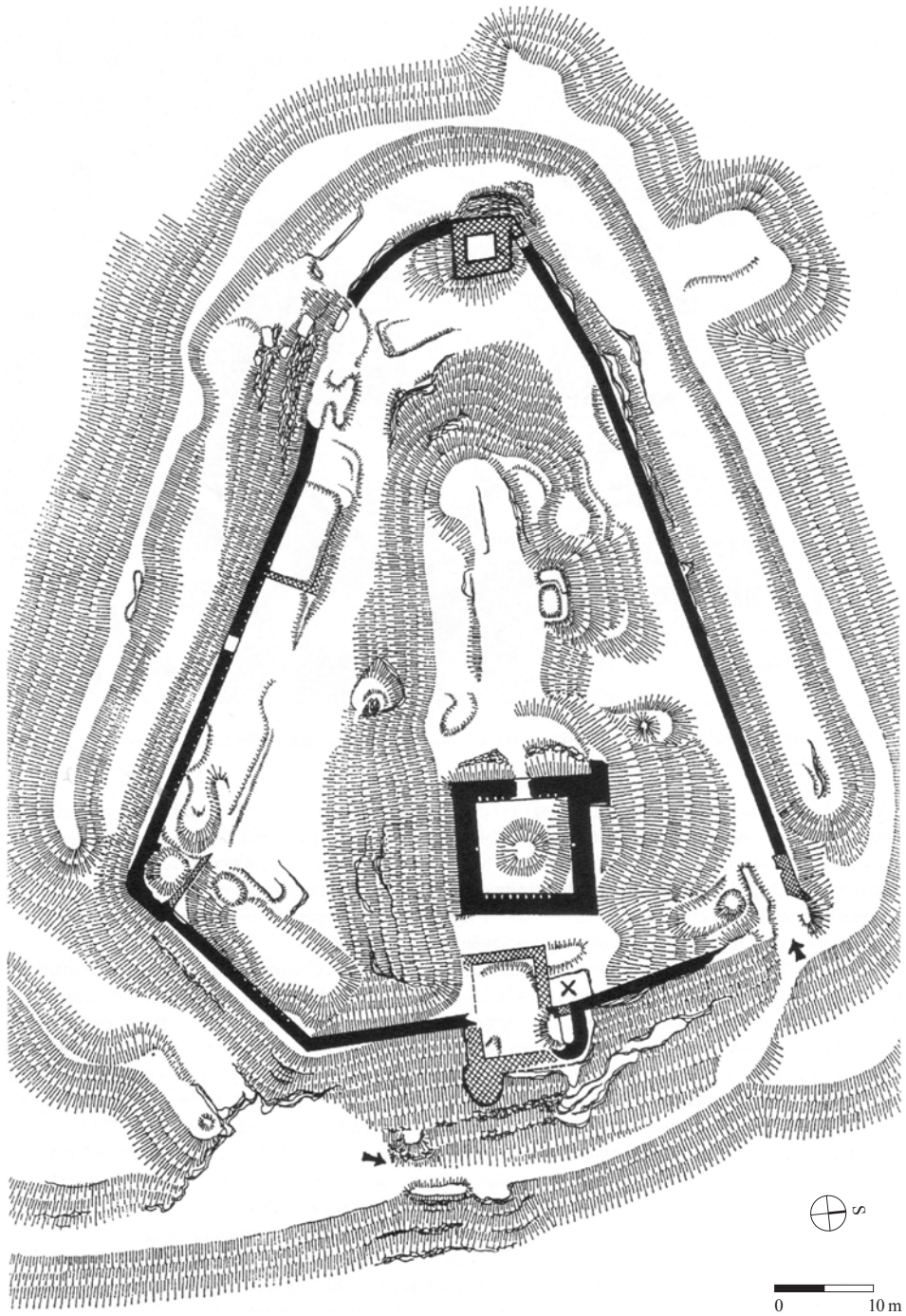
Nr	Lamela č.	F_{\max} N	dL při F_{\max} mm	h_0 mm
1	1	1380	1,1	0,499
2	3	1200	1,1	0,499
3	7	1030	1,4	0,445
4	8	742	1,3	0,496
5	9	359	1,0	0,495

Statistika

Série n = 5	Zk. è.	F_{\max} N	dL při F_{\max} mm	F_{lom} N	dL lom. mm	d_0 mm	S_0 mm ²
\bar{x}	3	943	1,2	477	1,7	8	50,27
s	2	402	0,1	226	0,3	0,000	0,00
U	52,70	42,67	11,26	47,34	16,22	0,00	0,00

Obr. 13. Vyhodnocení Small Punch Testu hodnocených lamel. Úprava J. Volák.

