



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

TECHNOLOGIE VÝROBY A ZPRACOVÁNÍ STŘEDOVĚKÝCH HROTŮ STŘEL

TECHNOLOGY OF MANUFACTURE AND TREATMENT OF MEDIEVAL ARROWHEAD

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN KAŠPAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL DOLEŽAL, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Kašpar

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Materiálové inženýrství (3911T011)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Technologie výroby a zpracování středověkých hrotů střel

v anglickém jazyce:

Technology of manufacture and treatment of medieval arrowhead

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problematika vývoje středověké ochranné zbroje a zbraní. Typy, tvary a názvosloví středověkých hrotů střel. Technologie výroby a zpracování středověkých šipek. Materiálová analýza souboru středověkých hrotů střel.

Cíle diplomové práce:

Teoretický rozbor problematiky středověkých militárií. Popis a materiálová analýza souboru středověkých hrotů střel. Hodnocení vlivu struktury a mechanických vlastností na kvalitu a užité vlastnosti hrotů střel. Popis technologie výroby a zpracování hodnocených militárií.

Seznam odborné literatury:

- [1] NICKEL, H.: Böhmische Prunkpfeilspitzen. In Acta Musei Nationalis Pragae, Series A, Volumen XXIII, No.3. Národní muzeum v Praze v nakladatelství Orbis, n.p., 1969, s. 163
- [2] DURDÍK, T.: K problematice středověkých šipek v Československu. In Zpravodaj klub vojenské historie 2/72, 1972, s.4-6.
- [3] KOULA, J.: České šípy XV. věku, Památky archeologické, 1893 – 1895, č. 36
- [4] FAKTOR, Z.: Střelné zbraně - konstrukce a funkce. Magnet-Press, Praha 1995, 230 s.
- [5] DURDÍK, T. Středověké zbraně. Chrudim: Okresní museum v Chrudimi, 1983, 62 s.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Doležal, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 21.11.2009

L.S.

prof. RNDr. Jaroslav Cihlář, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT:

Tato práce se zabývá problematikou výroby, typologie a použití středověkých hrotů. V teoretické části je popsána historie luku a jeho evropské nálezy především ze středověku. Poté je nastíněn historický vývoj hrotů a je zde dále popsána jejich typologie. V dalších kapitolách jsou objasněny způsoby výroby železa obzvláště v raném středověku a také postupy při výrobě různých typů hrotu. Dále je popsán středověký šíp, jeho konstrukce a vlastnosti. Průběžně je v rešeršní části rozebírána problematika průraznosti různých typů hrotů na nejznámější typy zbrojí, jako je kroužkové brnění nebo plátová zbroj.

V experimentální části jsou metalograficky analyzovány nálezy hrotů z raného a vrcholného středověku. Z analýz tvarů, struktur a tvrdostí hrotů jsou vyvozeny závěry o jejich výrobě, zpracování, a možnostech použití.

Klíčová slova: hrot, středověk, luk, průraznost, struktura

ABSTRACT:

This thesis analyses issue of manufacture, typology and use of medieval arrowheads. In theoretical part describe historical evolution of bow and his archaeological discovery in Europe, especially from medieval times. After that is revealed historical evolution of arrowheads and describe their typology. In next chapters are mentioned ways of iron production, mainly in early medieval times and also describe technology of manufacture different types of arrowheads. There is a characterization of medieval arrow, his construction and characteristics. Continuously in this background research are revealing questions of penetration depend on the various types of arrowheads, which are testing on the most known types of armour like chainmail or breast plate.

In experimental part of this paper are metallographically analyzing archaeological discoveries from the early and late medieval times. Conclusions about their manufacturing, treatment and possibilities of use are built on knowledge about arrowheads structures, hardness and shapes.

Key words: arrowhead, medieval, bow, penetration, structure

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:

KAŠPAR, J. *Technologie výroby a zpracování středověkých hrotů střel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 82 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Doležal, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Technologie výroby a zpracování středověkých hrotů střel* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 28. 5. 2010

Bc. Jan Kašpar
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Pavlu Doležalovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Také děkuji panu doc. PhDr. Bohuslavu Klímovi, CSc. za poskytnutí nálezů středověkých hrotů a řady cenných informací. Speciální poděkování bych rád věnoval Jaroslavu Petřinovi za množství informací a rad ohledně celé lukařské a lučičnické problematiky. V neposlední řadě bych rád poděkoval mým rodičům za morální a materiální podporu nejen v průběhu celého studia, ale také v průběhu dosavadního života. Bez těchto všech a také bez mnohých dalších, kteří zde nejsou jmenováni, by tato práce nikdy nevznikla.

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle práce	2
3. Literární přehled problematiky	3
3.1 Luky	3
3.1.1 Historie a použití luků	3
3.1.2 Nálezy luků od pravěku po středověk	6
3.2 Hroty	13
3.2.1 Historický vývoj hrotů	13
3.2.2 Typologie středověkých hrotů	20
3.2.3 Technologie výroby a zpracování železa	24
3.2.4 Postup výroby a zpracování hrotů	30
3.2.5 Šípy- typy, jejich konstrukce a vlastnosti	34
4. Experimentální část	38
4.1 Materiálová analýza hrotů střel do luků	38
4.1.1 Hrot šípů s křídélky a tulejí (inventární č. 111/06)	38
4.1.2 Hrot šípů kosočtvercového tvaru s trnem (inventární č. 111/00)	42
4.1.3 Hrot trojúhelníkového tvaru s trnem (inventárním č. 50/02)	46
4.1.4 Hrot listového tvaru s tulejí (inventární č. 112/06)	51
4.1.5 Hrot listového tvaru s tulejí (inventární č. 226/05)	55
4.1.6 Hrot listového tvaru s tulejí (inventární č. 123/00)	59
4.1.7 Hrot typu „bodkin“ s kosočtverečným profilem a s tulejí (inventární č. 4/96)	64
4.1.8 Hrot typu „bodkin“ s kosočtverečným profilem a s trnem (inventární č. 22/04)	70
5. Závěry	78
6. Seznam použitých zdrojů	80
7. Seznam použitých symbolů a zkratek	82

1. Úvod

Vynález luku je považován za jeden z nejvýznamnějších objevů lidstva, který se může měřit s objevem ohně či kola. Používání luků a šípů změnil život člověka žijícího před několika desítkami tisíci lety. Dovolil mu lovit s mnohem větší jistotou a přesností, úspěšněji se bránit a bohužel také povýšit bojování na novou úroveň. Velký význam na efektivitu luku měl šíp a hlavně hrot, kterým byl šíp opatřen. Od nejjednoduššího zaostření konce dřevěného šípu se člověk postupně dostal až k používání pazourkových hrotů, jejichž výroba vyžadovala už velkou zručnost v používání nástrojů.

Převratem v používání luků a šípů bylo objevení kovů a posléze jejich slitin a dovednost v jejich zpracování. Jakmile těžba kovu a jeho následné zpracování dosáhlo potřebné úrovně, bylo možné vyrábět i drobnější a tvarově složitější věci jakými byly určité i hroty. Obrovskou výhodou výroby hrotů z bronzu byla možnost jejich vyrábění ve velkém množství a ve shodném tvaru, což vytvořilo základ pro velkosériovou výrobu pro vojenské použití. S vývojem nových materiálů se zlepšovaly ochranné prostředky válečníků a proti tomu musela být vylepšena i kvalita zbraní, což samozřejmě zahrnuje i vývoj hrotů.

Dalším krokem ke kvalitnějšímu hrotu bylo objevení železa. Jakmile byla dostatečně zvládnuta technologie jeho zpracování, železo výrazně převyšovalo svými vlastnostmi dosud používanou bronz a jiné materiály. Velká nevýhoda pro výrobu hrotů oproti používání bronzu byla obtížnější tvarování železa. Řemeslníci se museli přizpůsobit novému zpracování kovu kováním, na což nebyli zvyklí oproti dříve používanému odlévání bronzu. Nejběžnějšími hroty v pokračující době železné byly hroty s trnem, jenž se lehce vykovával a zajišťoval hrotu malou hmotnost. Již na počátku středověku v jeho raném období lze pozorovat zvýšený počet hrotů vykováných s tulejkou, která zajišťovala hrotu větší tuhost při dopadu na tvrdší cíl. Tento jev souvisí s používáním kvalitnějších zbrojí, jako např. falérové, lamelové, šupinové nebo dokonce kroužkové zbroje, která je nejkvalitnější z ranně středověkých zbrojí.

V průběhu středověku se tvary a konstrukce hrotů postupně měnily, nakonec byly typy hrotů s trnem téměř vytlačeny a používaly se jen zřídka hlavně pro lovecké účely. Velkou změnou ve vývoji hrotů bylo zavádění prvních plátových zbrojí. Prorazit tuto zbroj bylo mnohem složitější než v případě dříve používaných zbrojí včetně kroužkové. Jelikož bylo ke zdolání plátové zbroje mimo jiné potřeba mnohem větší energie a její menší ztráty po nárazu šípu, nezdokonalila se jen konstrukce hrotů, ale i jejich zpracování. Toto zahrnuje možnosti jejich nacementování, popř. nakování vysoceuhlíkových destiček za účelem možnosti pozdějšího tepelného zpracování a získání dostatečně tvrdé špičky hrotu, která by prorazila železný plát. V případě kvalitního vysoceuhlíkového polotovaru bylo možné hroty tepelně zpracovat bez dalších technologických mezistupňů. Ne vždy ale byla potřeba hroty finálně kalit, jelikož jejich vlastnosti byly dostačující i po předchozích technologických procesech.

Vyvíjela se také taktika použití luků v bitvě, pro střelbu do dálky používali lukostřelci lehčí šípy, aby mohli nepřítele co nejdéle ostřelovat. Pro menší vzdálenosti byly používány těžké šípy osazené masivními hroty na probíjení plátových zbrojí. Na konci středověku se vývoj zbrojí dostal do takové fáze, že jejich proražení bylo velmi obtížné i těmi nejsilnějšími luky, a proto se změnil přístup ke střelbě. V Anglii byly používány poměrně velmi lehké šípy s extrémně lehkými hroty (tzv. tudor bodkin), které výrazně zvýšily dostřel a tím i pravděpodobnost zasáhnutí méně chráněného místa. Postupem času bylo použití luků a kuší nahrazeno vyvíjecími se střelnými zbraněmi. Přesto přetrvávaly do dnešních dnů, ačkoliv jejich úloha už není tak důležitá jako za starých časů, stále přinášejí radost a zároveň respekt svým majitelům.

2. Cíle práce

Teoretický rozbor problematiky středověkých militárií. Popis a materiálová analýza souboru středověkých hrotů střel. Hodnocení vlivu struktury a mechanických vlastností na kvalitu a užité vlastnosti hrotů střel. Popis technologie výroby a zpracování hodnocených militárií. Typologické rozdělení středověkých hrotů. Vliv vývoje zbrojí na tvary a zpracování hrotů.

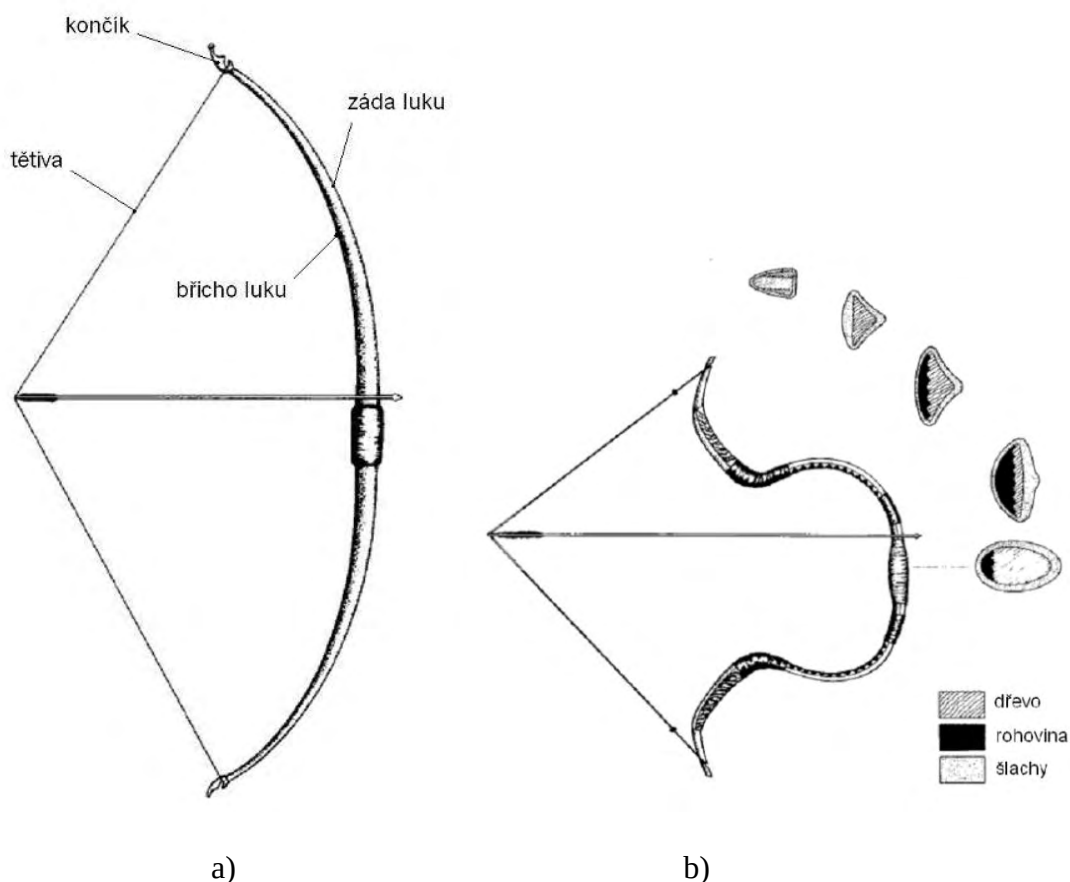
3. Literární přehled problematiky

3.1 Luky

3.1.1 Historie a použití luků

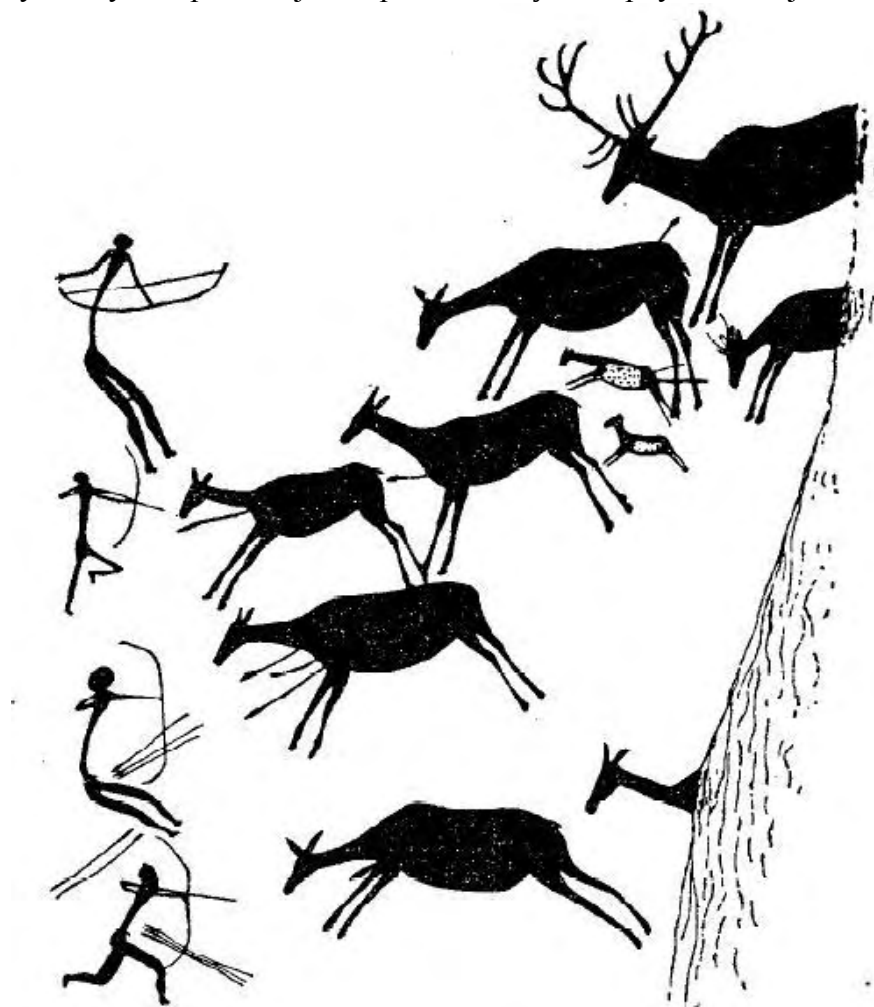
Vynález luku znamenal přelomový okamžik v lidské historii. Umožnil člověku bránit se a lovit s mnohem větší účinností než předtím. Dobu jeho prvního použití lze jen odhadovat, jelikož není možné, aby se jeho nejranější exempláře dochovaly do dnešních dnů. Schopnost využít pomalu vložené energie z lidských svalů do luku a pak ji v krátkém okamžiku uvolnit umožnilo lovit a útočit na nepřátele z mnohem větší vzdálenosti a větší kadencí než při použití oštěpu, který byl předtím zřejmě nejčastěji používán.

Jaký typ luku a z jakého materiálu byly tyto první luky vyráběny nelze přesně určit, ale zřejmě se dělily na dva druhy – dřevěné (obr. 3.1a) a kompozitní (obr. 3.1b). Dřevěné luky byly snadnější a rychlejší na výrobu a byly vyráběny všude, kde bylo dostatek dřevin. Kompozitní luky mohly být vyráběny kombinací různých materiálů, jako šlachy, dřevo, rohovina, kosti, paroží, atd. Je zřejmé, že se kompozitní luky vyvinuly tam, kde nebyl dostatek kvalitního dřeva na jejich výrobu. Z historie je několik doložených obchodů s materiálem na luky, z čehož lze usoudit, že šlo o velmi ceněnou komoditu. Vznik a používání kompozitních luků lze bez nadsázky nazvat „z nouze ctnost“, jelikož v některých ohledech jejich výkony předčily celodřevěné luky. Za pravé kompozitní luky jsou však považovány ty, které mají na zádech luku (strana dál od střelce) šlachy, uprostřed je dřevo a na břiše luku (strana blíže střelci) je rohovina [1]. Jejich výroba je však náročná jak po stránce potřebných znalostí, technologií a také je velmi zdoluhavá (v řádech let).



Obr. 3.1 Dva základní typy luků: a) celodřevěný dlouhý luk b) krátký kompozitní luk [2]

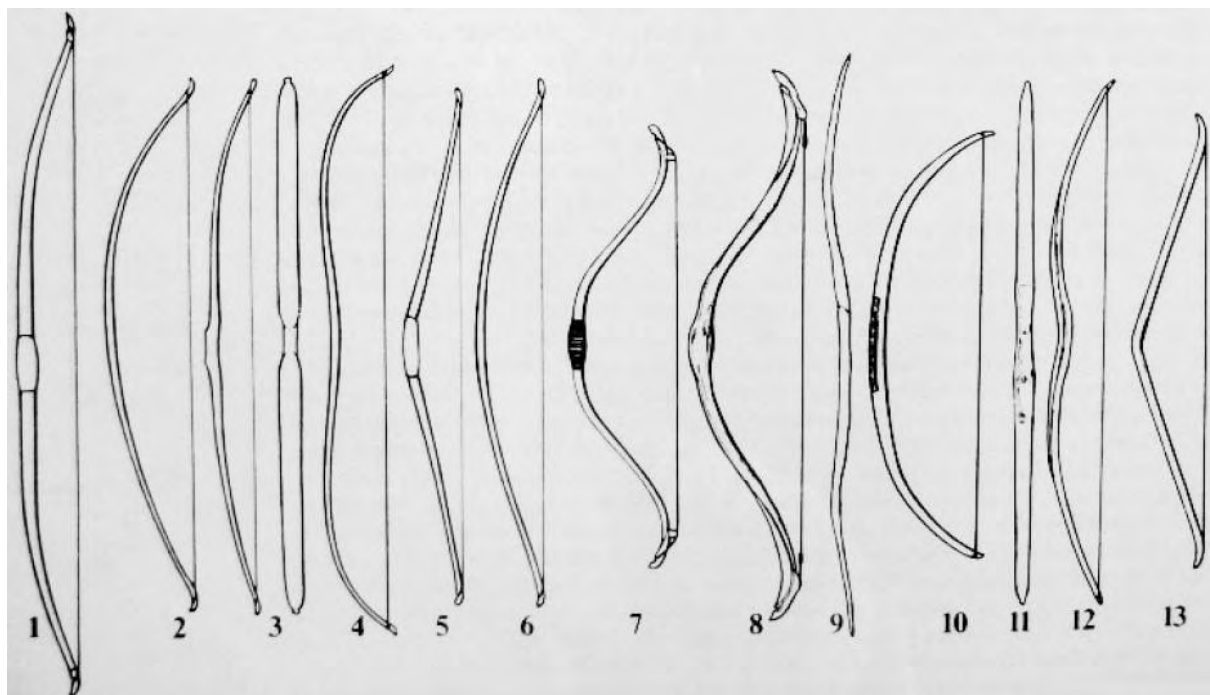
Druhy a použití luků doby kamenné lze vyčíst z jeskynních maleb, kde jsou často znázorněny lovecké scény s postavami vybavenými luky a šípy (obr. 3.2). Tyto luky jsou často dlouhé, ale je jich několik i poměrně kratších než jsou postavy lovců. Překvapivě byly objeveny malby, kde i na jednom vyobrazení měli střelci rozdílné tvary luků. Lze rozlišit jak klasický kruhový tvar luků, tak složitější reflex- deflexní (RD) tvar luků, což dokazuje již velké znalosti a zkušenosti v jejich výrobě. V pozdějších dobách byl tento tvar typický pro kompozitní luky, které byly většinou kratší, než jsou luky vyobrazeny v jeskyních. Jelikož je možné dřevo ohýbat pomocí tepla, jsou vyobrazené luky pravděpodobně tvarované tímto způsobem, aby měli vylepšené vlastnosti dané RD profilem. Tento předpoklad byl podpořen mnoha úspěšně vyrobenými replikami jen za použití tehdy dostupných nástrojů [1].



Obr. 3.2 Jeskynní malba zobrazující skupinu střelců v linii při lovu vysoké zvěře (Cueva de los Cabalio, Španělsko) [1]

Z nálezů a historických podkladů lze říci, že dřevěné luky se vyskytovaly v Západní a Střední Evropě, v Africe, v Jižní a převážně i v Severní Americe, na Islandu. Kompozitní luky byly přivezeny nebo se postupně vyvinuly v Asii, Severo-Východní a Východní Evropě, Grónsku a v určitých oblastech Severní Ameriky. Dřevěné a kompozitní luky byly samozřejmě používány i zároveň, např. různé typy pro šlechtu a obyčejné vojáky. Přesto většinou převládl jeden typ nebo podobné typy luku v dané oblasti [1].

Na obr. 3.3 lze vidět několik typů luků používaných v různých obdobích na celém světě. Není to výčet všech používaných luků třeba i na jednom území, ale spíše jejich nejvíce charakteristické typy.



Obr. 3.3 Typy luků: celodřevěné luky (1-6), kompozitní luky (7-13); 1- dlouhý (anglický) luk, 2- asymetrický luk, 3- plochý luk (typu Holmegaard), 4*- Egyptský luk dvojité konvexní, 5 – spojovaný luk lomený, 6- jednoduchý krátký luk, 7- Čínský luk, 8- Turecký luk, 9- Sibiřský luk (z parohů), 10- Hurritský luk, 11 a 12- Hittitský luk, 13- Asyrský lomený luk [1]

Tato práce se zabývá nálezy hrotů z našeho území (Znojmo), proto se také bude pozornost ohledně luků věnovat především lukům z této oblasti. Popisované nálezy luků a jejich částí budou pocházet z větší části Evropy, jelikož jsou na našem území známy jen dva nálezy luků, z čehož u jednoho není jasně prokazatelné, zda se jednalo o fragment luku, nebo lučiště kuše. Počátky používání luků v Evropě se odhaduje do období cca 15 000 př. n. l., kdy přišlo pravděpodobně ze severní afriky do jižní Evropy a poté dále na sever [3].