Abb. 13. Auswertung des Small Punch Testes der untersuchten Lamellen. Erstellt von J. Volák.



Obr. 14. Nový Herštejn. Zaměření hradního areálu z roku 1998. Černě zdivo z doby před polovinou 14. století, křížkovaně zdivo patrně z 15. století. Křížkem označeno místo nálezu koncentrace lamel segmentové zbroje. Podle Procházka 1998, 208.
 Abb. 14. Nový Herštejn. Vermessung des Burgareals aus dem Jahr 1998. Schwarz: Mauerwerk aus der Zeit vor Mitte 14. Jhdt., Kreuzschraffur: offenbar aus dem 15. Jhdt. stammendes Mauerwerk Mit Kreuz gekennzeichnet: Fundort einer Lamellenkonzentration von Segmentrüstungen. Nach Procházka 1998, 208.

Závěr a diskuse

Soubor železných lamel byl podroben základní metalografické analýze s cílem vytvoření přehledu použitého základního materiálu sloužícího k jejich výrobě a materiálových vlastností ovlivňujících kvalitu a funkční vlastnosti zbroje. Při hodnocení jednotlivých lamel byl přednostně odebrán materiál z jejich okraje tak, aby byla možná zpětná rekonstrukce jednotlivých exemplářů (viz tab. 1 a 2). Předmětem zájmu pak byla také místa spojení jednotlivých lamel pomocí nýtů vykazujících různé povrchové úpravy, které mají vliv zejména na estetické kvality zbroje (např. Durdík 1983, 14). Nelze však vyloučit ani jisté osobní preference výrobce zbroje nebo jejího nositele. Při povrchové úpravě nýtů se uplatnila především slitina mědi, resp. mosaz (lamely č. 4 a 6), ale také bronz a cín (patrně lamela č. 1). Nejen překrytí hlav nýtů mosazí, ale už samo pokrytí cínem nebo bronzem dodalo vystupujícím nýtům zajímavý kovový lesk. Doklady takto zdobených brigantin máme z našeho i zahraničního prostředí také např. z hradů Leuchtenštejnu (Kouřil–Prix–Wihoda 2000, 60), Dolní Štěpanice (Hošek 2003, 85), Rychleby (Goš 1976, 296), Šostýn (Tichánek 2008, 122), Szerba (Williams 2009, 213) či Sachsendorf (Starley 2005, 36). Některé nýty mohly být opatřeny také drobnými rozetami (např. Peine 2004, 54) či doplněny o další aplikace (Thordeman 1940a, obr. 32).

U lamel s dochovaným kovovým jádrem bylo možné pozorovat značný rozptyl mikrostruktury, a tedy i vstupního výrobního materiálu, který ovlivnil nejen vlastnosti jednotlivých lamel, ale rovněž se odrazil na stavu jejich dochování. Ve třech případech byla mikrostruktura tvořena výhradně hrubozrnným feritem (lamely č. 2, 5 a 8). Běžněji se vyskytovala směs jemně zrnitého a hrubozrnného feritu v podobě vrstev korespondujících s technologickým postupem výroby zdrojového materiálu, jakož i samých lamel (pro srovnání např. Williams 2009, 213). Tento jev vzniká při skovávání více rozdílných materiálových zdrojů použitých při výrobě lamely a vícenásobném překládání zdrojového materiálu lamely. Zjemnění mikrostruktury nastává také v některých případech v okolí vměstků, kde dochází k nalegování materiálu žádanými prvky, např. Si (lamely č. 3, 9, 10, 11 a 13 z hradu Landštejna). Ve třech případech byla zjištěna feriticko-perlitická mikrostruktura tvořící 90 % objemu hmoty železného jádra lamely (č. 3, 7 a 10 z Landštejna). Naopak lamela č. 1 z Přimdy je jednoznačně složena ze dvou výrazně odlišných materiálů. Mikrostruktura jedné poloviny je tvořena martenzitem a druhé hrubozrnným feritem. Obdobná struktura materiálu byla zaznamenána u lamely č. 6, u níž bylo možné pozorovat v okrajové části lamely martenzitickou strukturu. Ze srovnání s hodnocenými soubory z jiných lokalit (Williams 2009, 213) lze usoudit, že v případě této lamely byl zpracován zlomkový materiál vyšší kvality. U všech hodnocených lamel i nýtů byl zachycen značný rozptyl ve velikosti, tvaru i množství vměstků. Obdobné materiálové spektrum bylo zaznamenáno při metalografickém hodnocení železných lamel pocházejících z hradu Lopaty (Williams 1999, 27–28). Tvrdost jednotlivých lamel se lišila v závislosti na jejich mikrostruktuře a technologickém postupu výroby. Tvrdost feritického materiálu použitého k výrobě lamel se pohybovala v rozmezí 160–176 HV_{0,3}. Feritická ocel použitá na nýtech však v řadě případů vykazovala vyšší tvrdost. V případě výskytu feriticko-perlitických struktur vykazovaly lamely vyšší tvrdost pohybuující se v rozmezí 214–240 HV_{0,3}. V případě martenzitu dosahovala tvrdost hodnoty 280 HV_{0,3}. Pro srovnání je možné uvést tvrdost hodnocených augšpurských plátových zbrojí, u kterých byla naměřena tvrdost v rozmezí 305–379 HV_{0,3}, a italské plátové zbroje 15. století dosahují tvrdosti kolem 210–279 HV_{0,3} (Williams 2003, 78, 118, 120, 362). Kvalitu zbroje by samozřejmě bylo možné posuzovat i podle místa jejího původu. Přesné určení však umožňují pouze platněřské značky, jejichž výskyt v kolekci nebyl zaznamenán (srov. např. Schmitt 2008, 165).

Mechanické vlastnosti (síla vs. deformace) byly stanoveny prostřednictvím *Small Punch Testu*. Šlo o lamely č. 1 z Přimdy, 3, 7, 8 a 9 z Landštejna (obr. 14). Cílem testu bylo určení síly vedoucí ke kolapsu, resp. protržení materiálu. Dle našeho předpokladu vykazovala nejvyšší odolnost lamela č. 1 (tab. 1, obr. 1) tvořená dvěma materiály o přibližně stejném podílu. Materiál v horní části je tvořen martenzitickými jehlicemi s relativně nízkou vměstkovitostí a hrubozrnným feritem s malým podílem vměstků. Tato lamela odolávala až do působení síly o hodnotě 1 380 N. Tvrdost martenzitické části lamely dosahovala hodnoty 440 HV_{0,3}, feritická část pak

hodnoty 185 HV_{0,3}. Druhou nejvyšší odolnost proti protržení vykazuje dle grafického vyjádření (obr. 14) lamela č. 3 z Landštejna (tab. 1, obr. 3) s mikrostrukturou tvořenou středovým pásem s feriticko-perlitickou strukturou a okraji z hrubozrnného feritu s obecně vyšší vměstkovitostí. Tato lamela odolávala až do působení síly 1200 N. Tvrdost lamely kolísala v různých částech svého jádra v rozmezí 214–240 HV_{0,3}. Lamela č. 7 z téže lokality (tab. 1, obr. 7) je tvořena feriticko-perlitickou ocelí s feritem vyloučeným po kraji perlitu. Lamela v místě metalografického výbrusu obsahovala několik hrubších podélných vměstků. Hodnocený vzorek odolával až do působení síly 1030 N. Naměřená tvrdost použitého materiálu dosahovala hodnoty 282 HV_{0,3}. V této souvislosti je však nutné upozornit na skutečnost, že vzorek č. 3 měl ve srovnání se vzorky z lamel č. 1 a 3 o 0,054 mm menší tloušťku. Tato skutečnost byla způsobena horší mírou dochování kovového jádra lamely. V případě možnosti dosažení stejné tloušťky vzorku (viz obr. 14) by se odolnost této lamely více blížila odolnosti lamely č. 3. Vzorek odebraný z lamely č. 8, pocházející rovněž z Landštejna (tab. 1, obr. 8), vyrobené z hrubozrnného feritu s velkými vměstky odolával až do působení síly o hodnotě 742 N. Naměřená tvrdost použitého materiálu dosahovala 176 HV_{0,3}. Nejmenší odolnost proti protlačení vykazoval vzorek z lamely č. 9 (tab. 2, obr. 9) vyrobené z jemnozrnného a hrubozrnného feritu, nalezené na Landštejně. Oba materiály odděloval kovářský svar procházející středem lamely. K destrukci použitého materiálu došlo při působení síly 359 N. Naměřená tvrdost lamely dosahovala hodnoty 180 HV_{0,3}. Nejvyšší míra deformace materiálu použitého k výrobě hodnocených lamel byla zaznamenána u vzorku odebraného z lamely č. 7 (tab. 1, obr. 7) vyrobené z feriticko-perlitické oceli o tvrdosti 282 HV_{0,3}.