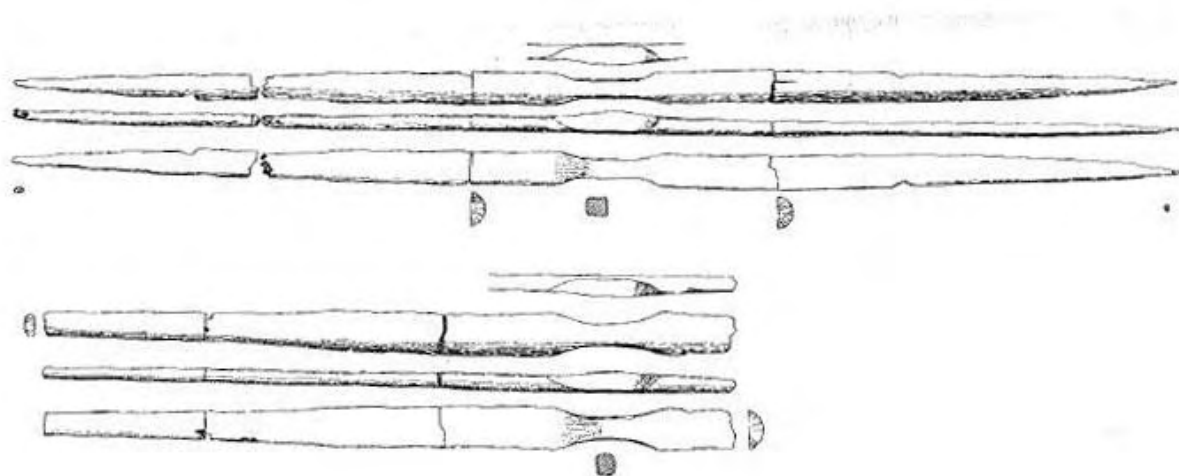
Jelikož se tato práce zabývá výzkumem hrotů ze středověku (přesněji ze 7. a 13. století), bude se zde kromě jednoho případu zkoumat jen luky z tohoto období (cca 4. - 16. stol).

První přímé důkazy o používání luků a šípů je ze Steelmooru (Německo), kde bylo nalezeno více než sto šípů z doby mezi lety 8800 př. n. l. - 8300 př. n. l. Nejstarší nálezy luků jsou z Holmeegardu (Zealand, Dánsko) [3].

3.1.2 Nálezy luků od pravěku po středověk

Nálezy luků z Holmeegardu č. 1. a č. 2 (cca 6000 př. n. l)

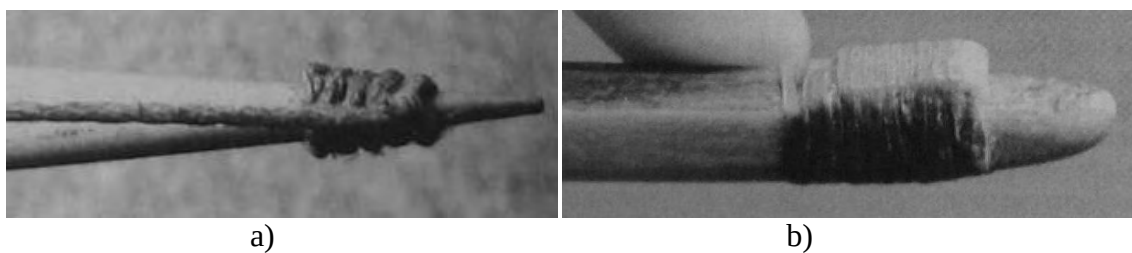
Nálezy luků pocházejí z období Mesolitu – střední doby kamenné. Jde o fragmenty dvou luků stejného typu (obr. 3.4). Větší z luků se dochoval jen částečně, menší luk byl podle dochovaných fragmentů pravděpodobně nalezen celý. Délka kratšího z nich byla přibližně 154 cm, délka delšího luku byla odhadnuta na 180 cm. Luky jsou vyrobeny z jilmu. Oba luky mají široký D profil ramen s poměrně malou hloubkou. Profil je proti běžnému profilu dlouhých luků obrácený, tzn. kulatý na zádech luku, plochá část profilu je rovná na břichu luku, což značí, že tyto luky byly vyrobeny z poměrně tenkého kmínku jilmu. Luky mají výrazně profilovanou rukojeť, kvůli poměrně širokým ramenům luku (1. – 44 mm, 2. – 57 mm) [4].



Obr. 3.4 Nákres nálezu fragmentů luků z Holmeegardu: horní náčrt- č.1 154cm, dolní náčrt: č. 2 cca 180 cm [4]

Luky mají velice tenké špičky ramen, což napovídá o zkušenostech výrobce. Na špičkách nebyly nalezeny stopy po zářezech pro tětivu, z čehož lze usuzovat, že tětiva byla pravděpodobně na jeden konec luku navázána pomocí speciálního uzlu (obr. 3.5a), a na druhý konec byla smyčka tětivy zachycena za navázané těleso na špičce luku (obr. 3.5b).

Replíky kratšího luku vycházeli kolem 60lbs. (27,2 kg) na nátah 28“ (71,1cm)[5]. Takto silný luk umožňuje lovit zvěř i úspěšně ostřelovat protivníka. Tyto dva luky jsou považovány za nejstarší nálezy luků. Mnoha dalších luků a jejich částí byly nalezeny po celé Evropě.



Obr. 3.5 Možnosti uchycení tětivy na luk bez zářezů pro tětivu: a) řešení pro pevný konec tětivy b) řešení pro očko tětivy [5]

Dalším důkazem hojného používání luku je nález přírodně mumifikované mrtvoly člověka



na tajícím ledovci z doby cca 3300 př. n. l. (doba bronzová). Bylo to v části Ötztalských Alp ve výšce 3606 metrů na pomezí Rakouska a Itálie. Proto byl muž také pojmenován **Ötzi**. Byl vybaven mimo jiné šípy s pazourkovými hroty, a tisovým polotovarem na luk. Sám byl šípem zraněn, což dokazuje nález pazourkového hrotu pod jeho lopatkou (obr. 3.6) [6].

Obr. 3.6 Pazourkový hrot vytažený z Ötziho těla [6]

Z výzkumu Ötziho šípů je jasné, že před svou smrtí také několik svých protivníků zranil nebo pravděpodobněji zabil, jelikož byl schopen získat zpět své šípy z těl nepřátel. Pravděpodobně se mu při tomto střetu luk zlomil nebo byl v souboji zničen, a proto byl později nalezen jen s tisovou tyčí jako polotovarem pro další luk.

Z období 9000 let př. n. l. až 1200 let př. n. l. bylo objeveno kolem dvaceti nálezů luků, a mnohem více šípů a hrotů, které dokazují používání luků v pravěku i následujících obdobích. V této části historie se luk stal nepochybně nejdůležitějším nástrojem jak pro lov, tak pro ochranu i válčení (obr. 3.7) [3].



Obr. 3.7 Jeskynní malba z Lascaux zobrazující dvě bojující skupiny střelců (Španělsko) [3]

V následujících stoletích a tisíciletích se význam luku jako zbraně částečně snížil, jelikož došlo k prvnímu používání kovů a jejich slitin, a umožnilo vznik nových zbraní, jako byly kopí, meče, sekery, atd. I přesto nebo právě proto se luk, a jeho použití neztratilo, ale dostalo zcela nový význam z potřeby prorážet nové a kvalitnější zbroje, které byly dokonalejší se zvyšující se kvalitou zpracování nových kovů. Vyvíjel se nejen tvar, konstrukce a síla luků, ale i hroty, které byly určeny k překonávání nových zbrojí.

Nálezy luků z Hedeby (8. - 11. stol. n.l.)

Při archeologických vykopávkách z vikinského období bylo v hradišti v Hedeby (na hranicích Německa a Dánska) nalezeno sedm tisových luků. Jeden z nich se dochoval v plné délce, ze zbylých šesti luků se dochovali jen fragmenty. Bylo zde také nalezeno množství zachovalých šípů, jejich hrotů a dřívků.

Luk č. 1

Jediný celý dochovaný tisový luk z Hedeby měří 191cm (obr. 3.8). Tisový kmínek, z něhož byl tento luk vyroben, měl zřejmě velmi malé rozměry (5-6 cm), což lze usoudit z tvaru letokruhů luku, z přítomnosti mízního žlábků a také z výskytu suků na luku. Původní dolní konec tisového kmínku byl umístěn při výrobě luku jako špička horního ramene. Profil luku je oválný po celé délce. Střed luku je 4,2 cm široký a 3,3 cm hluboký, a jeho ramena se směrem ke konci lehce zužují. Oproti nálezům luků z pozdějších období mají tyto luky konce zahnuté směrem ke střelci. Toto bylo pravděpodobně opatření lukařů proti častému ulamování konců luků, jelikož byly luky více namáhány s narůstající silou, která byla potřeba kvůli proražení zlepšující se ochrany protivníka. Na zádech luku byla odstraněna jen kůra a začištěny suky po větvičkách, aby nedošlo k porušení letokruhů na této straně namáhané tahem. Naopak břicho luku bylo kvalitně opracováno a obroušeno. Celkové zpracování luku vypovídá o velkých znalostech a dovednostech výrobce [7].

Zahnutí konců bylo vzdálené 9 cm od horního konce, a 7 cm od dolního konce. Za zahnutím se začaly špičky rozšiřovat až na rozměry 3,0x2,3 cm na horním konci, a 2,8x1,5 cm na dolním konci. Na horním konci luku 7cm od jeho konce lze rozeznat jednostranný zářez pro tětivu, jenž sloužil pro upevnění oka tětivy. Ve vzdálenosti 17 cm od konce horního ramena lze pozorovat železný hřebíček s půlkulatou hlavou, který je zaražen do běli luku 0,7 cm hluboko. Hřebíček pravděpodobně sloužil k zachycení oka tětivy po vypnutí luku, jelikož přílišné spadnutí a pokroucení tětivy ji mohly poškodit. Na středu luku lze pozorovat poškrábání jedné strany v místě, kde byl při výstřelu vypouštěn šíp. Na dolním konci nebyl nalezen žádný zářez pro tětivu, proto je pravděpodobné, že bylo upevnění tětivy řešeno trvalým uzlem obdobně jako v případě luků z Holmeegardu [7].

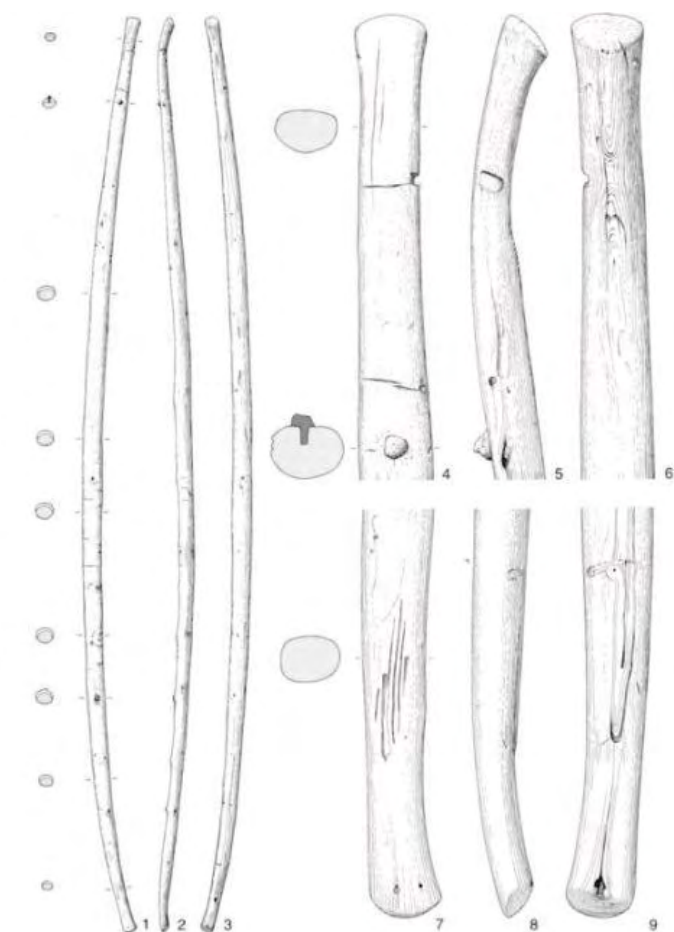


Abb. 1 Haithabu. Bogen 1. 1 Vorderseite. 2 Seitenansicht. 3 Rückseite. 4-6 Oberes Bogenende. 7-9 Unteres Bogenende. Maßstab 1:10 (1-3), 1:2 (4-9).

Obr. 3.8 Nákres luku č.1: vlevo tvar luku, vpravo špičky [7]

Porovnání nálezů luků č.1 až č.7

Luky si jsou svou konstrukcí velmi podobné. Všechny byly vyrobeny z tenkého kmínku, také byly všechny špičky luků zahnuty po deflexu (ke střelci). Tato konstrukce je právě typická pro vikinské luky. Z rozměrů fragmentů ostatních luků se zdá, že luk č.1 byl pravděpodobně jeden z mnohem více mohutných luků, hlavně oproti rozměrům luků č. 2 a č. 3. Šest luků je vyrobena z tísového dřeva, jen jeden luk z jilmu. Z toho lze vyvodit, že tísové dřevo bylo i tady přednostně používáno na výrobu luků, a první náhražkový materiál byl použit jilm. Hustota letokruhů u tisu se pohybovala mezi 12 až 15 na centimetr, u jilmu to bylo 5 až 6 letokruhů na cm. Síla luků je odhadována v rozmezí 60-90 lbs. (27-40kg), výjimkou je zřejmě nejvíce zachovaný luk č.1, který má předpokládanou sílu na tuto dobu extrémních 130lbs. (60kg). Tyto hodnoty se odvíjejí nejenom podle délek a rozměrů luků, druhu a kvality dřeva, a také pro jak dlouhé šípy byl luk vyroben [7].

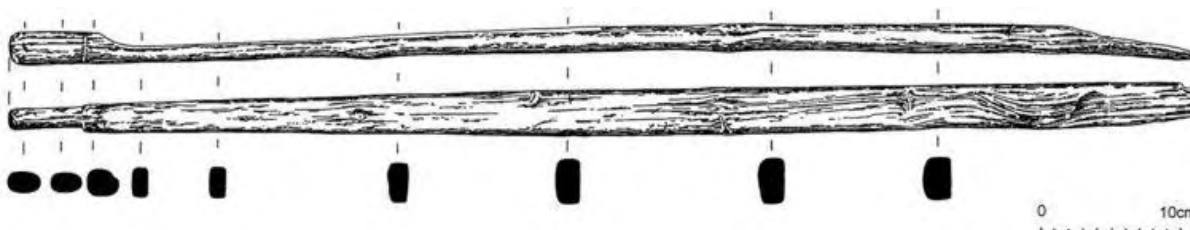
Dalším významným nálezem z pozdního vikinského období (11. stol.) je **luk z Ballindery** v Irsku (obr. 3.9). Tento tísový luk měří 185 cm, jeho rozměry uprostřed jsou 3,8 x 2,85cm. Profil se mění od středu z obdélníkového se zaoblenými hranami na oválný profil ke konci luku. Jeho konce jsou také ohnuty do deflexu. Na poškozeném horním rameni se pravděpodobně nacházel zářez pro tětivu [3]. Síla luku je odhadována na 100lbs. (45 kg).



Obr. 3.9 Nález luku z Ballindery (Irsko) [3]

Další fragment luku vyrobeného z tisu v délce 40,1 cm, byl nalezen na slovanském hradišti **Oldenburg** ve východním Holštýnsku. U tohoto luku je zvláštností možnost variabilní zavěšení tětivy. Na konci ramene luku, jsou čtyři zářezy umístěné v párech nad sebou, vzdálenost zářezů je 4,2 až 6,0 cm od konce luku [7]. Teorie pro toto uspořádání je dvojitá. Jestliže se použije tětiva ze šlach či kůže, tak se při navlhnutí silně protahují, což způsobí ztrátu výkonu luku. Toto lze upravit, jestliže je tětiva posunuta na zářez blíže konci luku. Další použití tohoto řešení je možnost změny vzdálenosti mezi středem luku a tětivou (ang.-brace height), a tím luk optimalizovat pro druh zamýšlené střelby. Jestliže je potřeba dlouhého dostřelu, je vhodnější, aby měl luk menší „brace height“. Je-li luk používán na lov, vhodnější je mít „brace height“ vyšší.

Nález luku z Mikulčic (8.stol)



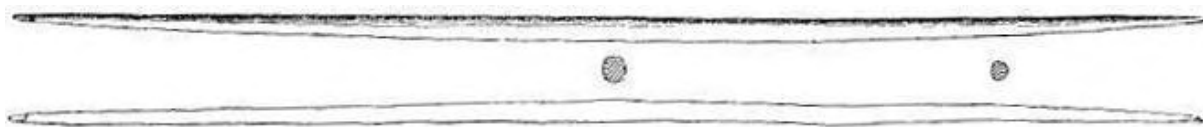
Obr. 3.10 Dochovaná část luku nalezeného v Mikulčicích [8]

Tento fragment tisového luku (obr. 3.10) pochází ze zaniklého hradiště v Mikulčicích (ČR) z doby velkomoravské. Luk se vyznačuje poměrně plochým obdelníkovým profilem se zaoblenými hranami. Na konci fragmentu luku se nachází neobvyklé zakončení špiče luku, na kterou byla nasazována tětiva. Tato speciální konstrukce má zřejmě zajistit dostatečnou pevnost a tuhost pro místo nasazení tětivy, a zároveň má zajistit malou hmotnost a odpor špičky. Z nálezů nelze určit, jestli je dochovaná část luku spodním či vrchním ramenem.

Délka fragmentu luku je 86,4 cm. Jeho rozměry v neporušené části jsou 3,4x 2,3 cm. V koncové části před rozšířením jsou rozměry 2,2x1,2 cm. V místě pro tětivu jsou rozměry 1,4x2,5cm. Z fragmentu lze odhadovat délku luku v rozmezí 170 – 195cm. Závažnosti luku jsou poměrně plochá, což značí, že byl vyroben z většího kmínku tisu, než bylo obvyklé např. u luků z Hedeby. Replika vyrobená z jasanového dřeva podle dochované části tohoto luku měla náťahovou sílu 75lbs. (34kg). Původní síla luku se tedy mohla pohybovat v rozmezí 54-77 lbs. (25-35kg). Tyto napínací síly luků byly dostatečné pro lov i bojové použití v dané době.

Mnoho dalších nálezů luků mezi 11. a 16. stoletím není. Jedním z nich je luk nalezený v **Southamptonu**, který na menší rozměry, ale obdobný tvar a zpracování jako luky z lodi Mary Rose. Pravděpodobně pochází z 14. - 15. století. Podle jeho rozměrů se zřejmě jednalo o lovecký luk ze silou kolem 75lbs (34 kg).

Nálezy luků z lodi Mary Rose (r. 1545)



Obr. 3.11 Náčrt luku z lodi Mary Rose [3]

Mary Rose byla vlajkovou lodí anglického krále Jindřicha VIII. Ztroskotala v roce 1545 blízko přístavu v Portsmouthu. Z její paluby bylo v roce 1981 postupně vyloveno 137 výborně zachovalých luků (obr. 3.11) a více než 3500 šípů [9]. Nalezené luky jsou z velmi kvalitního tisu dováženého z Alp, kde byly pro toto dřevo ideální růstové podmínky. Např. u jednoho z luků bylo naměřeno 63 letokruhů na centimetr, což je několikanásobně vyšší než u luků z dřívějších dob jako Nydam, Hedeby, apd. Také to značí, že polotovary pro luk pocházely ze stromu starého přibližně 600 let. Tyto luky vznikaly v době, kdy bylo rytířů běžně používáno plátové brnění, a to se také odráželo v jejich náťahových silách. Rozptyl sil luků z Mary Rose se uvádí mezi 100-200 lbs. (45-90kg), přičemž většina luků byly pravděpodobně v rozmezí 110-180 lbs.(50-80kg). Z testů prováděnými replikami těchto luků vyšlo najevo, že k proražení průměrné plátové zbroje z tohoto období je potřeba minimálních náťahových sil kolem 110-130 lbs. (50-60 kg) [9].

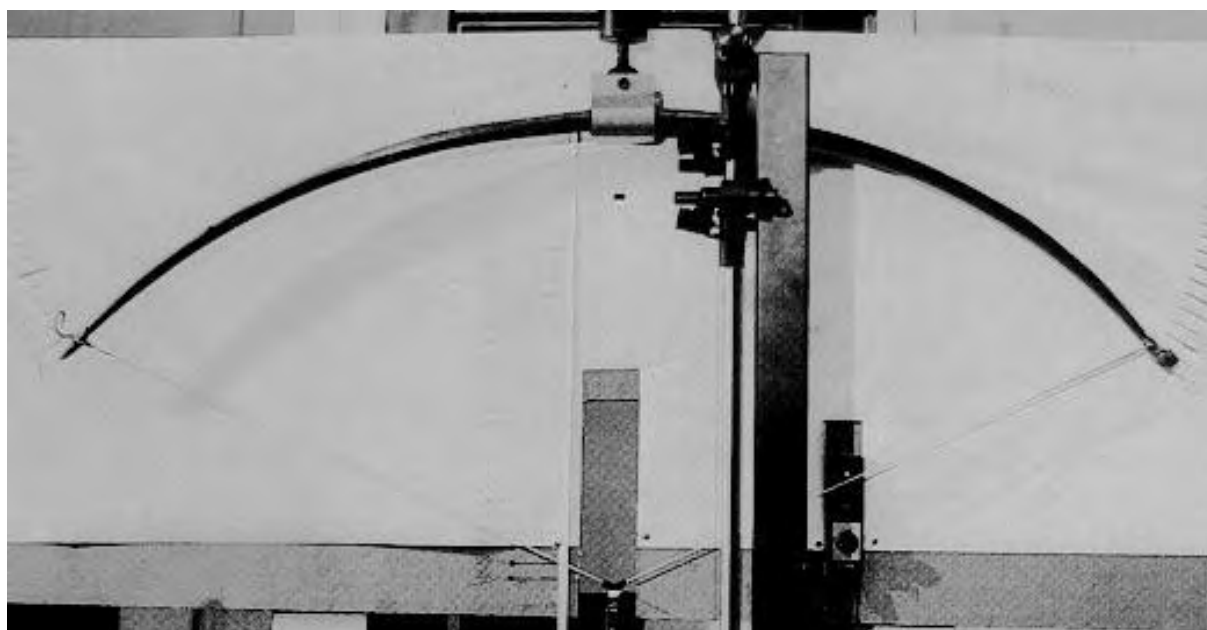
Jelikož tyto luky dosahovali tak extrémních náťahových sil, muselo v jejich konstrukci oproti starším lukům dojít ke změně. Touto změnou bylo používání rohových končíků na špičky luku, do kterých byl udělán jednostranný zářez pro tětivu. K tomuto kroku vedlo pravděpodobně časté lámání v oblasti špiček u luků bez končíků, jelikož už tak zatěžované ztenčené špičky byly ještě zeslabeny zářezem pro tětivu.

Tab. 3.1 Hodnoty náťahových sil luků z MR [9].

označení luku z MR	náťahová síla [lbs.]	náťahová síla [kg]	hustota dřeva ρ [g/mm ³]
X1.1	101	45,8	
A812	110	49,9	
A3952	115	52,1	0,55
A1654	124	56,2	
A1648	136	61,7	0,63
A3975	137	62,1	0,53
A1607	185	83,9	0,62

Pozn.: všechny náťahové síly byly určovány pro délku náťahu 30“ (76,2 cm).

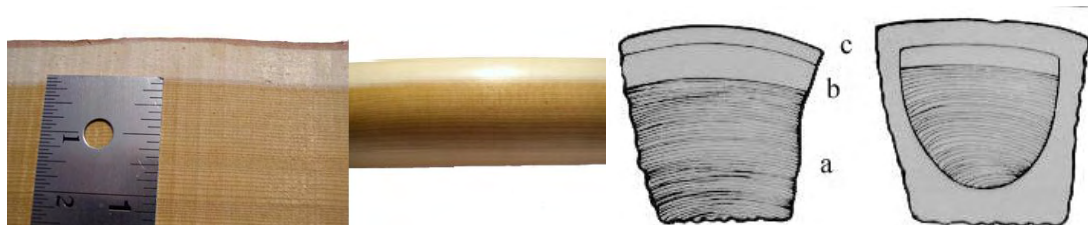
Údaje z tab. 3.1 však nemusí být úplně přesné, např. náťahová délka luků mohla být odlišná. Na palubě MR se našly šípy rozdílných délek, od 28,5“ (72,4cm) až po 32“ (81,3 cm). Odborníci předpokládají náťahové délky spíše v rozmezí 30“–32“, což by znamenalo ještě větší síly u zkoumaných luků, než jsou v tab. 3.1.



Obr. 3.12 Měření síly nalezeného luku s ozn. A1648 při předpokládaném plném náťahu 30“ (76,2cm) [9]

Z výsledků počítačových modelů, výroby a testování replik, a dokonce z měření samotných nálezů z Mary Rose (obr. 3.12) vyplývá, že tyto luky byly schopné účinně prorážet tehdy dostupné ochranné zbroje, včetně plátového brnění.