Provedené materiálové analýzy přinesly nejen nové informace týkající se variability materiálu použitého k výrobě hodnocených lamel, ale také nové poznatky z oblasti kvalitativního spektra lamel použitých v konstrukci zbroje. Z hlediska kvality, vyjádřené tvrdostí a houževnatostí hodnocených lamel, je možné považovat za nejkvalitnější exempláře z Přimdy (č. 1) a Landštejna (č. 3 a 7). Z hlediska kvality použitých lamel je pak zajímavá, byť nikterak překvapující skutečnost, že z jedné lokality, v tomto případě z hradu Landštejna, pochází lamely výrazně odlišné kvalitativní úrovně, vyjádřené nejen tvrdostí a odolností lamel proti protlačení, ale také estetickými kvalitami. Ze současného stavu poznání kolekce lamel z hradu Landštejna se přikláníme k předpokladu, že lamely by mohly pocházet spíše z několika odlišných zbrojí. Nicméně není možné vyloučit ani rovněž značně pravděpodobnou možnost, že jedna zbroj mohla být sestavena z lamel vykazujících jisté kvalitativní rozdíly co se týče materiálových vlastností. I přestože získané informace vnášejí nové světlo do problematiky kvality použitých lamel, vypovídají o celkové odolnosti a dalších vlastnostech zbroje jen částečně. Při komplexním hodnocení kvality jednotlivých zbrojí by bylo nutné zohlednit nejen vlastnosti dalších materiálů použitých při její výrobě, ale také vlastnosti použitých nýtů, které měly nepochybně vliv na celkovou soudržnost zbroje při extrémním namáhání. Zvolená forma testování houževnatosti zbroje (*Small Punch Test*) umožnila hodnocení její odolnosti při působení stoupající síly. Domníváme se však, že v případě působení dynamického zatížení, které by lépe odrazilo namáhání zbroje např. při nárazu čepele, hrotu střely nebo projektilu z palné zbraně, by bylo hodnocení houževnatosti zkoumaných lamel velmi podobné. Relevantní simulace takového zatížení však není, s ohledem na předem stanovený požadavek minimálního zásahu do lamel, a tedy minimálního množství odebraného materiálu, prozatím reálná. Z hlediska volby použitého materiálu je u celé kolekce hodnocených lamel patrná snaha směřující k ideálnímu kompromisu mezi tvrdostí a odolností proti protlačení, resp. průrazu. V případě lamel vykazujících nižší míru tvrdosti a odolnosti proti protlačení, vyrobených zejména z feritu, se přikláníme spíše k využití méně kvalitního, ale obecně dobře dostupného materiálu. Přestože provedené materiálové hodnocení přineslo nové informace o kvalitativním spektru lamel z brigantin nalezených na několika hradních lokalitách v Čechách, nelze prozatím formulované závěry – s ohledem na počet hodnocených vzorků – zcela zobecnit. Výsledky materiálových analýz však přinesly podstatné informace o materiálových vlastnostech lamel použitých při výrobě tohoto typu zbroje a také o velmi vysoké míře odolnosti některých lamel (především lamela č. 1), která dosahuje přibližně 60 % míry odolnosti moderních ocelí. Další možnosti interpretace výsledků hodnocení použitého materiálu by přineslo určení provenience nalezených

součástí zbrojí – to ovšem vzhledem ke špatnému stavu dochování lamel a absenci kovářských značek na nich, není reálné.

Studie byla vyhotovena za podpory projektu SGS-2015-059 financovaného Interní grantovou agenturou ZČU v Plzni.

Literatura

- BAIERL, P., 2010: Nebezpečí detektorů, *Hláška XXI*, 12–13.
- BELCREDI, L., 1989: Terminologie, třídění a kód středověkých kovových předmětů – Terminologie, Klassifizierung und Kode mittelalterlicher metallischer Gegenstände, *AH 14*, 437–472.
- BENEŠ, C., 1991: Vývoj ochranné zbroje II–V. Muzejní a vlastivědná práce 29, *ČSPS 99*, 13–24, 74–93, 139–150, 196–217.
- 1992: Zbroj. *Strážavy*.
- BLACKMORE, H. L., 1965: *Arms and armour*. London.
- BLAIR, C., 1979: *European Armour circa 1066 to circa 1700*. London.
- ČIŽMÁŘ, M., 2006: Detektor ano, nebo ne? Archeologie a detektory kovů – The metal detector: yes or no? *Archaeology and metal detectors, AR LVIII*, 284–289.
- DURDÍK, T., 1983: Středověké zbraně. Sbírkový katalog muzea v Chrudimi. Chrudim.
- 1988: Výzkum manského domu na Křivoklátě (Předběžné sdělení) – Erforschung des Lehensmannshauses in Křivoklát (Vorbericht), *AH 13*, 285–298.
- 1995: Manský dům na Křivoklátě – „malé české Pompeje“, *Starožitnosti a užité umění*, č. 4, 8–9.
- 2006: Přimda – die älteste Steinburg in Böhmen, *Forschungen zu Burgen und Schlösser 9*, 95–103.
- 2007: Hrad Přimda – Die Burg Přimda. *Vlastivědná knihovnička poučenosti přátel starožitnosti sv. 14*. Praha.
- DURDÍK, T.–HAVLOVÁ, M., 1990: Hrad Landštejn. České Budějovice.
- DURDÍK, T.–PROCHÁZKA, Z., 1978: Nový Herštejn. Nálezová zpráva č. j. 800/78 ulož. v Archivu náleзовých zpráv Archeologického ústavu AV ČR, Praha, v. v. i.
- 2002: Zjišťovací výzkum hradu Nového Herštejna v roce 2001. *ZČAS Supplément 49*, 27, obr. 11.
- FROLÍK, J.–MUSIL, J., 2015: Katalog archeologických nálezů z hradu Košumberka. 1. díl: kovové předměty. Chrudim.
- GAMBER, O., 1953: Harnischstudien V. Stilgeschichte des Plattenharnisches von den Anfängen bis um 1440, *Jahrbuch der Kunsthistorischen Sammlungen in Wien 50*, 53–92.
- GOŠ, V., 1976: Vzácná zbroj z hradu Rychleby, *Severní Morava 31*, 51–53.
- HLOŽEK, J.–SAVKOVÁ, J.–VAŘEKA, P., v přípravě: Metalografické vlastnosti součástí středověkého pluhu.
- HOŠEK, J., 2003: *Metalografie ve službách archeologie*. Praha.
- JÁNSKÝ, J., 2004: *Kronika česko-bavorské hranice. Díl IV. (1458–1478) doba krále Jiřího a první období jagellonské vlády – boje s křížáky a odboje Zelenohorské jednoty a bocklerů. Domažlice*.
- KELSO, W. M.–LUCCKETTI, N. M.–STRAUBE, B. A., 1998: *Jamestown Rediscovery IV*. Richmond.
- KLUČINA, P.–ROMAŇÁK, A., 1983: *Člověk, zbraň a zbroj v obraze doby I. (5.–17. století)*. Praha.
- KNÁPEK, A., 2011: Plátový kabátec ze Starého Jičína, *Vlastivědný sborník Novojičínka 61*, 61–64.
- KOUŘIL, P., 2009: Hrad Javorník: březen 1428 – září 1434. Příspěvek k poznání hmotné kultury doby husitské ve Slezsku, *ČSM B 58*, 1–15.
- KOUŘIL, P.–PRIX, D.–WIHODA, M., 2000: *Hrady českého Slezska. Brno – Opava*.
- KRAJÍČ, R., 2003: Sezimovo Ústí. Archeologie středověkého poddanského města 3. Kovárna ze Sezimova Ústí a analýza výrobků ze železa. Praha – Sezimovo Ústí – Tábor.
- KUNA, M., 2006: Detektory kovu v archeologii, *AR LVIII*, 323–328.
- MAREK, L., 2008: *Medieval Armour from Szczerba Castle, Acta Militaria Medevalia IV*, 87–124.
- MĚCHUROVÁ, Z., 1997: *Konůvky – zaniklá středověká ves ve Žďánickém lese. Studie archeologického ústavu Akademie věd ČR v Brně XVII/1*. Brno.
- MÜLLER, H., 1957: *Historische Waffen. Kurze Entwicklungsgeschichte der Waffen vom Frühfeudalismus bis zum 17. Jahrhundert*. Berlin.
- NEKUDA, V., 1985: Mstěnice. Zaniklá středověká ves u Hrotovic. Hrádek – tvrz – dvůr – předsunuté opevnění. Brno.
- NEUSTUPNÝ, E., 1986: *Nástin archeologické metody – An outline of the archaeological method, AR XXXVIII*, 525–549.
- 2007: *Metoda archeologie*. Plzeň.