Nejkvalitnějším a také nejvíce používaným dřevem na výrobu celodřevěných luků v Evropě je **Tis Červený** (*taxus baccata*). Je to velice pomalu rostoucí jehličnatá dřevina, která je kromě dužiny plodů celá jedovatá. Tisové dřevo je tvořeno bělí pod kůrou stromu, a jádrovým dřevem. Barva bělí je v rozmezí světle žluté až bílé, barva jádrového dřeva tisu se pohybuje od světle oranžové až po tmavě hnědou [9].



Obr. 3.13 Tisové dřevo: a) jádrové dřevo, b) běl, c) kůra [1]

Právě odlišné vlastnosti těchto dvou dřev v jednom stromě dělají z tisu vhodné dřevo na výrobu luků. Jádrové dřevo umístěné na břichu luku je odolné tlaku a dává luku jeho sílu a pružnost, běl tisu je odolná na tah a proto je umístěna na záda luku, kde je namáhána na tah a zabraňuje porušení luku při nátahu (obr. 3.13). Kvalita tisového dřeva se hodnotí hlavně podle počtu letokruhů na palec (popř. cm). Čím má dřevo větší počet letokruhů, tím je hustější, a tím má lepší mechanické vlastnosti. Nejdůležitější vlastností dřeva na luk je jeho schopnost uchovat max. množství vložené energie na jednotku hmoty. Pro tis vyšla hodnota 0,657 [J/g], pro jilm 0,530 [J/g], borovice 0,395 [J/g] a pružinová ocel 0,746 [J/g] [9].

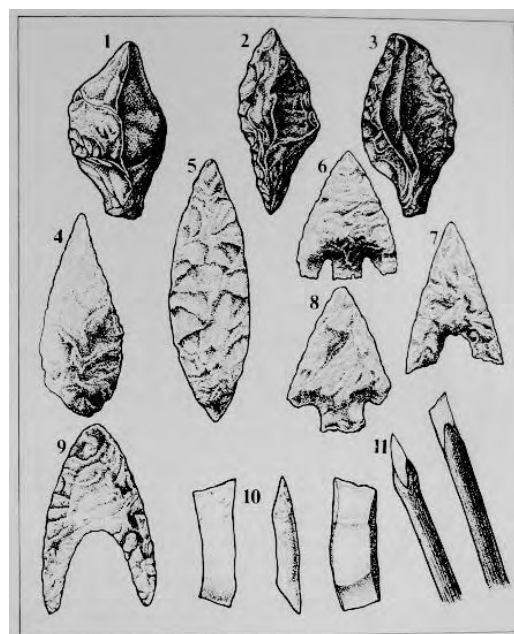
3.2 Hroty

3.2.1 Historický vývoj hrotů

Vznik a vývoj hrotů střel do luků a později kuší je velmi úzce spojen se znalostí a dovedností člověka zpracovávat dostupné materiály. První luky se objevily už před desítkami tisíc let. Není a asi nemůže být známo, kdy přesně lidé poprvé vyrobili tuto elegantní a efektivní zbraň, ale znamenalo to převrat ve válčení a obstarávání potravy. Velký vliv na účinnost luku má šíp, a hlavně hrot, kterým je šíp osazen. Při prvním použití luku člověk zajistil účinnost své zbraně pouhým zaostřením dřevěného šípů do špičky, která mohla být následně opálena pro zvýšení tvrdosti. Historické nálezy dokazují použití kamenných nebo pazourkových hrotů (obr. 3.14, 3.15), které byly opracovávány do potřebného tvaru. Samotná výroba nástrojů z pazourků a dalších štípatelných nerostů je velmi obtížná, o to víc zručnosti bylo zapotřebí pro vyrobení šípů, jehož hrot má složitější tvar a menší rozměry než ostatní vyráběné nástroje. Nejstarší nálezy pazourkových hrotů jsou z Tuniska, jejich stáří je odhadováno na 50 tisíc let [1]. Tvar a zpracování těchto hrotů bylo už v tak pokročilém stádiu vývoje, že se předpokládá chybějící článek mezi zašpičatělou tyčkou a přesně opracovaným pazourkem (obr. 3.15). Tímto chybějícím článkem mohly být hroty z kostí, parohů, zvířecích zubů nebo i z trní, které se bohužel nemohli dochovat do dnešních dnů. Tento fakt naznačuje použití luku mnohem dříve než je důkaz nalezení prvních hrotů.



Obr. 3.14



Obr. 3.15

Obr. 3.14 Repliky pravěkých štípaných hrotů [10]

Obr. 3.15 Kamenné a pazourkové hroty šípů: 1,2,3 – z doby středního paleolitu; 4,5 – neolitické listového tvaru; 6 – z doby bronzové s břitvy; 7,8 – z doby mezolitické; 9 – Egypt - doba předfaraonská; 10,11 - hroty kultury Ertebolle (Dánsko) [1]

Lidé byli postupem času schopni zpracovávat kovy a vytvářet jejich slitiny, což vedlo k využití těchto znalostí k výrobě hrotů, které mohly mít dokonalejší tvar i lepší mechanické vlastnosti. Prvním použitým kovem byla pravděpodobně měď a později mnohem více používaná slitina mědi a cínu – bronz.

Počátek doby bronzové lze datovat mezi lety 3000 - 2000 př.n.l., kdy vznikali nejranější státní útvary. V tomto období propukají první větší vojenské konflikty, v kterých

měl velké uplatnění i luk. Bronzové hroty byly vyráběny především odléváním, což umožňovalo vytváření hrotů složitých tvarů a různých velikostí (obr. 3.16, 3.17, 3.18, 3.19). Nejpodstatnější ale byla schopnost produkovat tvarově i hmotnostně identické hroty ve velkém množství, což umožnilo využití luků jako právoplatné válečné zbraně [9].



Obr. 3.16 Bronzový hrot s třemi křídélky
(3.st.př.n.l.) [11]



Obr. 3.17 Bronzový hrot s křídélky
(7.st.př. n.l.) [11]



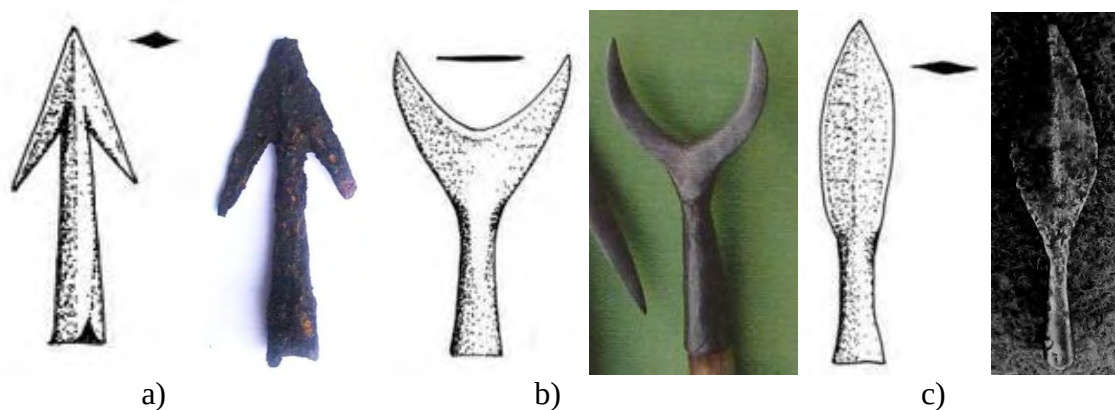
Obr. 3.18 Trojbřitý bronzový hrot
(5-7.st.př.n.l.) [11]



Obr. 3.19 Bronzový hrot s žebrem
(7.st.př. n.l.) [11]

Luk a šípy byly využívány nejen pro polní bitvu, ale jejich význam byl ještě výraznější při obraně pevností či měst, kdy byl střelec schopen bránit pozici po celou dobu útoku, jelikož měl na rozdíl od polní bitvy výhodnější polohu a byl lépe chráněn. Pravděpodobně již v této době došlo k separaci hrotů určených pro boj od těch, které byly určeny pro lov zvěře. Důvodem bylo především vylepšování ochranné zbroje, jejíž vývoj byl určující pro hroty, šípy a luky celkově.

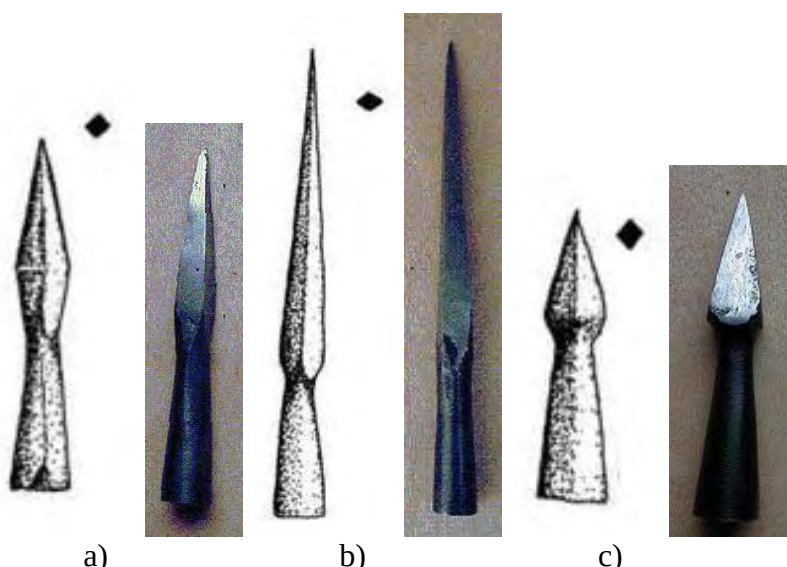
Lovecké hroty se vyznačují maximální řeznou plochou, aby způsobily zvířeti co největší řeznou ránu a tím i velkou ztrátu krve. Pochopitelně jejich tvar byl rozdílný pro lov vysoké, menší zvěře nebo ptactva. Základní typy loveckých hrotů jsou hroty s křídélky (obr.3.20a), které dobře drží v ráně a listový tvar hrotu (obr.3.20c), který způsobuje menší zranění, ale je méně náročný na výrobu. Dalším nepříliš známým hrotem používaný na lov je „vidlicový“ hrot (obr. 3.20b), jehož břity jsou na rozdíl od předešlého hrotu s křídélky obráceny špičkami proti směru letu, a tím se vytvoří „V“ nebo „U“ tvar břitů. Tento specifický hrot způsobuje větší řeznou ránu, než hrot s křídélky, ale může snadněji vypadnout z rány. Tento hrot měl pravděpodobně vícero použití, ale hlavně byl používán pro lov ptáků. Snad nejúčinnějším typem loveckých hrotů je trojbřitý (či čtyřbřitý) hrot, způsobuje největší zranění a mohl být vyráběn i se zpětnými břity. Jeho výroba odléváním z bronzu byla snadná, naopak pozdější vykování ze železa bylo velice náročné, proto se mezi nálezy často nevyskytuje [9].



Obr.3.20 Nejčastější typy loveckých hrotů: a) hrot s křídélky b) vidlicový hrot
c) listový hrot [9]

Všechny zmíněné hroty mají bojové uplatnění např. proti lehce oděným bojovníkům anebo proti koním jízdy. Ale i tyto typy hrotů doznaly změn, aby bylo zajištěno účinnosti v případě dopadu na lépe obrněný cíl. Základní potřebou bylo zajistit tuhost hrotu, což se dosahovalo vykováním nebo odlitím žebra, které bylo hlavně u kovaných hrotů pracné, a většinou se pro tyto účely vytvářely kovací zápustky. U loveckých hrotů bylo žádoucí, aby byl hrot v jedné ose co nejštíhlejší, a tak mohl proniknout hlouběji a způsobit větší zranění. U vojenských hrotů tohoto typu je viditelné zmožutnění v ose hrotu, nebo i v celém průřezu, aby nedošlo při dopadu na chráněný cíl k deformaci hrotu a tím i k zhoršení průbojnosti.

Naprostě novým typem hrotu pro vojenské účely byl hrot se špičkou ve tvaru jehlanu s obdélníkovým respektive kosočtvercovým profilem špičky, který neměl žádné řezné břity či křídélka. Často bývá označován podle anglo-saské literatury jako typ „bodkin“ (obr. 3.21). Tento hrot není na lov vhodný, jelikož průřez špičky střely téměř nepřesahuje obrys dřevěného dřívku šípu. To způsobí při zásahu zvířete ucpání rány, a i kdyby zvíře nezemřelo na vykrvácení, ale na zásah důležitého orgánu, půjde bez krvácení velmi špatně vystopovat. Oproti tomu při bojovém použití hrotů není nezbytně nutné protivníka zásahem střely zabít, ale vyřadit z boje.

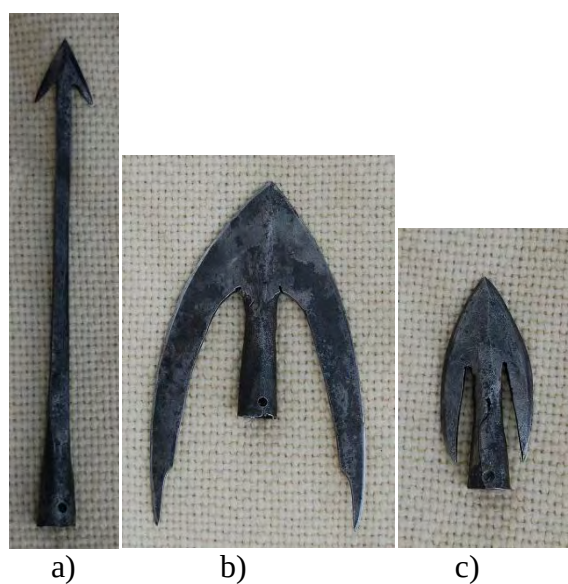


Obr. 3.21 Hroty typu „bodkin“ s obdélníkovým popř. kosočtverečným průřezem:
a) univerzální bodkin b) dlouhý bodkin (proti kroužkové zbroji) c) krátký bodkin
(malá hmotnost) [12]

První použití železa lze datovat do 12. - 11. století př. n. l. ve světě (Řecko, Indie), a mezi 8. -6. stoletím př. n. l. v Evropě. Jakmile lidé dokázali železo tepelně zpracovávat, měli k dispozici mnohem kvalitnější materiál než předtím používaný bronz. Železné rudy byl zpočátku velký nedostatek, jelikož lidé železo nezískávali těžbou v jamách a později v dolech jako v pozdějších dobách, ale převážně sbíráním meteoritického nebo povrchového železa. Jelikož byly železné hroty vykovávány, byla výroba některých tvarů oproti odlévaným bronzovým hrotům složitější [13]. Z raných železných hrotů je vsazení na šíp řešeno vykováním trnu – řapu, díky němuž byl hrot lehčí a jednodušší na výrobu. Tento typ upevnění hrotu na šíp vyhovoval pro střelbu na zvěř nebo na protivníka s horší ochrannou zbrojí, jako např. prošívaný nebo vycpávaný kabátec, či kožená zbroj vytvrzená vyvařením. Jakmile se začali používat vyspělejší typy zbrojí jako kroužkové, šupinové, lamelové, falérové či jiné brnění, tak se šípy osazené hroty s trnem při dopadu lámali. Proto se začalo více používat hrotu s tulejí, která zaručovala spojení hrotu s šípem větší pevnost při dopadu na obrněný cíl. Hlavně ve skandinávských zemích se na nálezech ranně středověkých hrotů objevují malé otvory na konci tuleje (obr. 3.22a, b, c). Sloužily k lepšímu upevnění hrotu k dřevěnému dříku pomocí malého hřebu. Výroba hrotu s tulejí nebyla ještě úplně zvládnuta, což dokazuje množství nálezů hrotů, které nemají tulej na konci plně sbalenu (přeplátovánu), nebo sbalenou u krčku hrotu. Proti kroužkové zbroji byl postupně vyvinut tzv. dlouhý bodkin, který měl dlouhou štíhlou špičku, aby mohl při zásahu účinně roztáhnout kroužky zbroje a tím proniknout hlouběji a způsobit větší zranění.

Dokud nebyly zaváděny první plátové doplňky a později celoplátové zbroje byla právě kroužková zbroj (neboli brň) nejdokonalejší ochranou bojovníka. Velmi důležitý byl také podklad, na kterém bylo brnění nošeno. Nejjednodušší varianty tohoto ochranného oděvu mohly být jen kožešiny nebo zpevněné kabátce, pro nejmajetnější byly k dispozici hustě vycpávané a prošívané vrstvy látek, aby co nejvíce tlumily údery zbraní.

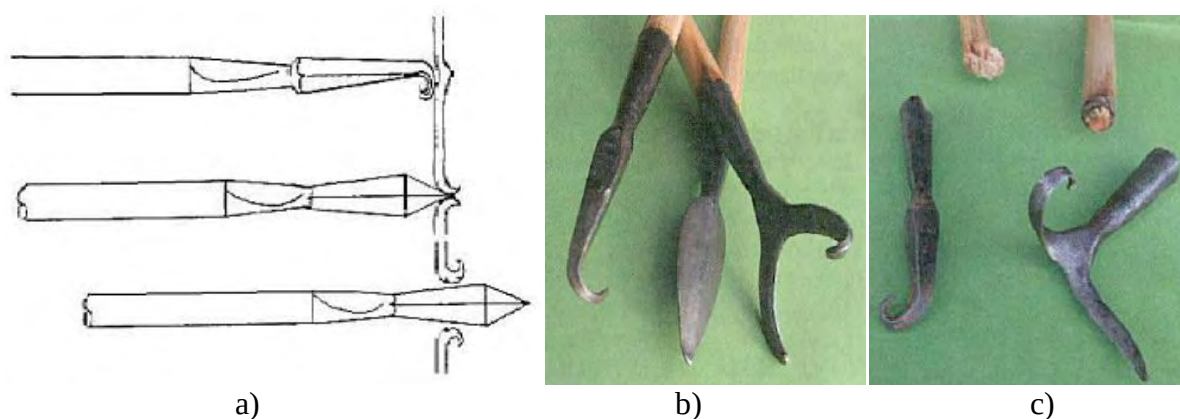
Až spojením kvalitního podkladu a zbroje byla zajištěna maximální ochrana bojovníka. Toto řešení bylo částečně účinné hlavně proti sečným zbraním, jako byly meče nebo dlouhé bojové nože, ale už méně odolné byly proti drticím či bodným zbraním, jako např. těžké sekery, kyje, palcáty, popř. kopí a určitě i šípy. Prakticky jediným účinným prostředkem proti šípům byl štít, který byl nedílnou součástí výbavy většiny bojovníků.



Obr. 3.22 Repliky typů hrotů s tulejí: a) ohnivý hrot s křídélky a tulejí s otvorem b) velký hrot s křídélky a tulejí s otvorem c) hrot s přiléhajícími křídélky a tulejí s otvorem [fotky J. Petřina]

Postupem času se zdokonalila výroba a zpracování oceli, a proto mohly vznikat první plátové doplňky pro kroužkovou zbroj. Na konci 13. a začátku 14. století to byly např. chrániče loktů nebo plátové náhleníky. Toto vyvrcholilo vznikem kyrsu, který chránil hrud', později i celý trup rytíře. Přestože si tuto zbroj mohli ze začátku dovolit jen král a nejvyšší postavení šlechtici a válečníci, znamenalo to další krok ve vývoji hrotů střel, a síly luků a kuší, z kterých byly stříleny. Proti této zbroji se ukázal jako nejúčinnější hrot typu „bodkin“ s čtvercovým resp. kosočtvercovým průřezem, který ale musel doznat změn ve tvaru i hmotnosti.

Jelikož byla plátová zbroj tvrdší a méně poddajná než předchozí brnění, změnil se úhel špičky, která zbroj prorážela. Jestliže měl hrot příliš štíhlou špičku, tak se po nárazu deformovala (obr. 3.23), a tím ztratila velkou část energie potřebnou k proražení zbroje. Stejný princip funguje u střel z nekvalitní oceli, kdy se může i u hrotu s optimálním úhlem špičky materiál na konci deformovat. Tímto se také zvětší plocha působení hrotu a tím se zmenší napětí působící na zbroj a také pravděpodobnost jejího proražení. Velký význam na účinnost průniku má hmotnost střely a tím také hmotnost hrotu.



Obr. 3.23 Princip průbojnosti hrotů: a) závislost průbojnosti na úhlu špičky b) deformace hrotů při pokusech na brigantýně c) deformace a odlomení hrotů při pokusech na plátové zbroji [9]

V Evropě bylo používáno převážně dlouhých dřevěných luků a kuší, jejichž konstrukce byla optimální pro použití těžkých šípů a šípek. Napínací sílu těchto zbraní bylo potřeba zvýšit kvůli nutnosti prorážet plátovou zbroj. Testy ukázaly, že na proniknutí kroužkové zbroje i s podkladem bylo zapotřebí menších napínacích sil. U luku přibližně 65lbs. (30kg) a více, a pro proražení plátové zbroje dostačovaly síly v rozmezí minimálně 110-130lbs.(50-60kg). Přesto se síla nejvýkonnějších luků zastavila na hranici 190-200lbs.(85-90kg) [9].



Obr. 3.24 Hroty proti plátové zbroji: a) b) repliky hrotů pro šípy do luků, c) nálezy hrotů pro šípy do luků, d) nálezy hrotů pro šípky do kuší (liší se hlavně větší mohutností, hmotností a větším průměrem tulejky oproti hrotům na šípy) [9]

Typů hrotů a šípů používaných v bitvách bylo více. Když bylo zapotřebí dosažení maximálního dostřelu, používaly se poměrně lehké šípy, které v místě dopadu neměli tak vysokou průraznost, ale mohli vyřadit z boje koně nebo lehčeji obrněné bojovníky. Na bližší vzdálenosti se pak používaly těžké šípy, které byly schopné prorazit i plátové brnění útočícího rytíře (obr. 3.24). Pravdivost tohoto tvrzení podporuje např. vydání zákona z roku 1542 anglickým králem Jindřichem VIII., který nařizuje zákaz střílení na vzdálenost menší než 240 yardů (215 m) všem mužům nad 21 let [1]. Při tom nesmí být použito „lehkého“ šípu, což znamenalo hmotnost šípu menší než 3 oz. (72 g). Pro dosažení takové vzdálenosti s tak těžkým šípem bylo zapotřebí velmi silných luků, jejichž síla se pohybovala spíše v horní oblasti předpokládaných sil vojenských luků (65-90kg) [9].



Obr. 3.25 Replika válečného luku a šípu [14] Obr. 3.26 Exponáty kuší a šipek [15]

Na konci 17. století byly napínací síly posledních vojensky používaných kuší extrémní, dosahovaly až několika stovek kilogramů (1500-2500 N). Postupné používání dokonalejších materiálů na lučiště kuší od dřeva; kompozitu složeného ze šlach, dřeva a

rohoviny až po ocelová lučiště vedlo k zvýšení napínacích sil u kuší, ale také k delšímu času potřebnému k nabití zbraně. Proto se také lišilo napínání kuší rozdílných napínacích sil. Od nejrychlejšího napnutí kuše opřením o břicho, až po zdlouhavé napínání pomocí heveru u nejsilnějších kuší. Luky a kuše dosáhly svého výkonnostního vrcholu jiným způsobem. U kuší to byly pevnostní charakteristiky materiálu, z kterých bylo vyrobeno lučiště, u luků to bylo naproti tomu dosažení hranice fyzických schopností trénovaného vojáka. I u těch nejsilnějších jedinců s celoživotním tréninkem a optimální tělesnou stavbou byla hranice náťahových sil luků kolem 90 kg.