- PEINE, H.-W., 2004: Ein Blick in die Waffenkammer des Hauses Herbede an der Ruhr. In: Das Brigantinen-Symposium auf Schloss Tirol (Rachewiltz, S.–Spindler, K.–Stadler, H., edd.), 40–77.
- PROCHÁZKA, Z., 1998: Nové poznatky z výzkumu hradu Nového Herštejna, CB 6, 205–228.
- SCALINI, M., 2003: Corazzine e bacinetti dalla Rocca di Campiglia. In: Campiglia. Un castello e il suo territorio II. *Indagine archeologica* (Bianchi, G., ed.), 382–396. Firenze.
- SCHMITT, A., 2008: Burg Tannenberg bei Seeheim-Jugenheim. Eine spätmittelalterliche Ganerburg im Licht der archäologischen Funde. Darmstadt.
- SPINDLER, K., 2004: Die Brigantine von Schloss Tirol in ihrem archäologischen und historischen Umfeld. In: Das Brigantinen-Symposium auf Schloss Tirol (Rachewiltz, S.–Spindler, K.–Stadler, H., edd.), 7–19.
- SMRŽ, Z., 2006: Archeologové, mrcasníci a detektoráři, AR LVIII, 321–323.
- STARLEY, D., 2005: Brigandines and Jackplates. Datasheet 36. The Finds Research Group AD700–1700.
- TICHÁNEK, J., 2008: Hrad a panství Šostýn. Opava.
- THORDEMAN, B., 1940: Armour from the battle of Wisby 1361. Vol. 1. Text. Stockholm.
- 1940a: Armour from the battle of Wisby 1361. Vol. 2. Plates. Stockholm.
- 2001: Armour from the battle of Wisby 1361. New York.
- WAGNER, E.–DURDÍK, J.–DROBNÁ, Z., 1956: Kroje, zbroj a zbraně doby předhusitské a husitské. Praha.
- WILLIAMS, A., 1999: The metallurgy of some armour from Bohemia. In: *Archaeometallurgy in the Central Europe*. *Východoslovenský Pravek Special Issue* (Mihok, E.–Miroššayová, E., edd.), 27–40. Nitra.
- 2003: The Knight and the Blast Furnace: A History of the Metallurgy of Armour in the Middle Ages and the Early Modern Period. Leiden – Boston – Köln.
- 2009: The metallurgy of brigandines from Szczerba and Kempton, *Acta Militaria Mediaevalia* V, 213–219.
- ZITOVÁ, L., 201: Archeologické doklady brigantin ze 14.–15. století ve středoevropském prostoru. Plzeň. Katedra archeologie, Fakulta filozofická, Západočeská univerzita v Plzni, nepublikovaná bakalářská práce.
- ŽÁKOVSKÝ, P., 2009: Hromadný nález nejstarších platněrských prací z území Moravy (?). Příspěvek k poznání tzv. kombinovaných zbrojí – Ein Sammelfund der ältesten Plattnerarbeiten auf mährischem Gebiet (?). Ein Beitrag zum Verständnis sogenannter kombinierter Rüstungen, AH 34, 409–444.

Zusammenfassung

Einige Anmerkungen zur Materialstruktur und zu den mechanischen Eigenschaften der Segmente von Lamellenpanzern

Obwohl Lamellenpanzer, sog. Brigantinen, zu den fortschrittlichen Typen mittelalterlicher Rüstungen bestehen, vermissen wir bei den meisten erhalten gebliebenen Exemplaren, Torsi oder Einzelfunden von Lamellen Informationen über ihre Materialeigenschaften, über Art und Weise ihrer Verarbeitung und über ihre Qualität. Die Ergebnisse jüngst durchgeführter metallographischer Analysen von bislang nicht veröffentlichten, von den Burgarealen Přimda, Landštejn und Nový Herštejn stammenden Eisenlamellen werfen mehr Licht auf die Problematik, wie dieser Rüstungstyp konstruiert war und besonders dann auch darauf, welches Materialspektrum bei seiner Herstellung verwendet wurde. Die ausgewertete Sammlung besteht aus 18 Exemplaren verschieden geformter Eisenlamellen mit unterschiedlicher Anzahl erhaltener Niete. Auch trotz der stabilen und festen Oberfläche der untersuchten Lamellen war ihr Metallkern nicht in allen Fällen erhalten geblieben oder hat wegen ihres schlechten Erhaltungszustandes keine metallographische Auswertung erlaubt. Mit Ausnahme der Lamellen von der Burg Nový Herštejn handelt es sich um nicht stratifizierte Funde, die keine nähere zeitliche Zuordnung erlauben. Die Lamellenkollektion von Nový Herštejn wurde anhand von archäologischem Material in die erste Hälfte des 14. Jahrhunderts datiert. Die gesamte Situation war vom Wüstungshorizont der Burg aus der Zeit nach 1475 überdeckt.

Die untersuchten Lamellen stammen zweifellos von mehreren Rüstungen und von drei Burg-Fundstellen, von denen lediglich die Lamellen von Burg Herštejn eine nähere Datierung erlauben. Vier Exemplare stellen einseitig abgeschrägte Lamellen dar (Nr. 1 von Burg Přimda, 3, 4 und 10 von Burg Landštejn). Vier Exemplare von der Burg Landštejn sind längliche Lamellen (Nr. 5, 6, 7 und 11), zwei Exemplare von derselben Fundstelle zählten zu den trapezförmigen

Lamellen (Nr. 8 und 9). Sieben Exemplare von Burg Landštejn und Burg Nový Herštejn konnten wegen ihres schlechten Erhaltungszustands nicht näher bestimmt werden, oder ihre Bestimmung war nur bis zu einem gewissen Wahrscheinlichkeitsgrad möglich, und zwar eher als längliche, trapezförmige oder einseitig abgeschrägte Lamellen (Nr. 2, 12, 14, 15, 16, 17 und 18). Ein Exemplar von Burg Nový Herštejn stellt dann eine dreieckige Lamelle dar (Nr. 13). Im Hinblick auf den Charakter der Kollektion und unter Berücksichtigung der Anzahl der Fundstellen, von denen sie stammen, kann die Anzahl der Rüstungen, zu denen die Lamellen ursprünglich gehörten, nicht rekonstruiert werden. Nichtsdestotrotz könnte man bei zwei mit Nieten bedeckten Lamellen von Burg Landštejn (Nr. 4 und 6) dahingehend einen gemeinsamen Zusammenhang in Betracht ziehen, dass sie Bestandteil von ein und derselben Rüstung gewesen sein könnten. Nicht uninteressant ist auch die Bemühung um die Endbearbeitung der Niete. In zwei Fällen wurden die Nietenköpfe mit einer Messingschicht behandelt (Nr. 4 und 6). Bei offensichtlich einem Fall von Burg Přimda (Nr. 1) könnte die Oberfläche des Nietenkopfes mit Zinn überzogen worden sein. Im Falle der Oberflächenbehandlung der Niete bei den Lamellen Nr. 4 und 6 von Burg Landštejn wurden deren Köpfe zunächst mit einer Bronzeschicht und anschließend dann mit einer Messingschicht überzogen.

Bei Lamellen mit erhaltenem Metallkern war eine beträchtliche Streuung der Mikrostrukturen und damit auch des bei der Herstellung verwendeten Eingangsmaterials zu erkennen, was nicht nur die Eigenschaften der einzelnen Lamellen beeinflusste, sondern gleichzeitig auch Einfluss auf ihren Erhaltungszustand hatte. In drei Fällen bestand die Mikrostruktur ausschließlich aus grobkörnigem Ferrit (Nr. 2, 5 und 8). Gängiger war eine Mischung aus feinkörnigem und grobkörnigem Ferrit in Form von Schichten, die mit dem Herstellungsverfahren des Quellmaterials und mit dem der Lamellen selbst korrespondieren. Dieser Effekt entsteht beim Schmieden von unterschiedlicheren, bei der Herstellung der Lamellen verwendeten Materialquellen und einem mehrfachen Falten des Quellmaterials der Lamellen. Zu einer Verfeinerung der Mikrostruktur kommt es in einigen Fällen auch in der Umgebung von Einschlüssen, wenn es zum Anlegieren des Materials mit erwünschten Elementen wie z.B. Si kommt (Nr. 3, 9, 10, 11 und Nr. 13 von Burg Landštejn). In drei Fällen wurde eine Ferrit-Perlit-Mikrostruktur festgestellt, die 90 % des Massevolumens des Eisenkerns der Lamellen ausmacht (Nr. 3, 7 und Nr. 10 von Burg Landštejn). Lamelle Nr. 1 von Burg Přimda ist dann eindeutig aus zwei deutlich unterschiedlichen Materialien zusammengesetzt. Die Mikrostruktur der einen Hälfte besteht aus Martensit, und die der zweiten aus grobkörnigem Ferrit. Eine ähnliche Materialstruktur wurde bei Lamelle Nr. 6 verzeichnet, in deren Randbereichen eine martensitische Struktur beobachtet werden konnte. Bei allen untersuchten Lamellen und Niete wurde eine beträchtliche Streuung in Größe, Form und Menge der Einschlüsse festgestellt. Die Härte der jeweiligen Lamellen unterschied sich in Abhängigkeit von ihrer Mikrostruktur und ihrem Herstellungsverfahren. Die Härte des zur Lamellenherstellung verwendeten Ferrit-Materials bewegte sich in einer Spanne von 160–176 HV_{0,3}. Der für die Niete verwendete Ferritstahl wies bei einer Reihe von Fällen jedoch eine größere Härte auf. Bei den vorkommenden Ferrit-Perlit-Strukturen wiesen die Lamellen eine größere Härte auf, die sich in der Spanne von 214 bis 240 HV_{0,3} bewegte. Im Falle von Martensit erreichte die Härte einen Wert von 280 HV_{0,3}.