Obr. 3.27 Umučení Sv.Šebestiána– dobové vyobrazení kuše a luku s šípem osazeným hrotem se zpětnými křídélky [4]

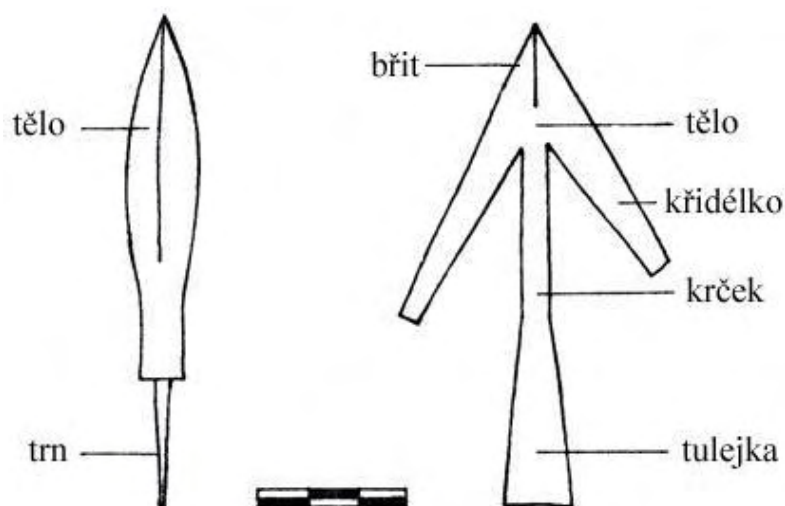
Nástup prvních palných zbraní v Evropě 15. století neznamenal vytláčení již používaných luků a kuší. První palné zbraně byly většinou velké děla a kanóny, které nebyly příliš účinné a přesné a sloužili spíše jako psychologická výhoda, jelikož bojovníci a zvířata (hlavně koně rytířů) nebyla zvyklá na hluk těchto zbraní. Přestože byla děla postupem času zdokonalována a na bojišti měly čím dál tím větší bojové uplatnění, vývoj ručních palných zbraní byl složitější. Byly málo průbojné, nepřesné, často poruchové a s malou kadencí, a proto také byly luky a kuše (obr. 3.27) souběžně používány až do konce 16., a i v 17. Století (hlavně kuše). Nakonec byly ruční střelné zbraně zdokonaleny tak, že zcela nahradily luky i kuše v loveckém i vojenském použití. Jejich výhodou byla postupně dosažená vyšší kadence, průbojnost, přesnost, ale také zřídka zmiňovaná menší cena projektilů oproti ceně šípů a šípek pro kuše a luky, a v neposlední řadě také snadnější zvládnutí zbraně a tím i kratší a méně nákladný výcvik v jejich ovládnutí.

Nahrazení luků a kuší jinými zbraněmi ale neznamenal jejich vymizení z historie. Nedlouho po vymizení luku jako vojenské zbraně začal sloužit jako zdroj zábavy při rekreační nebo sportovní střelbě. Na východě (Korea, Čína) bylo dáno zákonem používání luků i po nástupu palných zbraní kvůli snaze udržet fyzickou zdatnost populace potřebnou k ovládnutí této zbraně. V poslední době je také použití luků a kuší spojeno s výzkumem a bádáním v oblasti použití těchto zbraní v historii. Skupiny odborníků i nadšenců pracuje s historickými podklady a nálezy a zkoumají v praxi s vyrobenými replikami luků a kuší autentických sil a výkonů, jak byly tyto zbraně používány, jakou měly účinnost a dostřel, jak byly vyráběny, atd. Mnoho nejasností a otázek již bylo zodpovězeno, ale mnoho dalších čeká na vyřešení.

3.2.2 Typologie středověkých hrotů

Názvosloví a typologie hrotů do luků a kuší jako celku u nás není zpracována, proto bude v této práci použito nejpoužívanější rozdělení typu hrotů do luků podle katalogu typologie středověkých hrotů z londýnského muzea (org.-London Museum Medieval Catalogue) [16].

Nejzákladnější dělení typů hrotů je na hroty s trnem a hroty s tulejkou. Na obr. 3.28 jsou popsány základní části hrotů.

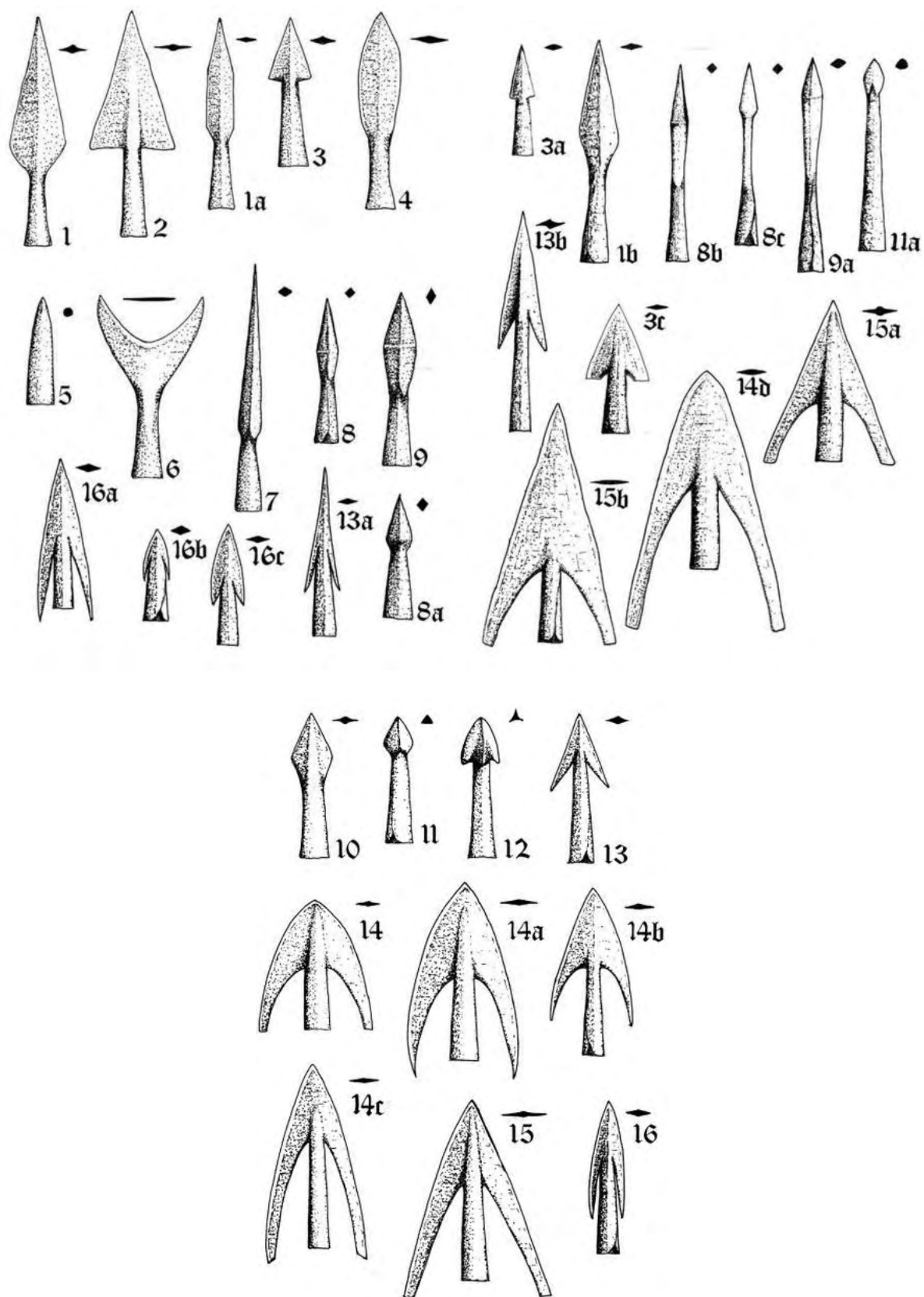


Obr. 3.28 Názvosloví částí hrotu [16]

V průběhu středověku a také v závislosti na oblasti výskytu se typy a tvary hrotů mění. V období raného středověku lze již sledovat ubývající počet hrotů s trnem na úkor hrotů s tulejkou. V nálezích z vrcholného a pozdního středověku se hroty s trnem téměř nevyskytují, proto jsou katalogy a typologie středověkých hrotů tvořeny téměř výhradně hroty s tulejkou (viz.- London Museum Medieval Catalogue).

Typy hrotů pro vytvoření určité typologie se vybírají z nálezů hrotů z určité oblasti nebo území. Není to výčet všech druhů a tvarů hrotů, ale jen výběr jejich nejpočetnějších a nejznámějších typů.

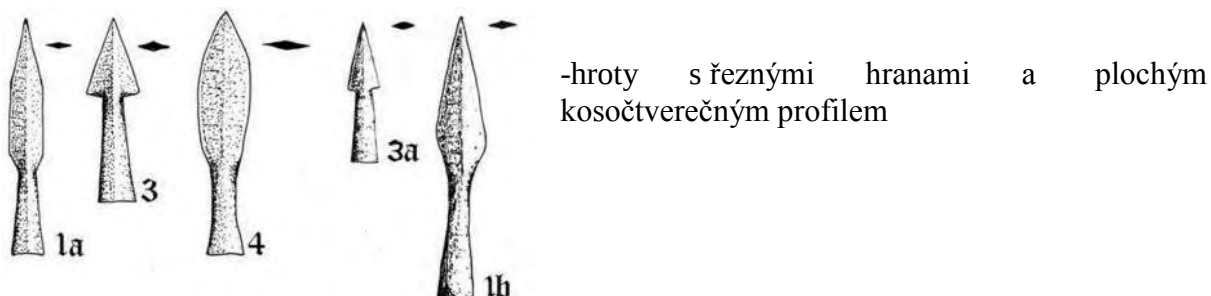
Typologie hrotů dle „London Museum Medieval Catalogue“



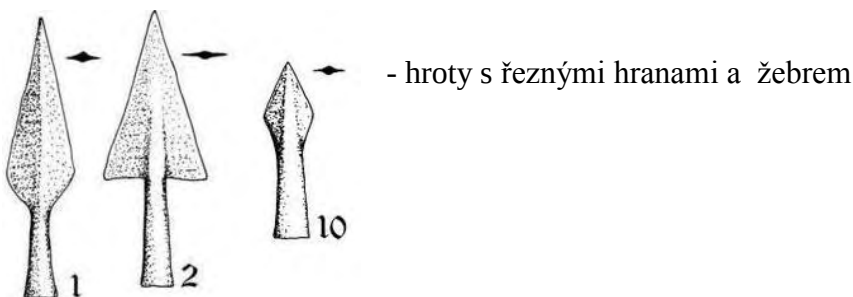
Obr. 3.29 Typologie hrotů dle London Museum Medieval Catalogue [17]

Při předpokladu všech hrotů s tulejí je dalším rozdělení hrotů na typy s řeznými břity nebo na hroty typu „bodkin“.

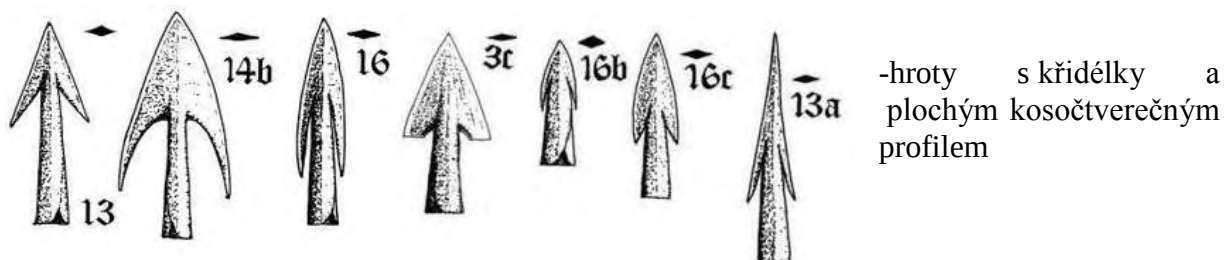
Hroty s řeznými břity lze dále dělit na hroty s řeznými hranami, a na hroty s křídélky. Tyto lze dále rozdělit na hroty s křídélky přesahující tulejku, a na hroty s křídélky nepřesahující tulejku. Dále lze rozdělit hroty s řeznými břity podle profilu břitu na hroty s plochým profilem, s kosočtverečným profilem a s žebrem. Žebro často tvoří část tulejky zasahující do profilu břitu. Také lze rozlišovat typy řezných hrotů podle tvaru a umístění křidélek vůči tulejce. Podle tohoto rozdělení lze pojmenovat různé tvary hrotů s břity:



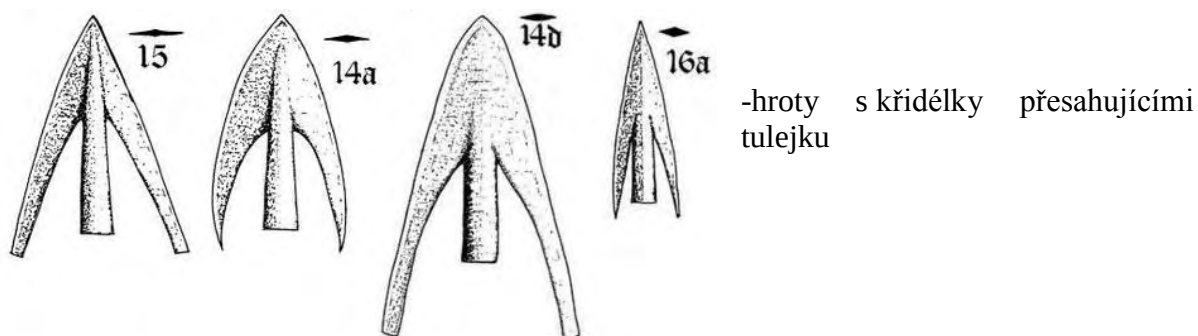
Obr. 3.30 Náčrt hrotů typu 1a, 3, 4, 3a, 16a [16]



Obr. 3.31 Náčrt hrotů typu 1, 2 a 10 [16]

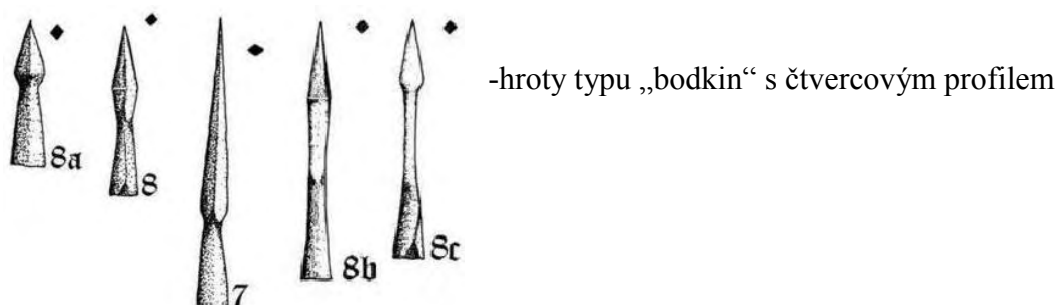


Obr. 3.32 Náčrt hrotů typu 13, 14b, 16, 3c, 16b, 16c, 13a [16]

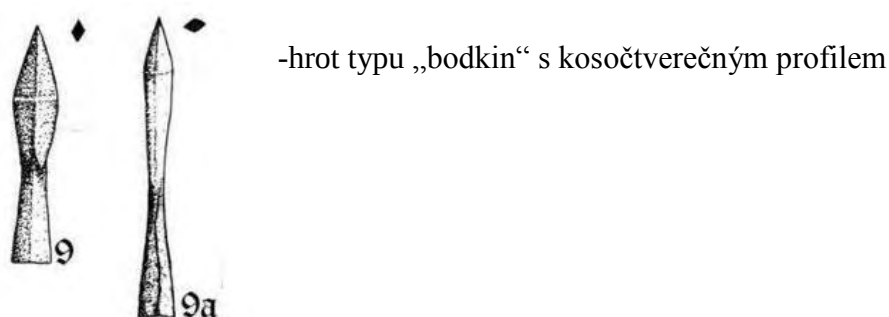


Obr. 3.33 Náčrt hrotů typu 15, 14a, 14b a 16a [16]

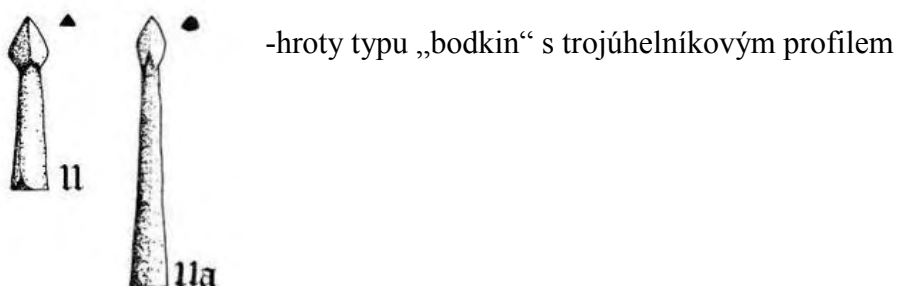
Hroty typu „bodkin“ lze rozdělit podle tvaru profilu na hroty s čtvercovým, kosočtverečným a málo se vyskytujícím trojúhelníkovým profilem, který je obtížnější na vykování.



Obr. 3.34 Náčrt hrotů typu 8a, 8, 7, 8b a 8c [16]

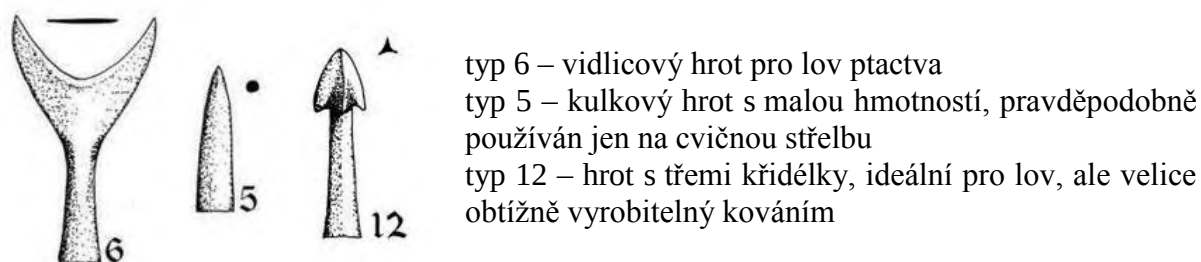


Obr. 3.35 Náčrt hrotů typu 9 a 9a [16]



Obr. 3.36 Náčrt hrotů typu 11 a 16a [16]

Nezařazené typy hrotů



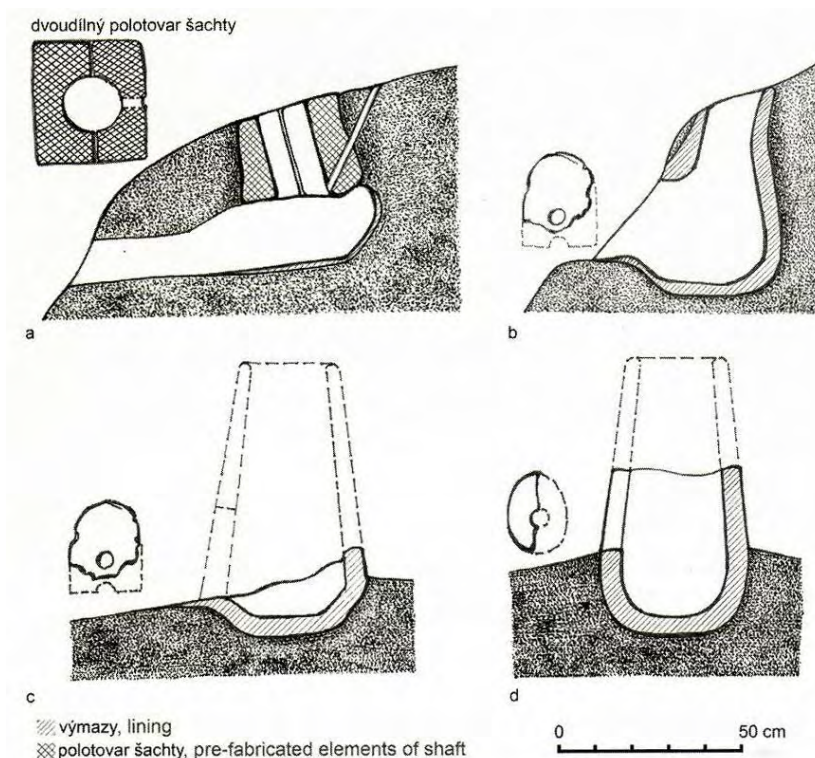
Obr. 3.37 Náčrt hrotů typu 6, 5 a 12 [16]

3.2.3 Technologie výroby a zpracování železa

Jelikož se tato práce zabývá analýzou hrotů z období raného středověku, bude v této kapitole kladen důraz právě na zpracování železa v raném období středověku.

Ruda získaná těžbou byla na velkomoravském území převážně typu limonit a goethit. Objevovaly se hlavně ve tvaru bochníkových konkrecí, nebo deskovité vrstevné polohy[13]. Nej kvalitnější ruda měla obsah železa až 70%. Průměrný obsah byl ale kolem 38% železa. Např. testované rudy z velkomoravské hutě U obrázku a z hutě Rudice měly obsah železa v 40-60%, popř. 50%. Vytěžená železná ruda byla za účel zvýšení koncentrace základního kovu podrobena několika úpravám. Úpravami za studena byly nejprve oddělení hlušiny, roztržení a proprání rudy, dále se ruda se drtila na kousky velikosti vejce, ořechu nebo i na drobnější. Staří taviči pravděpodobně roztloukali kousky rudy kladivy nebo palicemi, později se již běžně užívalo strojů poháněných vodní silou (od 14.stol.). Propráním rudy se odstraňovaly hlinité a kamenité součástky, přičemž se využívalo proudící vody a rozdílné specifické váhy u jednotlivých hmot rudní horniny. Úpravou rudy za tepla bylo pražení, díky němuž se stala ruda pórovitější a snázeji narušitelná, a tím byla přístupnější redukčním plynům a mohla být lehčeji tavitelná. Pražením ruda také takřka úplně ztratila svou vlhkost a tím v ní došlo ke zmenšení obsahu oxidu uhličitého a síry.

V období raného středověku se na našem území (hlavně Velkomoravském) používaly následující typy pecí: nejranější byla pravděpodobně silnostěnná, dále vtesaná zemní pec s dlouhým hrudním tunelem (obr. 3.38a), vestavěná pec s tenkou hrudí (obr. 3.38b), nadzemní šachtová pec s mělkou nístějí (obr. 3.38c), nadzemní šachtová pec s kotlovitě zahloubenou nístějí (obr. 3.38d) [13].

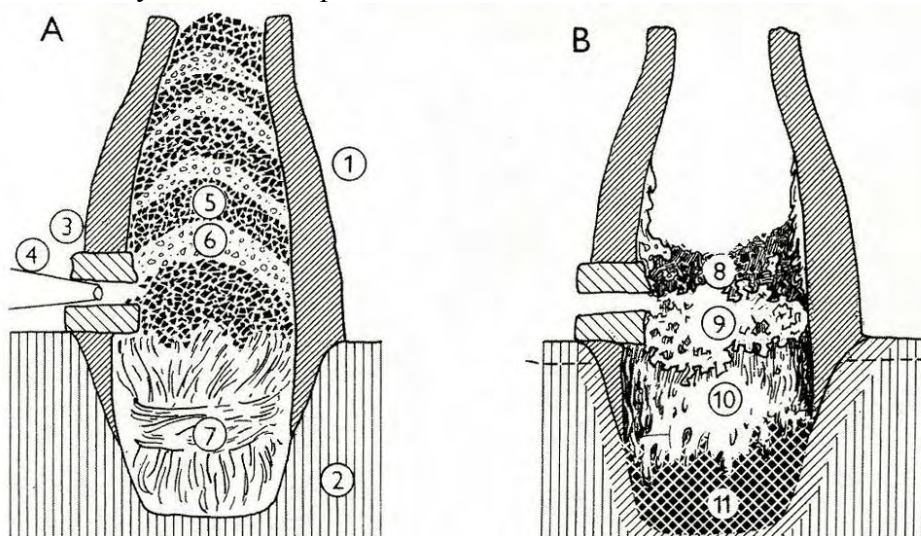


Obr. 3.38 Kresebné řezy typu pecí používaných v hutnických dílnách ve střední části moravského krasu: a- vtesaná zemní pec s dlouhým hrudním tunelem, b- vestavěná pec s tenkou hrudí, c- nadzemní šachtová pec s mělkou nístějí, d- nadzemní šachtová pec s kotlovitě zahloubenou nístějí [13]

Pec se pomocí dřevěného uhlí předehtřála a poté se zasypala střídavě vrstvami upravené rudy a paliva nebo přímo směsí těchto surovin v jednotlivých dávkách v pravděpodobně v poměru rudy a paliva 1:1. Jako paliva se k přímé výrobě železa používalo dřevěného uhlí. Dřevěné uhlí bylo získáváno částečným spálením dřeva za nedostatečného přístupu vzduchu. Toto se provádělo pravděpodobně v milířích, od toho vznikl také název milířování dřevěného uhlí. Jelikož je milířování velice náročné na spotřebu dřeva, byly hutnické dílny situovány do lesů, kde byl přístup nejen k velkému množství dřevin (převážně buk, dub, aj.), ale také přístup k vodě a jílu pro stavbu hutních pecí. Kvalita tohoto uhlí jako redukčního prostředku byla dostatečná. Vynikalo značnou hořlavostí a čistotou. V suchém stavu mělo 85 až 90 % uhlíku, 2 až 3 % vodíku a 5 až 10 % kyslíku. Obsah fosforu v popelu byl nejvýše 2%.

Měřítka úspěšnosti tavby je výtěžek z tavby, což je poměr hmotnosti vyredukované železné houby a hmotnost rudné vsázky vložené do pece. Z výsledků experimentálních taveb lze vyvodit následující závěry. Výtěžky z taveb se pohyboval v rozmezí úspěšnosti cca 20-50%. [13]

Tyto hodnoty jsou ovlivňovány mnoha faktory, jako typ použité pece, kvalita použité rudy (hlavně její kujnost), dále výtěžek rudy ovlivňuje rychlost hoření paliva a tím také rychlost průchodu rudné vsázky pecí. Oba faktory jsou přímo úměrné od rozměrů pece (šířka a výška). Tyto rané pece byly poměrně malých rozměrů, hlavně z důvodu spotřeby velkého množství vzduchu vháněného pomocí měchu, který měl omezenou velikost z důvodu fyzické náročnosti pro lidskou obsluhu (dokud se nezačali používat měchy poháněné vodní energií). Pro středověkou tavbu železa byly pravděpodobně charakteristické tři údobí tavby: a) zapálení a předehtřívání pece zaplňované pouze dřevěným uhlím – přípravné údobí, b) rovnoměrné přísazování dřevěného uhlí a železné rudy – aktivní údobí, c) dohořívání a chladnutí pece až do vyjmutí železné houby – závěrečné pasivní údobí [13].

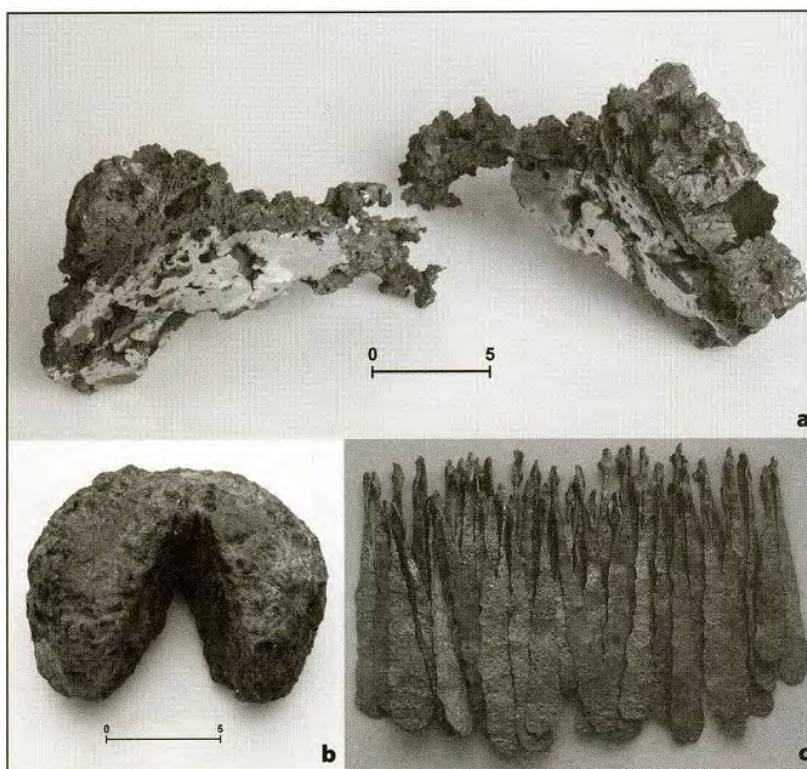


Obr. 3.39 Postup při výrobě železa v šachtové peci se zahloubenou nístějí: A – počáteční fáze: 1 nadzemní šachta (plášť pece), 2 podloží, 3 dyzny (dyšny), 4 měch, 5 dřevěné uhlí, 6 železná ruda, 7 syrové proutky jako výplň nístěje, B – konec procesu: 8 struska s kousky neredukované železné rudy a dřevěného uhlí, 9 produkt tavby (železná houba neboli houbovitě železo), 10 struskový slitek, 11 dřevěné uhlí a popel [13]

Z experimentálních taveb vyplynulo, že vložení většího množství vsázky zvyšuje výtěžek z tavby, a tím také snižuje potřebné množství dřevěného uhlí na vytavení 1kg železné houby. Např. u experimentální tavby ve vestavěné peci s tenkou hrudí byly pro výtěžnosti tavby 2,7%, 7,9% a 39,1% určeny měrné spotřeby paliva na 89,2 kg, 26,2 kg a 4,7 kg [13].

Předpokládá se, že středověcí hutníci měli úspěšnost tavby pravděpodobně lehce vyšší, než byly výsledky experimentálních taveb, díky svým zkušenostem a větším znalostem tavby, jejíž zapomenuté aspekty dnešní archeologové, archeometalurgové a experimentátoři postupně odhalují.

Po uplynutí až několika desítek hodin při redukčním pochodu v peci (obr. 3.39) vznikla (zpravidla v nížeji pece) železná hrouda velmi silně prostoupena struskou, drobnými úlomky nevyredukované železné rudy a zbytky dřevěného uhlí, zbytky výmazů ze stěn pecí a jinými nečistotami. Pro tuto nehomogenní hrouda je používán výraz železná houba (obr. 3.40a), jelikož její vzhled připomíná spíše houbu než jednolitý železný blok. Železná houba byla pravděpodobně již na místě dále zpracována, jelikož měla po vytažení z pece stále vysokou teplotu. Přestože nebyly kolem hutí většinou nalezeny výhně, je pravděpodobné, že železná houba byla zpracována již v nížeji samotné pece. Železná houba se čistila opakovaným ohřevem, otlučením povrchové vrstvy strusky a vytěsněním struskových vměstků a ostatních nečistot. Houbovité železo bylo zřejmě rozděleno na několik částí a poté čištěno.



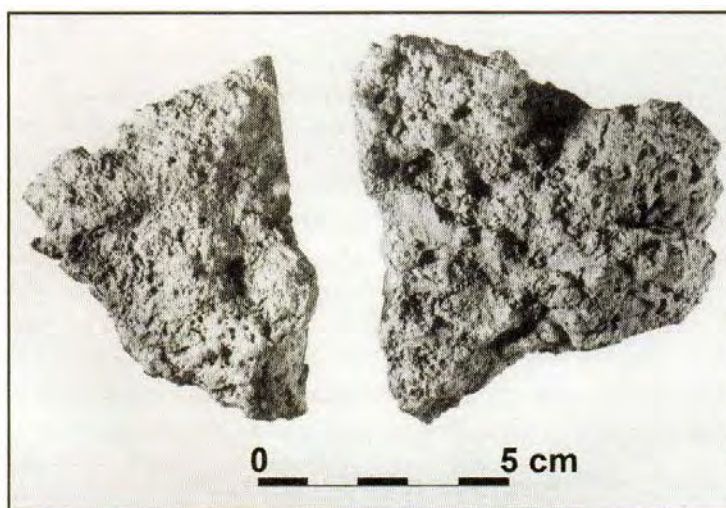
Obr. 3.40 Stádia zpracování rudy: a – řez železnou houbou (pokusná tavba), b – naseknutá železná lupa (Olomoučany), c – sekerovité hřivny (hradiště Bojná) [13]

Postupně bylo houbovité železo čištěno a překováváno, dokud nebylo dostačující kvality, a poté byl vykován železný polotovár. Tyto polotovary mohly mít několik základních tvarů, jako pruty, cihly, tyče, ale nejčastějším tvarem (také na našem území) byla železná lupa (obr. 3.40b). Lupa měla tvar bochníku o rozměrech decimetrů, a její hmotnost se většinou pohybovala v rozmezí několika kilogramů (0,5-2kg). Její jakost se zřejmě posuzovala naseknutím lupy, aby byla vidět struktura uvnitř. Jsou i nálezy nenaseknutých lup, ale podle jejich materiálového rozboru to byly pravděpodobně výsledky nepovedené tavby. Železné lupy sloužily jako polotovár pro další zpracování na již finální výrobky, nebo také jako platidlo, což dokazují i zprávy o placení daní kovářů v železe. Dalším a pravděpodobně významnějším platidlem a také kovářskou surovinou v předmincovním období byly

sekerovité hřivny (obr.3.40c), jejichž výskyt je v Evropě velice rozšířený. Pro každou oblast mají hřivny svůj typický tvar, např. ve Skandinávii měly tvar kladiva, jinde ve tvaru srpů, atd. Hřivny měli také různou velikost, a byla nalezena i hřivna s odseklou částí, což je pravděpodobně důkaz o placení a odseknutí potřebné části kovu. Důkazy používání hřiven jako platidla je několik nálezů „železných“ pokladů. Prvním je nález 4212 kusů hřiven o celkové váze 3630 kilogramů v Kannonniczej ulici pod Wawelem v Krakově. Další hromadný nález byl z mocenského centra Bojná na Slovensku, který obsahoval 1500-1600 hřiven [13].

Na následujících řádcích budou popsány metalurgické rozborů dvou nálezů železných polotovarů z velkomoravského období. Tyto rozborů však nemusí přímo souhlasit s rozborů struktur železných nástrojů a zbraní z tohoto období, jelikož ty byly dále zpracovány, jelikož ty byly dále zpracovány a jejich struktura byla více či méně změněna.

Nález dvou trojúhelníkových destiček (obr. 3.41) z hutnické dílny v lesním odd. č. 100 v polesí Olomoučany. Z počátku byly považovány za zlomky strusky, ale pomocí materiálové analýzy bylo dokázáno, že jde o homogenní kus svářkové oceli s obsahem poměrně malého množství metalických vměstků. Jednalo se o trojúhelníky s jednou stranou lehce zaoblenou, což vzhledem k jejich struktuře znamenat, že byly součástí plošně rozkované kruhové plotny, jenž byla polotovarem (nebo jeho předstupněm) stejně jako typ bochníkovité lupy [13].



Obr. 3.41 Nález železných trojúhelníkových destiček z hutnické dílny (Olomoučany, 10.-11.stol.) [13]

Struktura destiček je tvořena lamelárním (převážně jemným) perlitem, který je v oblastech bývalého austenitického zrna obklopen tenkým sítovým feritu, který také zasahuje po perlitických zrn v podobě tenkých dlouhých jehlic. Mikrotvrdoost feritu byla v rozmezí 250-350 HV, mikrotvrdoost perlitu se pohybovala v hodnotách 350-450 HV. Dle struktury byl obsah uhlíku 0,5 – 0,7%, manganu 0,017%, fosforu 0,059%, niklu 0,022%, obsah mědi nebyl zjišťován. Podle získaných dat jde tedy o poměrně čistou svářkovou vysokouhlíkovou ocel, která byla prokována, ale při chladnutí nedokována [13].

Nález dvou železných lup se zásekem z velkomaravské hutnické dílny „U obrázku“ ze střední doby hradištní (2.pol. 9.stol.) z Olomoučan. K nálezu došlo v neobvyklém místě jen v malé vzdálenosti od hutních pecí, kde byly lupy vloženy a udusány pod zem hutnické dílny. Toto nezvyklé místo nálezu vedlo hned k několika teoriím o okolnostech uložení. První byla možnost obětování bohům, jelikož nebyly v této rané době christianizace tyto oběti a dary bohům nic neobvyklého. Další možností bylo pokus o zcizení železných lup pracovníky hutí, kteří nemohli ještě žhavé lupy odnést, a proto je schovaly pod podlahu dílny. Poslední a asi nejpravděpodobnější teorií je, že toto uložení lup bylo součástí technologického postupu tehdejších pracovníků [13].

Nález lup je výjimečný tím, že ho lze přesně datovat to určitého období, a že nebyly lupy dále kovářsky zpracovávány. Dále je významné jejich umístění pod zemí, což může napovědět mnohé o případně použité technologii.



Obr. 3.42 Železná lupa se zásekem připravená pro metalografické zkoumání [13]

K metalografické analýze byla vybrána lupa č. 327/78 (obr. 3.42) propůjčená z muzea v Blansku. Lupa má klasický bočníkový tvar se zásekem, hmotností 2153 gramů, průměrem 120 mm a výškou 70 mm. Z lupy byl dále vyříznut plát o tloušťce 12 mm, který měl zhruba oválný tvar o rozměrech 115 x 75 mm. Tento plát byl později orýsován čtvercovou sítí, a jednotlivá pole (18x18 mm) byla dále analyzována. Byl sejmут Baumannův otisk. Posuzovala se makrosegregace fosforu a uhlíku, a také makrostruktura i mikrostruktura oceli. Dále se prováděla chemická analýza, zkoušky mikrotvrdosti, faktografická analýza. Ze vzorku bylo patrné, že byla lupa kvalitně kovářsky zpracována, což se odrazilo v její minimální pórovitosti $9,6 \pm 1,0\%$. Bylo také zjištěno nerovnoměrné rozložení uhlíku, fosforu a síry. Fosfor a síry se vyskytovaly především na obvodu lupy. Také uhlík měl nerovnoměrné rozložení, jelikož se větší množství uhlíku vyskytovalo také na vnější straně lupy. Proto byla na okraji lupy struktura převážně politická, zatímco směrem ke středu lupy převažovala struktury feritická. Struktura byla v celé ploše vzorku hrubozrnná, uspořádání feritu bylo dle Widmannstättena [13].

Z výsledků chemické analýzy lze považovat materiál jako ocel se středním, výrazně podeutektoidním obsahem uhlíku, který je velmi nerovnoměrně rozložen. Mikrotvrдость feritu v okrajových částech byla 196 ± 23 HV, zatímco mikrotvrдость feritu uprostřed zrn byla 201 ± 15 HV. Takto vysoké hodnoty tvrdosti feritu jsou zřejmě dány velkým obsahem fosforu a vznikem fosfidického eutektika, jenž má vysokou tvrdost (832 ± 297 HV), a tím zvyšuje tvrdost feritu. Mikrotvrдость perlitu byla 298 ± 117 HV, jejíž velký rozptyl byl zřejmě také způsoben přítomností fosforu [13].

Z této metalografické analýzy lze vyvodit závěry ohledně důvodu uložení lup v podlaze dílny. Lupy byly po dokončení prací nechány k vychladnutí na vzduchu do teploty přibližně 700°C , poté byly vloženy do předem připravené díry a udusány. Toto zajistilo jejich pomalejší chladnutí, a tím ovlivnění struktury lupy. Na okrajích pod povrchem lupy vznikla perlitická struktura, zato uprostřed lupy vznikla struktura feritická. Tímto došlo ke snížení pnutí v lupě a tím zvýšení její houževnatosti. Tento technologický postup lze podle dnešních termínů nazvat žíhání pro snížení pnutí (napětí). Přestože tato teorie úplně nevylučuje dvě další zmíněné hypotézy, je toto vyhodnocení stavu železné lupy velmi pravděpodobné [13].

3.2.4 Postup výroby a zpracování hrotů

Tato část práce se bude zabývat postupy výroby různých typů středověkých hrotů, jejich odlišnostmi, a dodržováním určitých kovářských zásad. Tyto poznatky nelze zjistit z dostupných pramenů, nebo ze struktur hrotu. Postupy výroby se také mohou u každého kováře mírně lišit, ale princip výroby zůstává stejný. S postupem doby a vývojem poznatků o výrobě, a také rozvojem technologií se samozřejmě kvalita finálního výrobku (hrotu) zlepšovala. Také se potřebám doby přizpůsobovali kováři a jejich zaměření. Přes raný středověk, kdy byly hroty pravděpodobně kovány místním kovářem, až po specializované dílny ve vrcholném středověku, kdy byly kovářny specializovány na velkosériovou výrobu hrotů hlavně pro vojenské účely.

Přestože se některé kovářské úkony provádějí za studena, převážná většina jich je spojena s ohřevy kovu. Již při tomto základním úkonu se kováři mohli dopouštět a také občas dopouštěli chyb, kterým se na druhé straně mnohdy nemohli, vzhledem k vysoké nehomogenitě svářkového kovu, vyhnout [18]. Mezi takové chyby patří:

- **spálená ocel**, která vzniká ohřevem a výdrží na vysokých teplotách, zvláště má-li atmosféra výhně silně oxidační charakter. Na povrchu se tvoří okuje a kyslík proniká dovnitř výkovku, především po hranicích austenitických zrn. Při kování se taková ocel rozpadala.
- **přehřátá ocel**, která vzniká ohřevem oceli na vyšší teplotu nebo udržováním na horní kovací teplotě. Tyto ohřevy vedly ke zhrubnutí austenitického zrna a tím po ochlazení k formování hrubozrnné struktury s malou houževnatostí. U nízkouhlíkových a středněuhlíkových ocelí se zpravidla při rychlejším ochlazení přehřáté oceli tvoří křehká Widmannstättenova struktura;
- **nedohřátá ocel**, kdy jde o ocel ohřátou pod dolní kovací teplotu. Nedohřátí oceli se může objevit po velmi rychlém ohřevu především u masivnějších kusů kovu a nepříznivě se projevuje v souvislosti s tepelným zpracováním. [18]

Na následujících řádcích budou popsány postupy výroby několika typů hrotů z katalogu typologie středověkých hrotů z londýnského muzea (kap. 3.2.2 obr. 3.29).

Postupy a fotografická dokumentace byly použity z článků magazínu The Glade a publikace Secrets of the english war bow, jejichž autorem je Mark Stretton, který je členem skupiny Towton longbowmen, autorem mnoha článků a přednášek po celé Evropě, zkušeným kovářem a v neposlední řadě také vynikajícím lukostřelcem z válečných luků. Mimo jiné je také zapsán v Guinnessově knize rekordů za střelení z doposud nejsilnějšího luku s náťahovou silou 91,7 kg (202 lbs.).

Postup výroby hrotu typu „bodkin“ (typ 8a)

U tohoto hrotu je vhodné začít s vykováním tulejky, jelikož je její výroba mnohem složitější než následné kování hrotu. Manipulace s polotovarem je vždy snadnější na začátku, před utnutím na správnou délku. Pro vykování tulejky je vhodný určitý tvar rozkovaného materiálu, aby měla výsledná tulejka správné rozměry a správnou tloušťku. Po rozkování materiálu do vhodného tvaru je tulej sbalena pomocí „U“ přípravku, a poté dokončen její tvar na kuželovém přípravku. Následuje sbalení a zúžení krčku hrotu. Poté je přebytečný materiál odseknut a může být vykována špice hrotu, jenž je v tomto případě ve tvaru jehlanu s čtvercovým profilem (obr. 3.43).



Obr. 3.43 Postup vykování hrotu „bodkin“ typu 8a [9]

Postup výroby hrotu „bodkin“ s kosočtverečným profilem (typ 9a)

Tento typ hrotu je vhodný k prorážení plátových zbrojí také díky svému masivnímu profilu, jenž po průrazu zbroje není bržděn třením o tulej hrotu. Postup kování je opačný oproti předchozímu klasickému „bodkinu“ typu 8, jelikož v tomto případě je náročné tvarování špičky hrotu. Pro vykování hmotné přední části hrotu je potřeba nejdříve nakovat tzv. bublinu, aby bylo na špičce dostatečné množství materiálu. Poté se postupně tvaruje špička a zbytek kosočtverečné části až po budoucí začátek tulejky. Tulej je poté vykovávána obdobně jako u typu 8, ale je vykovávána až naposledy (obr. 3.44 a 3.45).



Obr. 3.44 Postup při začátku vykování hrotu „bodkin“ na prorážení (typ 9a) [9]



Obr. 3.45 Postup při dokončování vykování hrotu „bodkin“ na prorážení (typ 9a) [9]

Postup výroby loveckých hrotů listového (typ 1) a vidlicového tvaru (typ 6)

U obou těchto hrotů je první fáze výroby obdobná jako u hrotu „bodkin“ typu 8a, kdy je první vykována tulej, a poté se po utnutí na požadovanou délku pokračuje ve tvarování řezné části. V případě listového hrotu následuje rozkování materiálu to stran a tvarování řezné části, kdy je potřeba zvážit vykování hrotu se zploštělým, plochým kosočtverečným nebo žebrovým profilem. Při výrobě vidlicového hrotu je přední část za tulejí zploštěna a dále rozetnuta. Dvě přední části jsou následně tvarována do tvarů břitů, jenž mohou mít podobu „V“, nebo po dalším tvarování podobu „U“, který je výsledným tvarem u popisovaného hrotu (obr. 3.46).



Obr. 3.46 Postup pro vykování loveckých hrotů listového tvaru (typ 6) a vidlicového tvaru (typ 1) [9]

Postup výroby loveckého hrotu s křídélky (typ 14b)

Pro tento typ hrotu s křídélky existují dva základní postupy jejich výroby. Pravděpodobně náročnějším na kovářské umění je k tuleji a části těla hrotu kovářsky navařit křídélka (břity). Tímto postupem můžou být navařeny křídélka z vysoceuhlíkové oceli než je zbytek těla hrotu, a tím tak zvýšit kvalitu břitové části. Dalším, zde vyobrazeným způsobem je vykování celého hrotu z jednoho kusu železa (popř. oceli). První se nakove na konci „bublina“ materiálu jako v případě hrotu typu 9a. Poté se tento konec rozkove na plochu masivnější a o větší tloušťce než je plocha k zabalení tulejky. Následně jsou na okrajích odetnuty dvě části, které později slouží k vykování křidélek. Tyto části se narovnají, aby mohla být následně vykována tulejka stejným postupem jak u předešlých hrotů. Po dokončení tulejky jsou křídélka vykovávána do požadovaného tvaru a velikosti. Následně se hrot oddělí od tyčového (popř. jiného) polotovaru a poté je dokončena špička hrotu (orb. 3.47).



Obr. 3.47 Postup pro vykování loveckého hrotů s křídélky (typ 14b) [9]

3.2.5 Šípy- typy, jejich konstrukce a vlastnosti

Existuje staré indiánské přísloví, které zní: „není špatného luku, ale špatného šípu“. Toto tvrzení je samozřejmě lehce nadnesené, ale naznačuje důležitost šípu v soustavě střelec – luk – šíp. Ve světě se v historii vyskytovalo mnoho typů šípů, ale na všechny je kladen stejný požadavek: doletět co nejdál, zasáhnout co nejpřesněji a způsobit co největší škodu.



Obr. 3.48 Dobová vyobrazení historických šípů: a) obraz od Rogier vanWeydena (r.1460) [19], b) Obráz od Hainse Meninga (r.1470) [19], c) portrét Jindřicha VIII. (2.pol. 16.stol.)[4]

Historický šíp (obr. 3.48a,b,c) se skládá ze tří základních částí: hrot, dřevěný dřík, stabilizátory. Samozřejmě toto složení nemusí být jednoznačné. Například existovaly šípy bez hrotu jen zaostřené. Dřík nemusel být vždy ze dřeva – mohly být i z odštípnutých kostí, narovnaných částí klů, také bambus používaný na šípy je technicky vzato travina. Také v případě nedostatku nebo ztráty letek mohl být šíp vystřelen bez stabilizátorů.



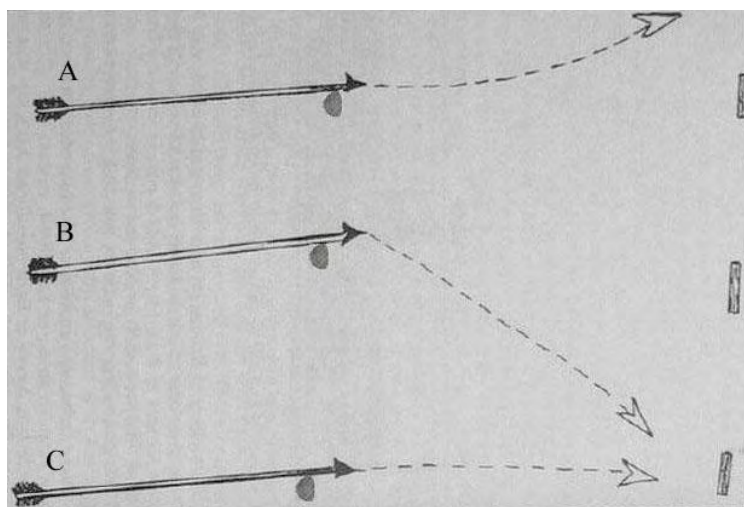
Obr. 3.49 Replika válečného šípu (15.-16.stol) [4]

Jelikož se tato práce zabývá evropskými hroty ze středověku, budou zde probírány hlavně šípy z tohoto období. Středověké evropské šípy (obr. 3.49) byly vyráběny převážně s železným hrotem, který byl osazen na dřevěný dřík, v němž byla udělána drážka pro tětivu, a (většinou) s třemi stabilizátory, které byly jako letky vyráběny z peří různých ptáků

Dřevěný dřík šípu

Dřík byl ve středověku vyráběn z mnoha druhů dřev. Jestliže byly k dispozici následující dřeviny, byly většinou upřednostňovány před ostatními. Nejpoužívanějším dřevem na dřík šípu byly jasan, topol, borovice, smrk, dřín, aj. Aby šíp vydržel namáhání při střelbě, měl mít po celé své délce neporušené letokruhy. Požadavky na dřevo byly často protichůdné a pro různé účely se vybíraly odlišné druhy dřeva. Dřevo na dřík mělo mít dostatečnou tuhost, dobrou hysterzezi (dobrý útlum kmitů po výstřelu), dostatečnou pevnost při dopadu na tuhý cíl. Zářez na tětivu byl dělán kolmo na letokruhy, aby nedošlo při výstřelu k naštípnutí šípu. Při používání silných luků bylo zapotřebí zpevnit zářez např. ovázkou nebo vložením destičky z rohů, parohu, popř. tvrdého dřeva.