Die mechanischen Eigenschaften (Kraft vs. Verformung) wurden anhand eines *Small Punch Testes* ermittelt. Dabei handelte es sich um die Lamellen Nr. 1 von Burg Přimda, Nr. 3, 7, 8 und 9 von Burg Landštejn (Abb. 14). Ziel des Testes war es, die Kraft festzustellen, die zu einem Materialkollaps bzw. zu Materialbruch führt. Entsprechend unserer Annahme wies die ungefähr zu gleichen Teilen aus zwei Materialien bestehende Lamelle Nr. 1 (Taf. 1, Abb. 1) die höchste Widerstandsfähigkeit auf. Das Material besteht im oberen Teil aus Martensitnadeln mit relativ niedrigem Einschlussgehalt und aus grobkörnigem Ferrit mit einem geringen Anteil an Einschlüssen. Diese Lamelle hielt bis zu einer Krafeinwirkung von 1380 N stand. Die Härte der martensitischen Lamellenteile erreichte einen Wert von 440 HV_{0,3}, der ferritische Teil dann den Wert 185 HV_{0,3}. Die zweithöchste Bruchfestigkeit weist entsprechend dem Grafkbild (Abb. 14) Lamelle Nr. 3 von Burg Landštejn auf (Taf. 1, Abb. 3), deren Mikrostruktur aus einem Mittel-

streifen mit Ferrit-Perlit-Struktur und aus Rändern aus grobkörnigem Ferrit mit allgemein höherem Einschlussgehalt besteht. Diese Lamelle hielt bis zu einer Krafteinwirkung von 1200 N stand. Die Härte der Lamelle schwankte in verschiedenen Bereichen ihres Kerns zwischen einer Spanne von 214–240 HV_{0,3}. Lamelle Nr. 7 von derselben Fundstelle (Taf. 1, Abb. 7) besteht aus Ferrit-Perlit-Stahl mit an den Perliträndern ausgeschiedenem Ferrit. Die Lamelle enthielt an der metallographischen Schliffstelle einige längliche Einschlüsse. Die ausgewertete Probe hielt bis zu einer Krafteinwirkung von 1030 N stand. Die gemessene Härte des verwendeten Materials erreichte einen Wert von 282 HV_{0,3}. Die aus der ebenfalls von Burg Landštejn stammenden, aus grobkörnigem Ferrit mit großen Einschlüssen hergestellten Lamelle Nr. 8 (Taf. 1, Abb. 8) entnommene Probe hielt bis zu einer Krafteinwirkung von 742 N stand. Die gemessene Härte des verwendeten Materials erreichte einen Wert von 176 HV_{0,3}. Die geringste Widerstandskraft gegen Durchdrücken wies die von der auf Burg Landštejn gefundenen, aus feinkörnigem und grobkörnigem Ferrit hergestellten Lamelle Nr. 9 (Taf. 2, Abb. 9) entnommene Probe auf. Zur Zerstörung des verwendeten Materials kam es bei einer Krafteinwirkung von 359 N. Die gemessene Härte der Lamelle erreichte einen Wert von 180 HV_{0,3}. Den höchsten Verformungsgrad des zur Herstellung der ausgewerteten Lamellen verwendeten Materials wurde bei der von aus Ferrit-Perlit-Stahl mit einer Härte von 282 HV_{0,3} bestehenden Lamelle Nr. 7 (Taf. 1, Abb. 7) entnommenen Probe verzeichnet.

PhDr. Josef **Hložek**, Ph.D., Katedra archeologie Filozofické fakulty Západočeské univerzity v Plzni, Sedláčkova 15, 306 14 Plzeň, Česká republika, hlozek@kar.zcu.cz

Ing. Jarmila **Savková**, Ph.D., Nové technologie – výzkumné centrum Západočeské univerzity v Plzni, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, Česká republika, savkova.jarmila@atlas.cz

Ing. Josef **Volák**, Ph.D., Regionální technologický institut Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, Česká republika, volak@rti.zcu.cz