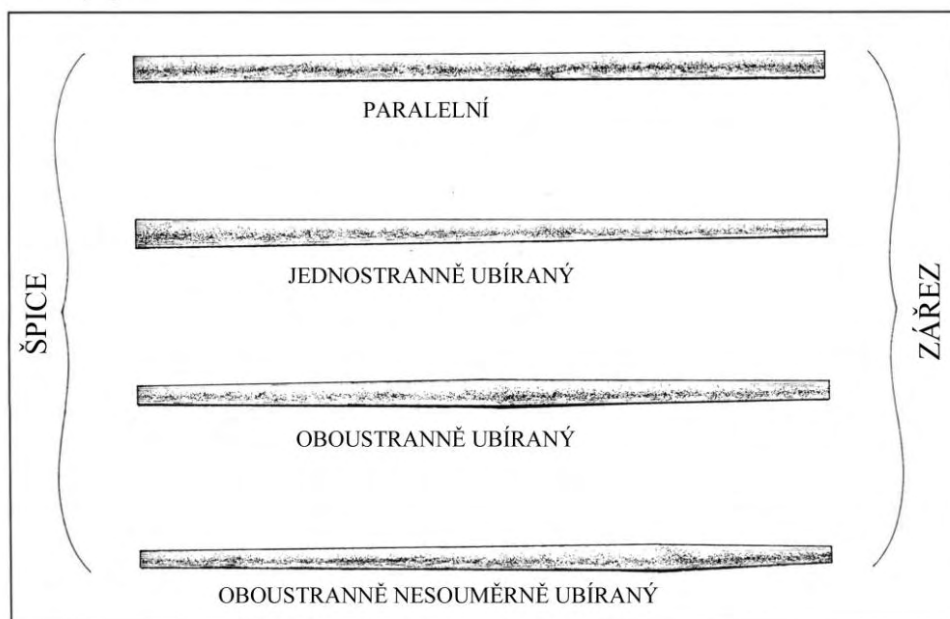
Původní rozměry šípů, hlavně jejich průměr lze určit pomocí nálezů šípů, hrotů, také ze síly používaných luků. Rozměry šípu jsou ovlivňovány hlavně silou luku, z něhož jsou stříleny. Tato problematika se nazývá lukostřelecký paradox (ang.- archer's paradox), který popisuje chování šípu po vypuštění z luku. Šíp se musí totiž při vypuštění prohnout a obletět profil luku, jelikož je tětiva v ose profilu luku a šíp je položen na bok luku, čímž je vyosen. Velikost tohoto prohnutí šípu při výstřelu je kritická pro přesnost střelby. Jestliže je tedy šíp (a také i dřík) moc měkký a při výstřelu se příliš prohne, poletí šíp doleva (obr. 3.50A). V případě moc tuhého šípu se při výstřelu šíp prohne málo a odkloní se doprava (obr. 3.50B). Jestliže má šíp dobrou tuhost (ang. – spine), při výstřelu se optimálně prohne, obletí profil luku a po několika kmitech se poměrně ustálí a letí požadovaným směrem (obr. 3.50C) [20].



Obr. 3.50 Lukostřelecký paradox [20]

Jestliže tedy byly do silného luku použity málo tuhé šípy, mohlo dojít až ke zlomení šípu při výstřelu. Na tuhost šípu jako celku má velký vliv hmotnost hrotu. Jestliže je použit na dřík lehký hrot, tuhost dříku se zvětší, naopak když je hmotnost hrotu velká, tuhost šípu to zmenší. Od síly luku se tedy odvozuje rozměry šípů jako délka a průměr. Již nálezy z raného středověku naznačují průměr dříků šípu v rozmezí 10-11mm, což také podle použitého dřeva svědčí o silách luků v rozmezí 70-100lbs. (33-45 kg).

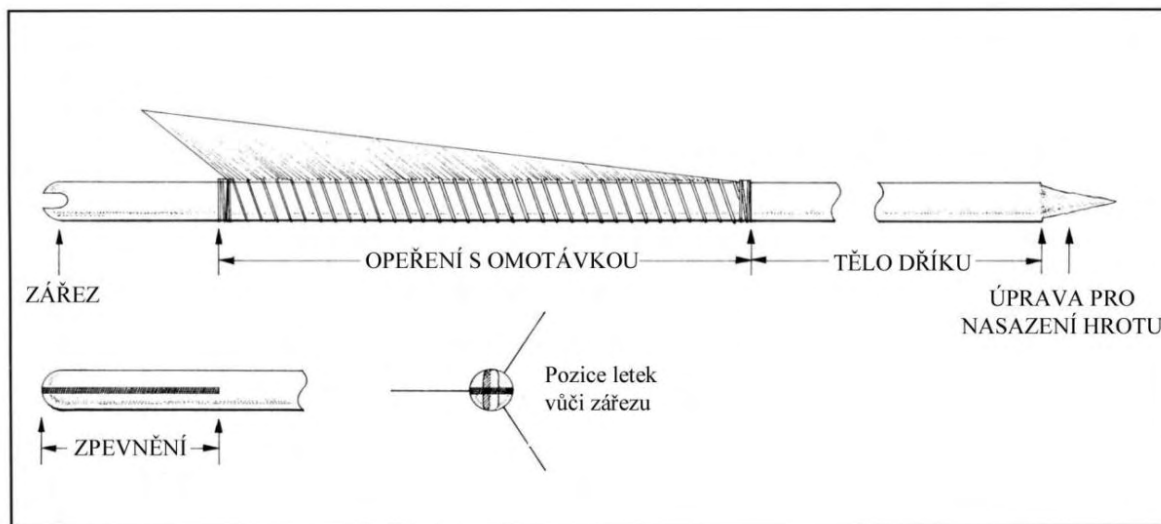
Tuhost šípu byla také ovlivňována tvarem dříku (obr. 3.51). Těmito úpravami tvaru byla také regulována hmotnost dříku a jeho letové vlastnosti.



Obr. 3.51 Tvary dřívků používaných pro středověké šípy [21]

Opeření šípu

Opeření bylo zpravidla tvořeno třemi letkami, jenž se na dřívk většinou nalepovaly a zároveň přivazovaly omotávkou (obr. 3.51). Některé nálezy šípu z raného středověku ale dokazují, že se používaly čtyři letky pro stabilizaci šípu. Nejčastěji pozorovaný počet letek je tři, což umožňuje dostatečnou stabilizaci letu šípu, a zároveň malé ovlivnění letu, když se letky při vypuštění dotknou boku luku. Letky jsou umístěny na konci dřívku těsně před zářezem na tětivu, jelikož na konci mají největší stabilizační efekt. Jsou umístěny po obvodu v úhlu 120° od sebe, a tím je jejich stabilizace symetrická.

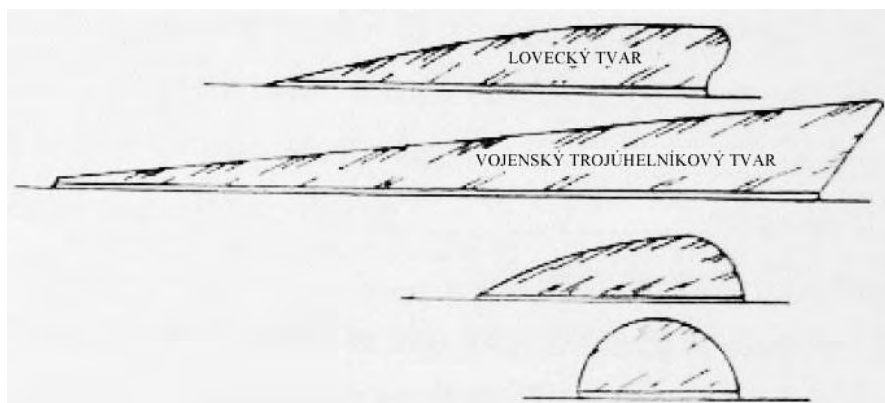


Obr. 3.52 Náčrt částí dřívku s opeřením [21]

Podle nálezů a dobových zpráv mezi nejčastější používané peří k výrobě letek šípů bylo peří z divoké (šedé) husy, bílé husy, páva, a nejrůznějšího peří dravců [9]. Dnes nejpoužívanější letky z krocana nelze v této době předpokládat, jelikož byl krocan dovezen z Ameriky. Velikost letek se odvíjel od síly luku a tím také hmotnosti a velikosti používaného šípu. Čím větší a hmotnější šíp byl, tím bylo na jeho stabilizaci potřeba větší plochy letek. Ale naopak čím větší plocha letek byla, tím byl let šípu více aerodynamicky bržděn. Bylo

dokázáno, že při stejné ploše opeření brzdí ta letka, jenž má menší výšku a velkou délku, než letka s velkou výškou a malou délkou. Proto v nálezech a vyobrazeních převažuje opeření dlouhé, ale s malou výškou, nejčastěji ve tvaru trojúhelníku.

Nejpotřebnější dovedností lukostřelce ve středověku bylo dostřelit co nejdále, a tím možnost ostřelovat protivníka co nejdéle, proto byla potřeba mít na šíp takové letky, aby rychle stabilizovaly šíp a ten neztrácel energii, ale zároveň aby letky nebrzdily let šípu a ten doletěl co nejdále. Na obr. 3.53 jsou tvary letek používaných ve středověku. Typy menšího opeření se vyvinuly v pozdějším období, jelikož bylo potřeba zvýšit dolet šípů.



Obr. 3.53 Nejčastější tvary letek používaných v období středověku [9]

4. Experimentální část

4.1 Materiálová analýza hrotů střel do luků

4.1.1 Hrot šípů s křídélky a tulejí (inventární č. 111/06)



Tento hrot pochází ze 7. století ze Znojma - Hradiště. Byl nalezen v opevněném předhradí, 25cm pod povrchem. Jedná se o lovecký hrot s řeznými křídélky, které jsou vykovány jako zpětné háčky a zabraňují vypadnutí z rány. Celkový tvar a velikost řezné plochy hrotu naznačují, že byl určen spíše pro lov středně velké zvěře. Pro lov největší zvěře se používali větší hroty s delší řeznou hranou (obr. 3.22b, kap. 3.2.1). Hrot má velice malou tloušťku po celé délce břitů až po rozšíření tulejky, z čehož lze usoudit, že má optimální vlastnosti pro lov zvěře. Jeho použití pro vojenské účely by bylo neúčinné.

Hrot v nálezovém stavu byl pokryt hlínou a silně znečištěn korozí (obr. 4.1a). Mechanickým očištěním a následným dočištěním v ultrazvuku byla hlína a větší část oxidů odstraněny (obr. 4.1b). Očištěním nedošlo ke změně rozměrů nálezů hrotu nebo velkého úbytku kovu z těla hrotu, kromě odstranění větší nečistoty ze zachovalejšího křídélka hrotu. Následně byl lépe rozeznatelný tvar a zpracování hrotu. Po očištění vnitřní a vnější části tulejky je zřejmé, že byly okraje přeloženy, ale krček tulejky nebyl úplně sbalen.

Toto je typické pro raně středověké hroty s tulejkou, kdy nebylo třeba zajistit takovou tuhost spojení hrotu s dřevěným dříkem šípu jako v případě např. šípů potřebných k prorážení plátových zbrojí. Konec tulejky se zdá být málo poškozen korozí, proto lze předpokládat, že nálezové rozměry tulejky jsou obdobné jako u stavu původního hrotu. Jedno s křídélko je na konci zřejmě odlomeno. Je velmi pravděpodobné, že hrot byl symetrický, a také křídélka měla stejné rozměry, jelikož každá asymetrie se projeví na zhoršení letových vlastností šípu.

Hrot byl zvážen a jeho rozměry jsou uvedeny v tabulce (tab. 4.1). Vnější vzhled byl dokumentován pomocí fotoaparátu a scanneru a po převedení do digitální podoby dále upravován.



Obr. 4.1 Hrot s křídélky: a) nálezový stav, b) zkoumaný stav

Tab. 4.1 Základní rozměrů a váha hrotu

celková délka [mm]	šířka křidélek [mm]	délka křidélek [mm]	tloušťka břitu [mm]	trůměr tulejky [mm]	hmotnost [g]
63,5	19,5	23,5	2,3	10,8	6,01

Pozn.: přestože je hrot poměrně dobře zachovalý, některé rozměry nálezu se lehce lišily oproti původním rozměrům hrotu – nejvíce šířka křidélek a tloušťka břitu.

Metodika materiálové analýzy

Cílem materiálové analýzy bylo určit prvkové složení, strukturu a vlastnosti. Zajímali jsme se především o špici hrotu, její provedení a případné tepelné zpracování. Z těchto důvodů byl separován vzorek pro metalografický výbrus z jedné částice špice hrotu (obr. 4.2).



Obr. 4.2 Odseparovaný vzorek části špice hrotu

Oddělení vzorku bylo provedeno na řezačce Struers Accutom pomocí kotouče z Al_2O_3 o tloušťce 0,5 mm z důvodů odebrání co nejmenšího množství materiálu, kvůli následné restauraci hrotu střely. Hrot byl při řezání chlazen olejem, aby nebyl hrot korozně napaden v případě chlazení vodou. Dále byla jeho příprava prováděna konvenčním postupem, tedy zalisováním hrotu, následným broušením na metalografických papírech za mokra, vyleštěním diamantovými pastami a naleptáním. Struktura vzorku byla po naleptání 2 % leptadlem Nital

pozorována na metalografickém mikroskopu Olympus GX 71 při použitých zvětšeních objektivu 5x, 10x, 20x a 50x a dokumentována digitální kamerou DP 11 (celkové zvětšení při dokumentaci vlastních struktur bylo 100x, 200x, 500x a celková struktura pak 50x).

Později budou jednotlivá místa struktury podrobena identifikaci prvkového složení strukturních složek v mikrostruktuře. Dále byla v rozdílných strukturách vzorku naměřena tvrdost HV0,3 na mikrotvrdoměru LECO M 400 při zatížení 2,94 N (tab. 4.2).

Tab. 4.2 Hodnoty tvrdostí HV 0,3 z různých míst ve vzorku

místo ve vzorku	oblast A	oblast B	pod povrchem vzorku	konec vzorku
struktura	hrubší ferit	jemný ferit+řádkový perlit	hrubší ferit + vměstek	hrubý ferit
tvrdost HV	222	192	183	194

Výsledky materiálové analýzy

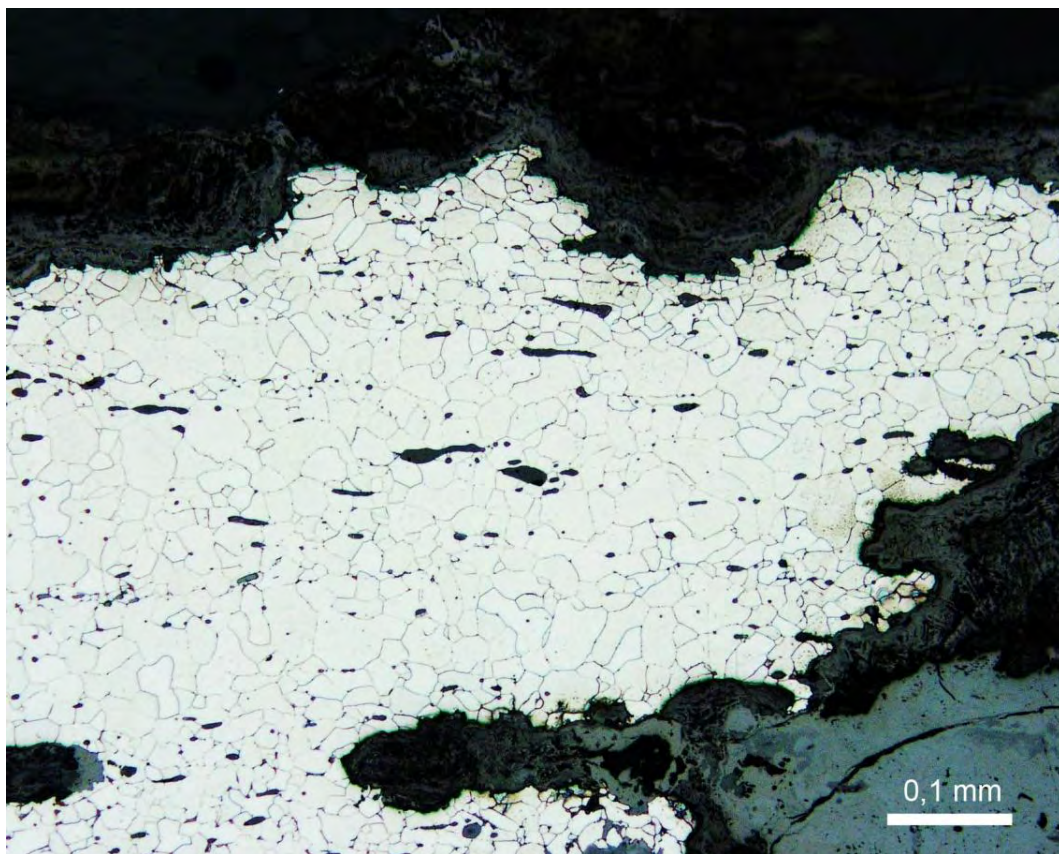
Již pouhým okem bylo možné po naleptání vidět řádkovitou strukturu. Poté bylo zjištěno, že struktura je tvořena téměř výhradně feritickými zrny (obr. 4.3). Výrazná řádkovitost byla pravděpodobně důsledkem několikanásobného překování a kovářského spojování odlišných materiálů v průběhu výroby hrotu. Toto se výrazně projevilo ve velikosti feritických zrn v sousedících řádcích, a také ve velkém množství usměrněných vměstků a zakované strusky.

Spolu s většinou ostatních struktur zkoumaných hrotů měla špička hrotu strukturu tvořenou hrubým feritem (obr. 4.4). Tento fakt je dán tím, že tělo hrotu a hlavně jeho povrch je několikrát překováván a tím dojde ke zjemnění zrna, ale úplná špička není tolik přetvářena jako zbytek těla hrotu. Toto platí často pro ploché řezné hroty, kde musely být vykovány břity nebo křídélka a tvar ostří.

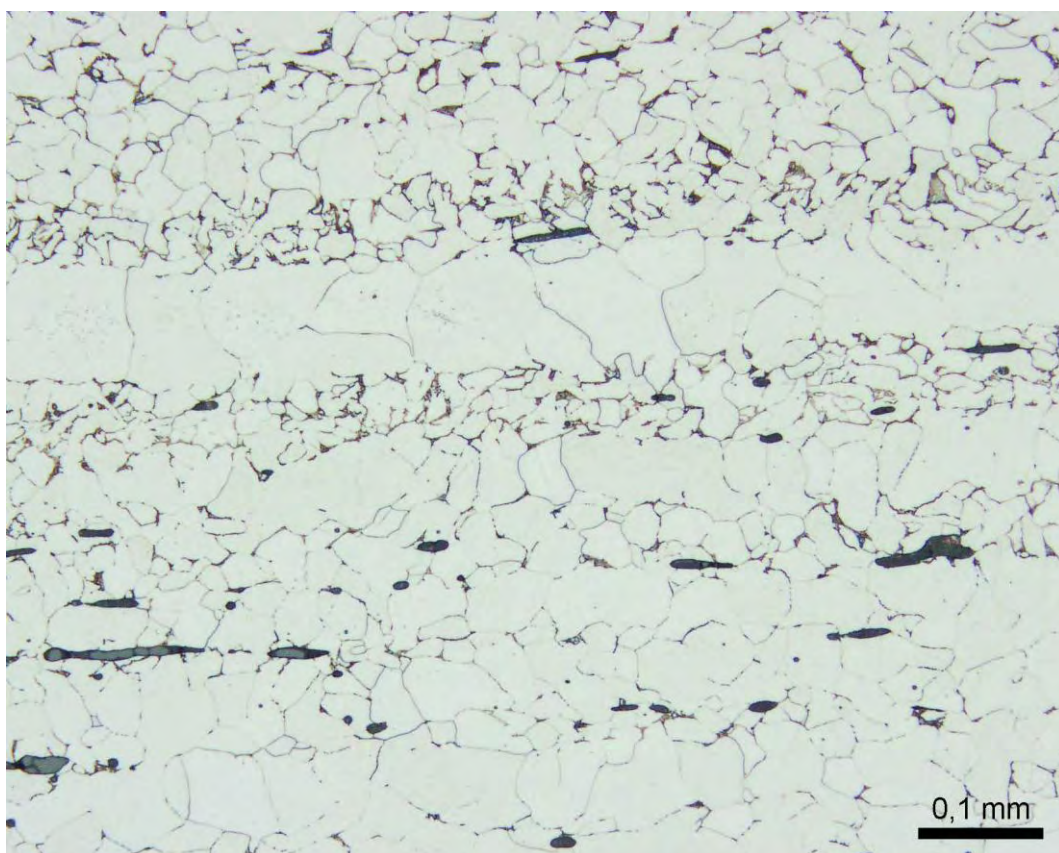
Přestože byly všechny nálezy čištěny mechanicky i ultrazvukem, jejich povrch byl nadále z větší části pokryt oxidy. V tomto případě je nejvýraznější koroze kolem špičky vzorku a dokonce odděluje část struktury u špičky. Za tímto přerušením lze již pozorovat řádkovitost struktury a také výrazně usměrněné vměstky velkých rozměrů, které jsou typické pro tyto středověké oceli. Obsah perlitu ve struktuře je velice malý. Lze jej najít v minimálním množství hlavně ve struktuře s jemnějším feritem (obr. 4.5). Tento perlit se vyskytuje převážně na hranicích feritu.



Obr. 4.3 Makrostruktura po celé délce vzorku při zvětšení 50x.



Obr. 4.4 Mikrostruktura hrotu 111/06 – oblast A



Obr. 4.5 Mikrostruktura hrotu 111/06 – oblast B

4.1.2 Hrot šípů kosočtvercového tvaru s trnem (inventární č. 111/00)



Tento hrot pochází ze 7. století ze Znojma - Hradiště. Byl nalezen v opevněném předhradí, v zásypu objektu, přibližně v jeho středu. Jedná se o hrot s řeznými hranami, který lze použít pro lov a případně i vojenské účely. Hrot je vykován s trnem, jenž je lehčí než tulejka, ale nezaručuje takovou tuhost spojení hrotu s šípem. Možnost použití záleží také na profilu a mohutnosti hrotu. Jestliže je hrot vykován s žebrem nebo je jeho profil dostatečně masivní, může být použit i na více obrněné cíle, jelikož se hrot nebude při dopadu deformovat. Poměrná mohutnost profilu tohoto hrotu naznačuje možnost univerzálního použití na lov nebo v případě potřeby pro ostřelování lehce chráněného protivníka.

Nálezový stav byl zkorodovaný a pokryt nečistotami. Mechanickým a následným ultrazvukovým očištěním byly nečistoty a část oxidů odstraněny (obr. 4.6). Očištěním došlo k malé změně rozměrů, a to hlavně tloušťky a šířky hrotu, jeho délka zůstala nezměněna. Nedošlo k velkému úbytku kovu z těla hrotu, jelikož byly čištěním odstraněny hlavně oxidy, což také nemělo velký vliv na změnu hmotnosti.

Přechod trnu do hrotu je vykován s přesazením, kde pravděpodobně končilo vsazení hrotu. Zdá se, že se trn zachoval v plné délce (24mm), což je dostatečná délka pro upevnění v dřevěném dříku. Přesto se trny hrotů vykovávali i delší. Důležité bylo vykovat trn dostatečně dlouhý, aby držel v dříku i při dopadu na pevný povrch.

Hrot byl zvážen a jeho rozměry změřeny (tab. 4.3). Vnější vzhled byl dokumentován pomocí fotoaparátu a scanneru a po převedení do digitální podoby dále upravován.



Obr. 4.6 Dokumentace stavu hrotu po očištění

Tab. 4.3 Základní rozměry a váha hrotu

celková délka [mm]	max. šířka břitu [mm]	tloušťka břitu [mm]	délka trnu [mm]	hmotnost [g]
80,0	14,15	3,1	24,3	4,74

Pozn.: hrot byl silně zkorodován, pro jsou rozměry nálezů odlišné od rozměrů původního tvaru hrotu – nejvíce odlišné jsou tloušťka břitu, maximální šířka břitu a celkový tvar těla hrotu.

Metodika materiálové analýzy

Cílem materiálové analýzy bylo určit prvkové složení, strukturu a vlastnosti. Zajímali jsme se především o špici hrotu, její provedení a případné tepelné zpracování. Z těchto důvodů byl separován vzorek pro metalografický výbrus ze špice hrotu (obr. 4.7).



Obr. 4.7 Odseparovaný vzorek části špice hrotu

Oddělení vzorku bylo provedeno na řezačce Struers Accutom pomocí kotouče z Al_2O_3 o tloušťce 0,5 mm z důvodů odebrání co nejmenšího množství materiálu, kvůli následné restauraci hrotu střely. Hrot byl při řezání chlazen olejem, aby nebyl hrot korozně napaden v případě chlazení vodou. Dále byla jeho příprava prováděna konvenčním postupem, tedy zalisováním hrotu, následným broušením na metalografických papírech za mokra, vyleštěním diamantovými pastami a naleptáním. Struktura vzorku byla po naleptání 2 % leptadlem Nital pozorována na metalografickém mikroskopu Olympus GX 71 při použitých zvětšeních objektivu 5x, 10x, 20x a 50x a dokumentována digitální kamerou DP 11 (celkové zvětšení při dokumentaci vlastních struktur bylo cca 100x, 200x, 500x a celková struktura pak 50x).

Později budou jednotlivá místa struktury dále podrobena identifikaci prvkového složení strukturních složek v mikrostruktuře. Dále byla v rozdílných strukturách vzorku naměřena tvrdost HV_{0,3} na mikrotvrdoměru LECO M 400 při zatížení 2,94 N (tab. 4.4).

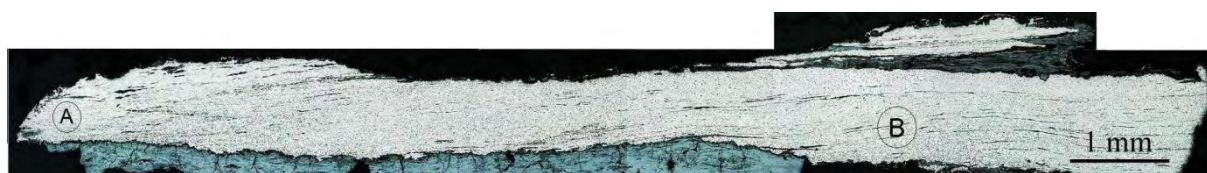
Tab. 4.4 Hodnoty tvrdostí HV 0,3 z různých oblastí vzorku.

místo ve vzorku	oblast A	oblast B	znečištěná oblast
struktura	jemný ferit	hrubší ferit	jemný ferit+zakovaná struska
tvrdost HV	115	175	160

Výsledky materiálové analýzy

Již pouhým okem bylo možné na vzorku po naleptání vidět velké množství nečistot usměrněných po kování (obr. 4.8). Na světelném mikroskopu bylo pozorováno, že tato struktura je tvořena téměř výhradně feritickými zrny. Oproti strukturám ostatních zkoumaných hrotů není tato struktura tvořena řádkováním feritu o různé velikosti zrna, ale obsahuje velké množství usměrněných vměstků a zakované strusky (obr. 4.10). Ferit má velmi jemná zrna v celé délce zkoumání, ve struktuře nebyla zjištěna přítomnost perlitu.

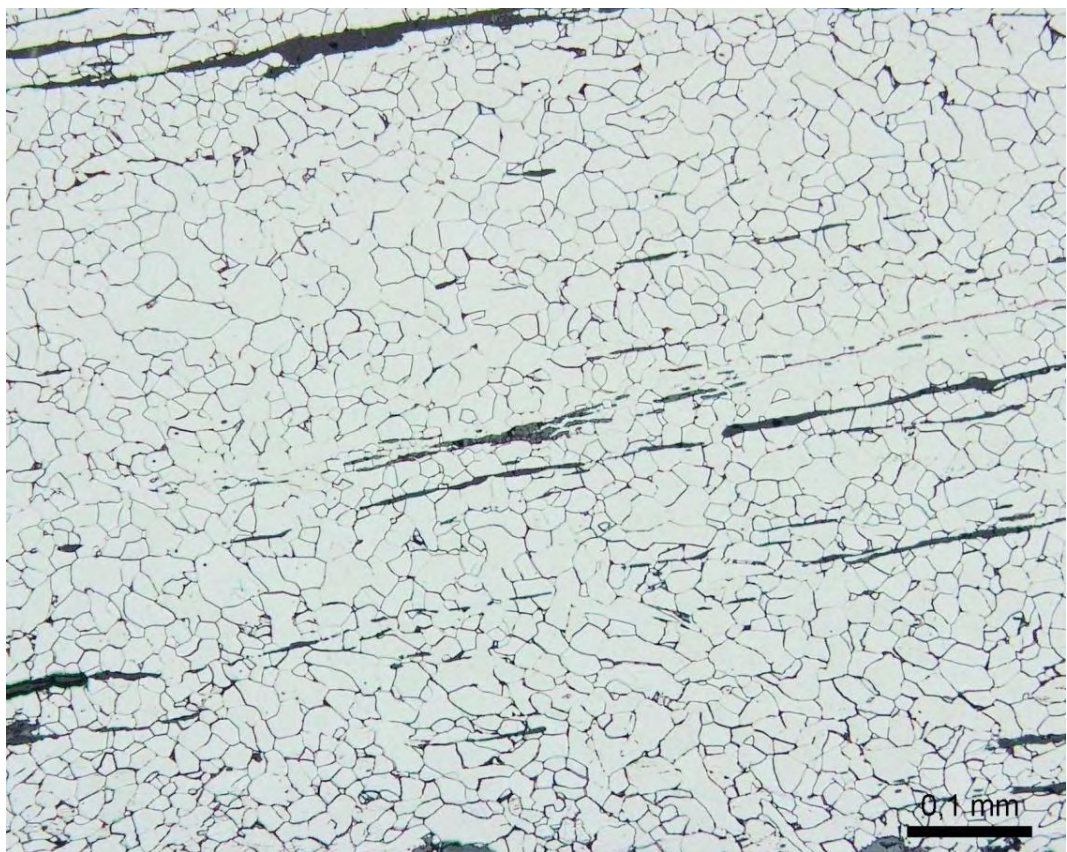
Přestože není velikost feritických zrn tak rozdílná jako u většiny dalších hrotů, tak pod povrchem hrotu a také ve špičce (obr. 4.9) se nachází ferit s ještě menšími zrny, než ve zbytku zkoumané části hrotu. Příčina poměrně velké homogenosti velikosti zrna je pravděpodobně dána silným prokováním celé struktury a tím zjemněním zrna, nebo také i kvalitou polotovaru, z něhož byl hrot vykován.



Obr. 4.8 Makrostruktura po celé délce vzorku při zvětšení 50x.



Obr. 4.9 Mikrostruktura hrotu 111/00 – oblast A



Obr. 4.10 Mikrostruktura hrotu 111/00 – oblast B

4.1.3 Hrot trojúhelníkového tvaru s trnem (inventárním č. 50/02)



Tento hrot pochází ze 7. století ze Znojma- Hradiště. Byl nalezen v oblasti vnitřního hradu, při rozebírání zbytku malé kamenné kry u severního profilu výzkumu. V tmavé hlinité vrstvě pod kamennou krou a nad podloží v hloubce 80 cm.

Následkem silné oxidace a poškození nelze přesně určit původní stav hrotu. Prvním tvarem, který mohl mít tento hrot je podobný nálezovému stavu, kdy je hrot asymetrický a má jeden vystouplý břít. Asymetrický tvar hrotu je ale nepravděpodobný, jelikož takovéto hroty se v nálezech často nevyskytují, a jestliže ano, jejich původní tvar a použití je diskutovatelné. Tyto tvary se používaly hlavně jako hroty harpuny pro rybolov, pro šípy se nepoužívaly. Dalším důvodem pro nepravděpodobnost tohoto tvaru je potřeba, aby byl šíp a tudíž i hrot maximálně symetrický, protože jakákoliv nevyváženost šípu zapříčiňuje velké zhoršení letových vlastností a tím i nepoužitelnost šípu s tímto hrotem. Kvůli zmiňovaným důvodům je nejpravděpodobnější, že původní tvar hrotu je symetrický – tzn., že řezný břít byl na obou stranách hrotu (obr. 4.11).



Obr. 4.11 Předpokládaný tvar nálezu hrotu bez poškození

Pravděpodobně se tedy jednalo o hrot s řeznými hranami, který lze použít pro lov a případně i vojenské účely. Hrot je vykován s trnem, jenž je lehčí než tulejka, ale nezaručuje takovou tuhost spojení hrotu s šípem. Z nálezového stavu a délky trnu lze vyvodit, že trn byl v původním stavu delší a muselo tedy dojít k jeho odlomení. Možnost použití těchto typů

hrotů záleží také na jejich profilu a mohutnosti. Jestliže je hrot vykován s žebrem nebo je jeho profil dostatečně masivní, může být použit i na více obrněné cíle, jelikož se hrot nebude při dopadu deformovat. Poměrná mohutnost profilu k malé délce hrotu naznačuje možnost univerzálního použití na lov nebo v případě potřeby pro ostřelování lehce chráněného protivníka.

Nálezový stav byl zkorodován a byl pokryt nečistotami. Mechanickým a následným ultrazvukovým očištěním byly nečistoty a část oxidů odstraněny (obr. 4.14). Očištěním došlo k malé změně rozměrů, a to hlavně tloušťky hrotu, jeho ostatní rozměry zůstaly nezměněny. Nedošlo k velkému úbytku kovu z těla hrotu, jelikož byly čištěním odstraněny hlavně oxidy, což také nemělo velký vliv na změnu hmotnosti.

Přechod trnu do hrotu je vykován plynule, proto nelze určit, kde končilo vsazení hrotu. Délka trnu od konce břitu je 21,5 mm, ale hrot se pravděpodobně nenasazoval tak hluboko do dřevěného dřívku, proto je jeho délka nedostatečná. Toto dokazuje i vzhled konce trnu. Důležité bylo vykovat trn dostatečně dlouhý pro uchycení v dřívku.

Hrot byl zvážen a jeho rozměry změřeny (tab. 4.5). Vnější vzhled byl dokumentován pomocí fotoaparátu a scanneru a po převedení do digitální podoby dále upravován.



Obr. 4.12 Dokumentace stavu hrotu po očištění

Tab. 4.5 Základní rozměry a váha hrotu:

celková délka [mm]	max. šířka [mm]	tloušťka břitu [mm]	délka trnu [mm]	hmotnost [g]
48,0	13,9	2,6	21,5	2,56

Pozn.: Nález hrotu má pravděpodobně velmi odlišný tvar od původního tvaru hrotu, proto lze usoudit, že většina rozměrů se výrazně liší od původních.

Metodika materiálové analýzy

Cílem materiálové analýzy bylo určit prvkové složení, strukturu a vlastnosti. Zajímali jsme se především o špici hrotu, její provedení a případné tepelné zpracování. Z těchto důvodů byl separován vzorek pro metalografický výbrus ze špice hrotu (obr. 4.13).



Obr. 4.13 Odseparovaný vzorek části špice hrotu

Oddělení vzorku bylo provedeno na řezačce Struers Accutom pomocí kotouče z Al_2O_3 o tloušťce 0,5 mm z důvodů odebrání co nejmenšího množství materiálu, kvůli následné restauraci hrotu střely. Hrot byl při řezání chlazen olejem, aby nebyl hrot korozně napaden v případě chlazení vodou. Dále byla jeho příprava prováděna konvenčním postupem, tedy zalisováním hrotu, následným broušením na metalografických papírech za mokra, vyleštěním diamantovými pastami a naleptáním. Struktura vzorku byla po naleptání 2 % leptadlem Nital pozorována na metalografickém mikroskopu Olympus GX 71 při použitých zvětšeních objektivu 5x, 10x, 20x a 50x a dokumentována digitální kamerou DP 11 (celkové zvětšení při dokumentaci vlastních struktur bylo cca 100x, 200x, 500x a celková struktura pak cca 50x).

Později budou zkoumaná místa dále podrobena identifikaci prvkového složení strukturních složek v mikrostruktuře. Dále byla v rozdílných strukturách vzorku naměřena tvrdost HV0,3 na mikrotvrdoměru LECO M 400 při zatížení 2,94 N (tab. 4.6).

Tab. 4.6 Hodnoty tvrdostí HV 0,3 z různých oblastí vzorku

místo ve vzorku	oblast A	oblast B	oblast C	pod povrchem	tělo hrotu
struktura	střední ferit + perlit	perlit	hrubý ferit	perlit	jemný ferit
tvrdost HV	174	253	134	231	191

Výsledky materiálové analýzy

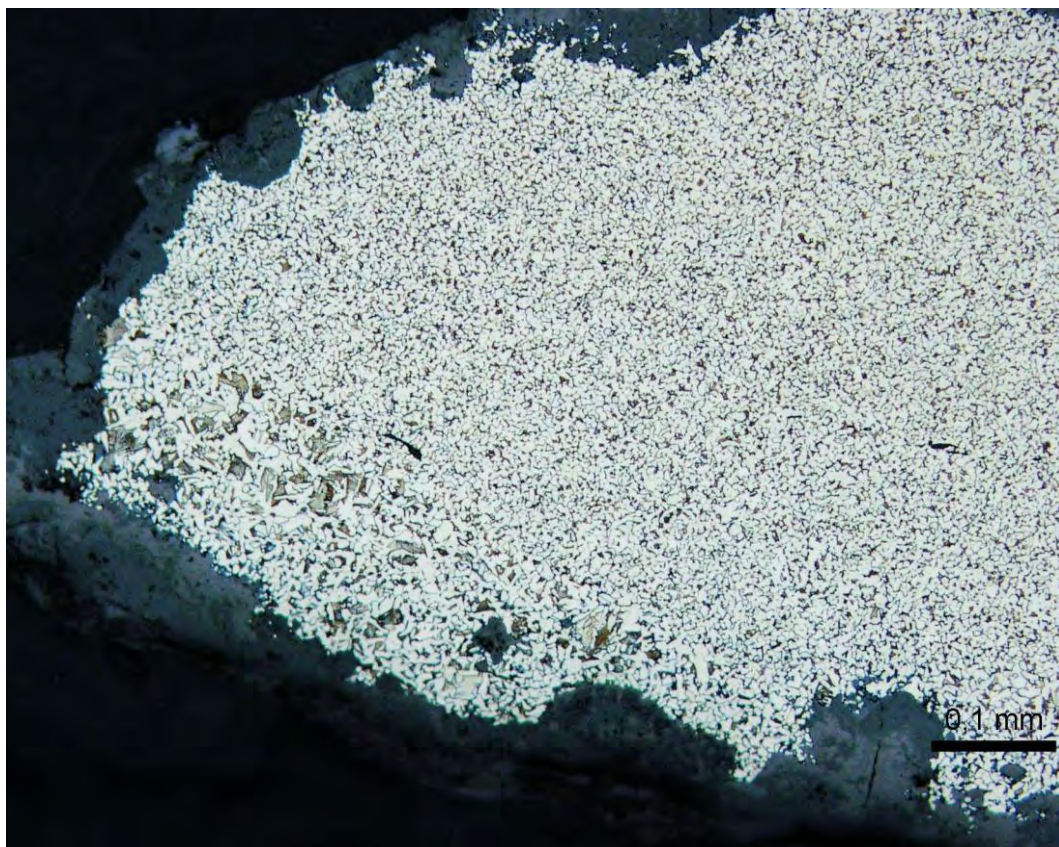
Již pouhým okem bylo možné po naleptání vidět zakovanou část s odlišnou strukturou oproti zbytku vzorku. Na světelném mikroskopu bylo pozorováno, že tato část je tvořena perlitem. Okolní struktura je převážně tvořena jemným feritem s malým podílem nerovnoměrně rozloženého perlitu (obr. 4.14). Ferit s velkými zrny (obr. 4.16) se vyskytuje až v poslední čtvrtině vzorku a je z obou stran obklopen jemnějším feritem pod povrchem hrotu.

I přes poměrně velké zkorodování povrchu je viditelný větší obsah perlitu povrchu hrotu, což může být způsobeno náhodným zakováním vysoceuhlíkových částic do povrchu hrotu, ale nemusí to znamenat nauhličení.

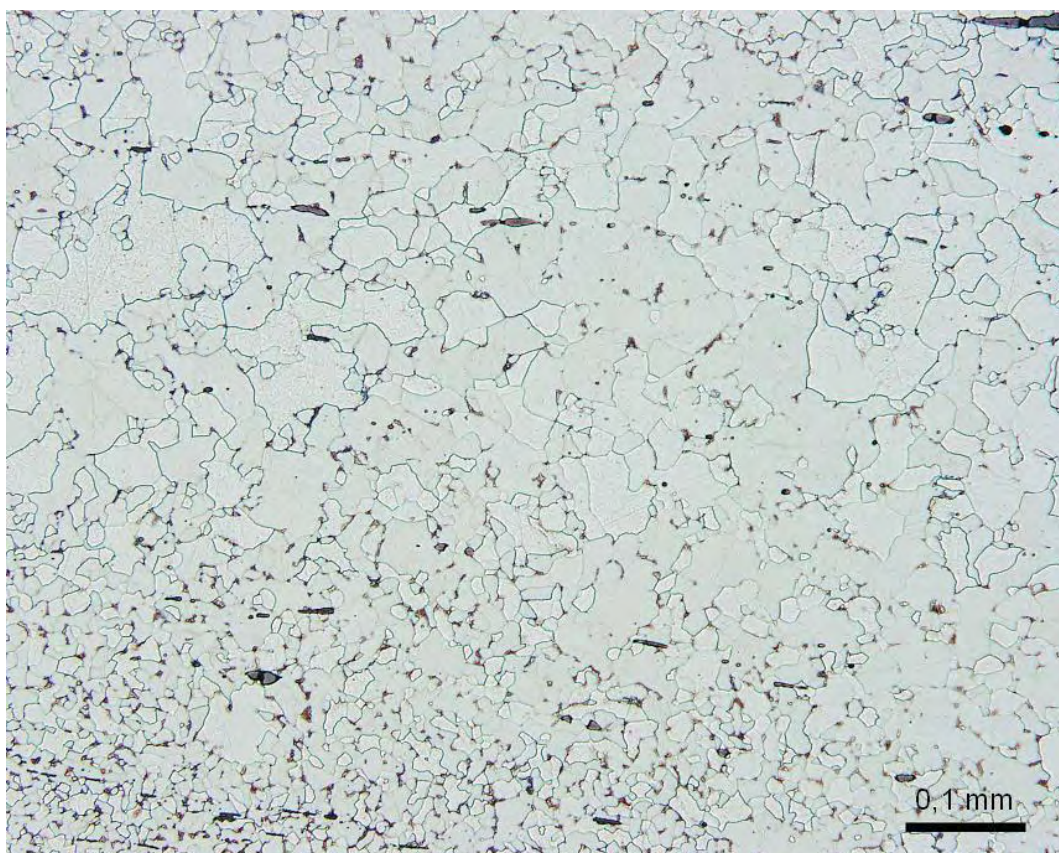
Není jasné, zda-li byla perlitická oblast (obr. 4.17a,b) uvnitř hrotu vložena do hrotu schválně, nebo byla zakována náhodně. Některé mladší hroty (15.-16. století) obsahovaly záměrně vloženou vysoceuhlíkovou část do špičky hrotu, aby mohla být později tepelně zpracována a poskytla dostatečnou tvrdost pro proražení zbroje. Vysoceuhlíkové části mohly být také k hrotu připojeny nakováním vysoceuhlíkových plátků. Tento postup však není obvyklý u tak raných (7. stol.) hrotů jako je tento, což podporuje domněnku, že tato část nebyla vložena do hrotu záměrně. Také tato perlitická část nezasahuje do špičky hrotu (obr. 4.15), což by mělo v popsaném případě nastat, když byl tento hrot řezán v ose. Ve struktuře jsou také kováním usměrněné vměstky a zakovaná struska, přestože jejich množství je oproti ostatním zkoumaným hrotům menší.



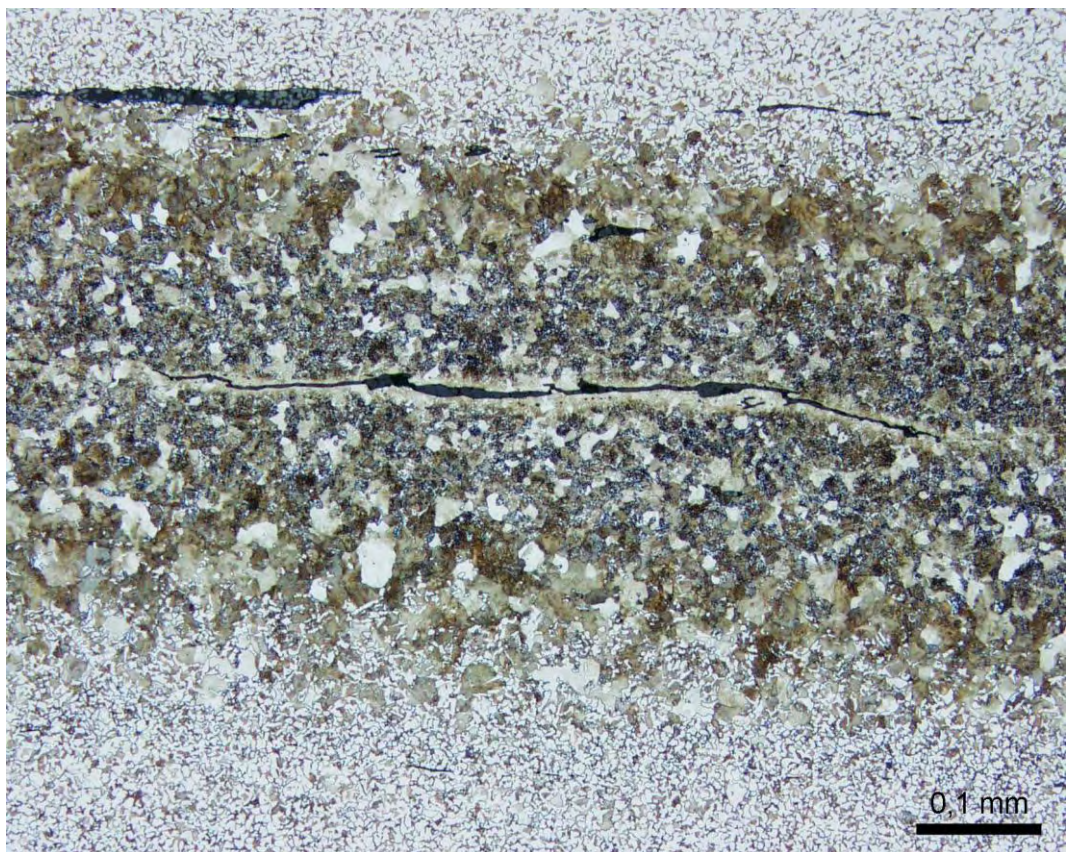
Obr. 4.14 Makrostruktura po celé délce vzorku při zvětšení 50x



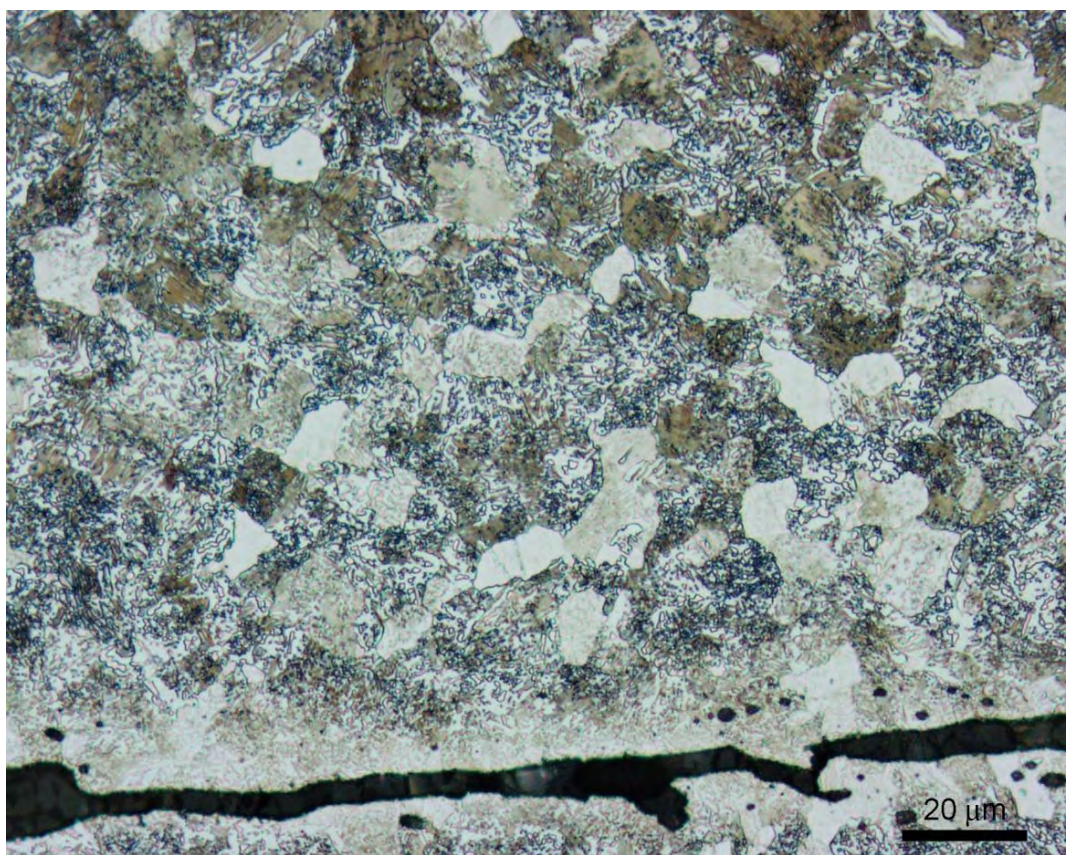
Obr. 4.15 Mikrostruktura hrotu 50/02 – oblast A



Obr. 4.16 Mikrostruktura hrotu 50/02 – oblast B



a)



b)

Obr. 4.17 Mikrostruktura hrotu 50/02 – oblast C

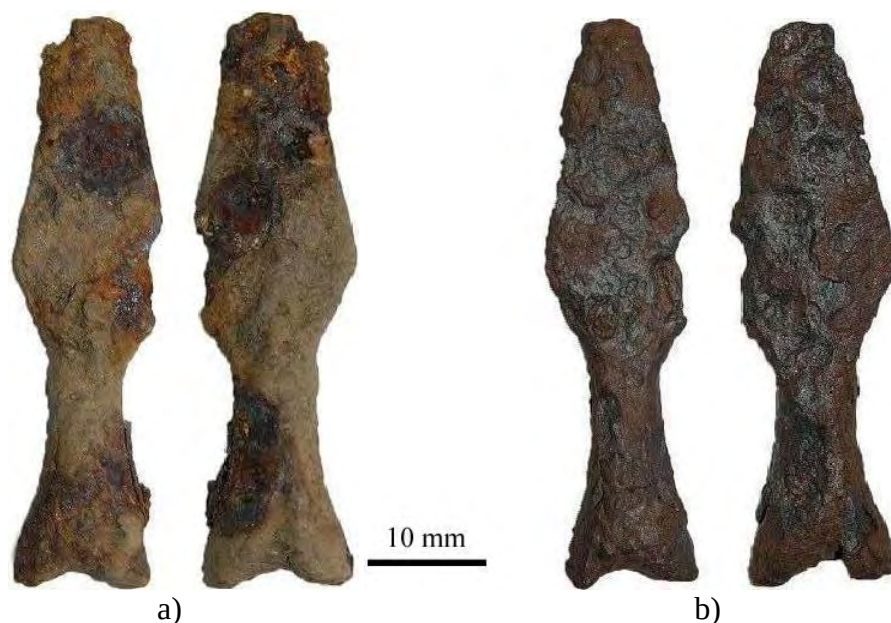
4.1.4 Hrot listového tvaru s tulejí (inventární č. 112/06)



Tento hrot pochází ze 7. století ze Znojma - Hradiště. Byl nalezen v opevněném předhradí, v hloubce 20 cm. Jedná se o univerzální typ použitelný pro bojové účely i pro lov menší zvěře. Na lov je použitelný díky řezným hranám, které způsobují větší zranění než hrot se čtvercovým profilem hrotu (angl. „bodkin“). Pro boj je vhodný díky vykování tulejky, která zajišťuje větší tuhost spojení hrotu s dříkem oproti hrotu s trnem. Hrot je také vykován s plochým kosočtvercovým profilem, který zaručuje větší tuhost těla hrotu při dopadu na tvrdý cíl. Vyšší tuhost hrotu může být navíc zajištěna vykováním žebra.

Nálezový stav byl pokryt hlínou a silně znečištěn korozí (obr. 4.18a). Mechanickým a následným ultrazvukovým očištěním byly nečistoty a část oxidů odstraněny (obr. 4.18b), a tím došlo k částečné změně rozměrů hrotu. Následně byl lépe rozeznatelný tvar a zpracování hrotu. Po očištění vnitřní části tulejky je zřejmé, že byly okraje přeloženy, a celá tulejka úplně sbalena. Tulejka je však silně zdeformovaná a má eliptický tvar. Její rozměry však odpovídají průměru tulejky v rozmezí 10-11 mm, což je hodnota, která je obdobná rozměrům tulejí hrotů z tohoto období. Hloubku tulejky nebylo možné změřit, aniž by byl porušen její nálezový stav. Dle stavu konce a délky hrotu lze říci, že tulejka není kompletní a její koncová část chybí. Ze stavu a tvaru špičky hrotu lze usoudit, že jeho poslední část byla odlomena, a tudíž byla původní délka hrotu větší než u nálezového stavu.

Hrot byl zvážen a jeho rozměry změřeny (tab. 4.7). Vnější vzhled byl dokumentován pomocí fotoaparátu a scanneru a po převedení do digitální podoby dále upravován.



Obr. 4.18 Listový hrot s tulejí: a) nálezový stav, b) zkoumaný stav

Tab. 4.7 Základní rozměry a váha hrotu:

celková délka [mm]	šířka břitu [mm]	délka tuleje [mm]	tloušťka břitu [mm]	rozměr tulejky [mm]	hmotnost [g]
48,29	12,32	17,5	2,7	11,4 x 7,58	4,68

Pozn.: jelikož je hrot silně poškozen korozí, většina rozměrů se liší oproti původním rozměrům hrotu – nejvíce šířka a tloušťka břitu a délka hrotu.

Metodika materiálové analýzy

Cílem materiálové analýzy bylo určit prvkové složení, strukturu a vlastnosti. Zajímali jsme se především o špici hrotu, její provedení a případné tepelné zpracování. Z těchto důvodů byl separován vzorek pro metalografický výbrus z jedné částice špice hrotu (obr. 4.19).



Obr. 4.19 Odseparovaný vzorek části špice hrotu

Oddělení vzorku bylo provedeno na řezačce Struers Accutom pomocí kotouče z Al_2O_3 o tloušťce 0,5 mm z důvodů odebrání co nejmenšího množství materiálu, kvůli následné restauraci hrotu střely. Hrot byl při řezání chlazen olejem, aby nebyl hrot korozně napaden v případě chlazení vodou. Dále byla jeho příprava prováděna konvenčním postupem, tedy zalisováním hrotu, následným broušením na metalografických papírech za mokra, vyleštěním diamantovými pastami a naleptáním. Struktura vzorku byla po naleptání 2 % leptadlem Nital pozorována na metalografickém mikroskopu Olympus GX 71 při použitých zvětšeních

objektivu 5x, 10x, 20x a 50x a dokumentována digitální kamerou DP 11 (celkové zvětšení při dokumentaci vlastních struktur bylo cca 100x, 500x a celková struktura pak cca 50x).

Později budou zkoumaná místa dále podrobena identifikaci prvkového složení strukturních složek v mikrostruktuře. Dále byla v rozdílných strukturách vzorku naměřena tvrdost HV0,3 na mikrotvrdoměru LECO M 400 při zatížení 2,94 N (tab. 4.8).

Tab. 4.8 Hodnoty tvrdostí HV 0,3 z různých oblastí vzorku

místo ve vzorku	oblast A	oblast B	špička vzorku
struktura	jemný ferit	hrubý ferit	střední ferit
tvrdost HV	241	228	261

Výsledky materiálové analýzy

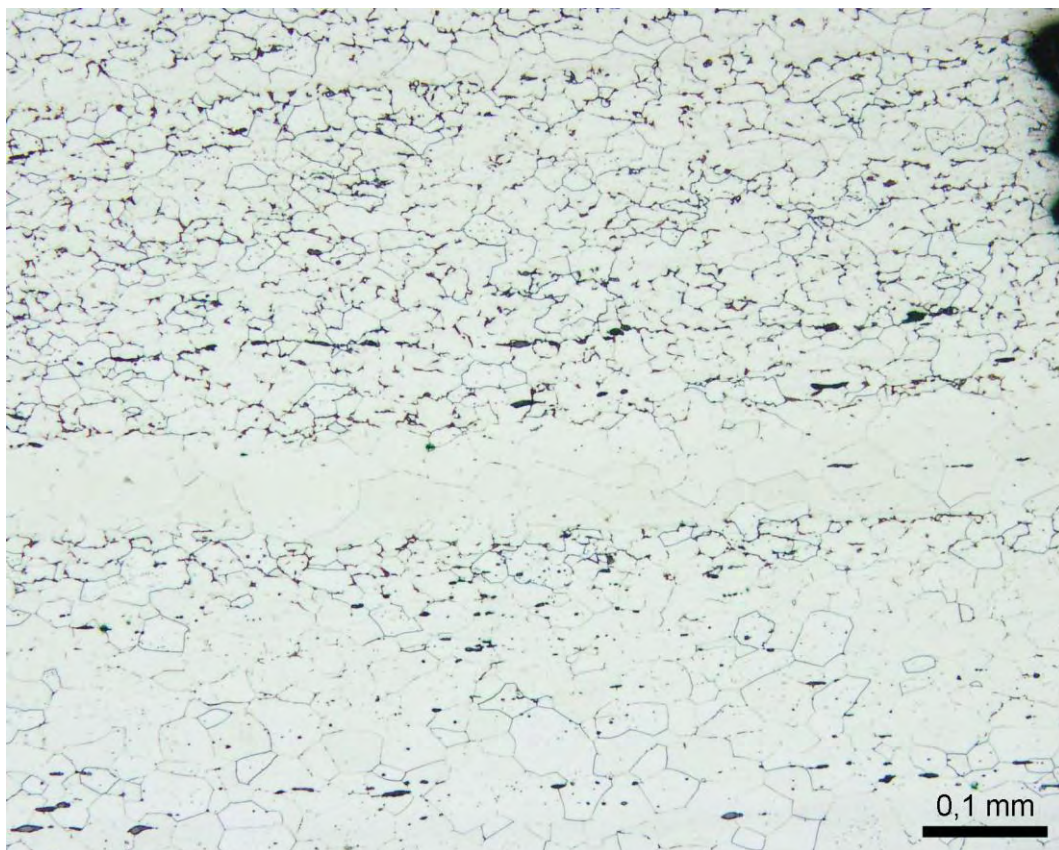
I u tohoto hrotu bylo možno pouhým okem po naleptání vidět řádkovitost struktury. Více se lesknoucí oblasti byly tvořeny feritem s velkými zrny, oblasti pod povrchem hrotu obsahovala jemnější ferit (obr. 4.20). Výrazná řádkovitost struktury byla pravděpodobně důsledkem několikanásobného překování v průběhu výroby hrotu. Řádkování ve zkoumaném vzorku je výrazné zejména v oblasti za zkorodovanou špičkou do poloviny vzorku (obr. 4.21), poté je struktura tvořena zejména feritem s velkými zrny. Výskyt usměrněných vměstků a zakované strusky je výrazný až v oblasti hrubého feritu v druhé polovině špičky (obr. 4.22).

Spolu s většinou ostatních struktur zkoumaných hrotů měla tato špička vzorku strukturu s poměrně velkými feritickými zrny. Tento fakt je dán tím, že tělo hrotu a hlavně jeho povrch je několikrát překováván a tím dojde ke zjemnění zrna, ale úplná špička není tolikrát překována jako zbytek hrotu. Toto platí často pro ploché řezné hroty, kde musely být vykovány břity nebo křídélka a tvar ostří. U tohoto hrotu je špička vzorku pravděpodobně odlišná od špičky původního hrotu, jelikož u nálezu hrotu chybí část špičky.

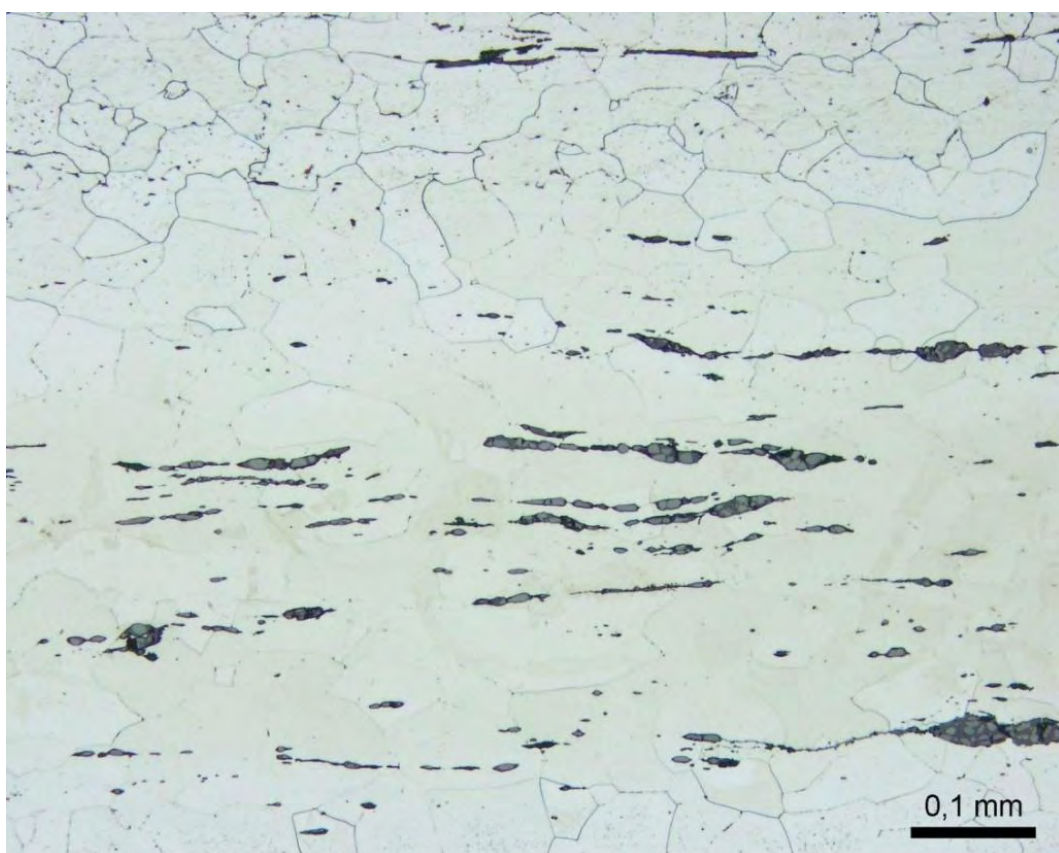
Přestože byly všechny nálezy očištěny mechanicky i ultrazvukem, jejich povrch byl pořád z větší části pokryt oxidy. V tomto případě je nejvýraznější koroze kolem špičky vzorku a oblast nezasažená korozí umožňující zkoumání struktury je zde velmi malá. Proto je oblast A snímána až za touto poškozenou částí. Za zkorodovanou oblastí lze pozorovat řádkovitost tvořenou převážně jemnějším feritem. Minimální množství perlitu se vyskytuje na hranicích jemného feritu.



Obr. 4.20 Makrostruktura po celé délce vzorku při zvětšení 50x.



Obr. 4.21 Mikrostruktura hrotu 112/06 – oblast A



Obr. 4.22 Mikrostruktura hrotu 50/02 – oblast B

4.1.5 Hrot listového tvaru s tulejí (inventární č. 226/05)



Tento hrot pochází ze 7. století ze Znojma - Hradiště. Místo nález bylo v sondě Statek – „Za kutlochem“ a před kamennou hradbou, v hloubce 130cm. Jedná se o univerzální typ hrotu použitelný pro bojové účely i pro lov menší zvěře. Na lov je použitelný díky řezným hranám, které způsobují větší zranění než hrot se čtvercovým profilem hrotu („bodkin“). Pro boj je vhodný díky vykování tulejky, která zajišťuje větší tuhost spojení hrotu s dřikem oproti hrotu s trnem. Hrot je vykován s plochým profilem břitu, který nezaručuje takovou tuhost těla hrotu jako profil kosočtverečný nebo dokonce profil s žebrem. Hrot je tudíž použitelný jen proti lehce chráněným cílům kvůli svému nevhodnému profilu a poměrně velké štíhlosti břitu.

Nálezový stav byl pokryt hlínou a silně znečištěn korozí (obr. 4.23a). Oprašováním a následným očištěním v ultrazvuku byla hlína a větší část oxidů odstraněny (obr. 4.23b). Následně byl lépe rozeznatelný tvar a zpracování hrotu. Po očištění vnitřní a vnější části tulejky je zřejmé, že dochované okraje nebyly přeloženy, ale byly jen nakovány k sobě, což mohlo způsobit zhoršení tuhosti spojení hrotu s dřikem. Konec tulejky je silně poškozená korozí. Část materiálu konce chybí, a tudíž nelze určit, jestli byla aspoň na konci přeložena. Dle stavu konce tulejky, její tloušťky a malé hloubky (18mm) lze říci, že není kompletní a její koncová část chybí. Ze stavu a tvaru špičky hrotu lze vyvodit, že poslední jeho část byla odlomena, a tudíž byla původní délka hrotu větší než u nálezového stavu.

Hrot byl zvážen a jeho rozměry změřeny (tab. 4.9). Vnější vzhled byl dokumentován pomocí fotoaparátu a scanneru a po převedení do digitální podoby dále upravován.



Obr. 4.23 Listový hrot s tulejí: a) nálezový stav, b) zkoumaný stav

Tab. 4.9 Základní rozměry a váha hrotu:

celková délka [mm]	šířka břitu [mm]	tloušťka břitu [mm]	hloubka tulejky [mm]	průměr tulejky [mm]	hmotnost [g]
51,0	13,2	2,1	18,0	9,9	6,78

Pozn.: jelikož byl hrot silně poškozen korozí, hmotnost i většina rozměrů se liší oproti původním rozměrům hrotu – nejvíce šířka a tloušťka břitu, délka hrotu, délka a průměr tulejky.

Metodika materiálové analýzy

Cílem materiálové analýzy bylo určit prvkové složení, strukturu a vlastnosti. Zajímali jsme se především o špičku hrotu, její provedení a případné tepelné zpracování. Z těchto důvodů byl separován vzorek pro metalografický výbrus z jedné poloviny špičky hrotu (obr. 4.24).



Obr. 4.24 Odseparovaný vzorek části špičky hrotu

Oddělení vzorku bylo provedeno na řezačce Struers Accutom pomocí kotouče z Al_2O_3 o tloušťce 0,5 mm z důvodů odebrání co nejmenšího množství materiálu, kvůli následné restauraci hrotu střely. Hrot byl při řezání chlazen olejem, aby nebyl hrot korozně napaden v případě chlazení vodou. Dále byla jeho příprava prováděna konvenčním postupem, tedy zalisováním hrotu, následným broušením na metalografických papírech za mokra, vyleštěním diamantovými pastami a naleptáním. Struktura vzorku byla po naleptání 2 % leptadlem Nital pozorována na metalografickém mikroskopu Olympus GX 71 při použitých zvětšeních objektivu 5x, 10x, 20x a 50x a dokumentována digitální kamerou DP 11 (celkové zvětšení při dokumentaci vlastních struktur bylo cca 100x, 500x a celková struktura pak cca 50x).

Později budou zkoumaná místa dále podrobena identifikaci prvkového složení strukturních složek v mikrostruktuře. Dále byla v rozdílných strukturách vzorku naměřena tvrdost HV0,3 na mikrotvrdoměru LECO M 400 při zatížení 2,94 N (tab. 4.10).

Tab. 4.10 Hodnoty tvrdostí HV 0,3 z různých oblastí vzorku.

místo ve vzorku	oblast A	oblast B	pod povrchem
struktura	hrubší ferit	velmi hrubý ferit	jemný ferit+řádkový perlit
tvrdost HV	139	123	150

Výsledky materiálové analýzy

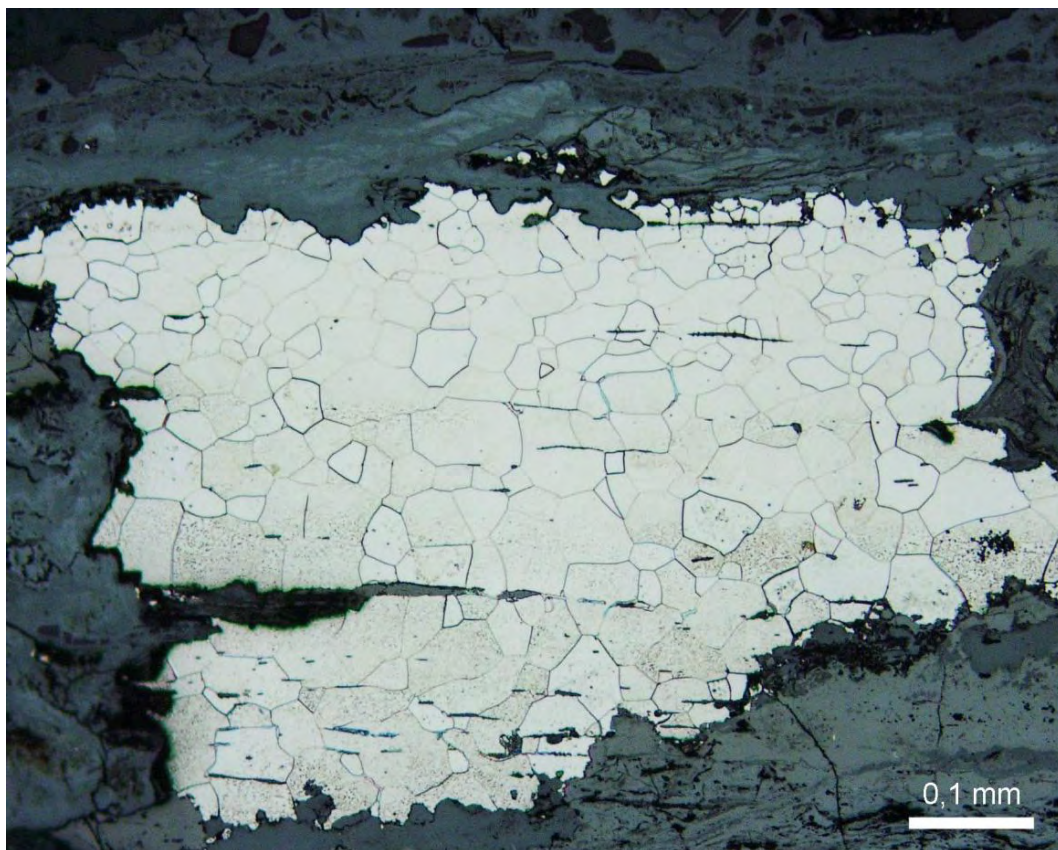
U tohoto hrotu bylo po naleptání možné bez zvětšení pozorovat řádkovitou strukturu tvořenou extrémně velkým feritem a jemnějším feritem pod povrchem hrotu (obr. 4.27). Řádkovitost struktury byla pravděpodobně důsledkem překování v průběhu výroby hrotu, když v tomto případě byla struktura celkově mnohem hrubozrnnější než u ostatních zkoumaných hrotů (obr. 4.25). Řádkování ve zkoumaném vzorku je výrazné zejména v horní oblasti pod povrchem, ve spodní části hrotu jemnozrnný ferit nelze pozorovat, což je pravděpodobně zapříčiněno velkým zkorodováním spodní části vzorku.

Zajímavostí je přítomnost malého množství perlitu v podobě usměrněného pásu v oblasti jemnějšího feritu v horní části vzorku. Tento pás se táhne téměř přes celou délku vzorku. Usměrněných vměstky a zakovaná struska jsou v tomto případě velice dlouhé a často tvoří hranici pro ferit s velkými zrny (obr. 4.26), kde se také nejčastěji vyskytují. Z tohoto lze vyvodit, že byl hrot několikrát kovářsky svařen a poté překován, a proto v těchto pásech lze pozorovat řádkování ohrazené dlouhými vměstkami a zakovanou struskou.

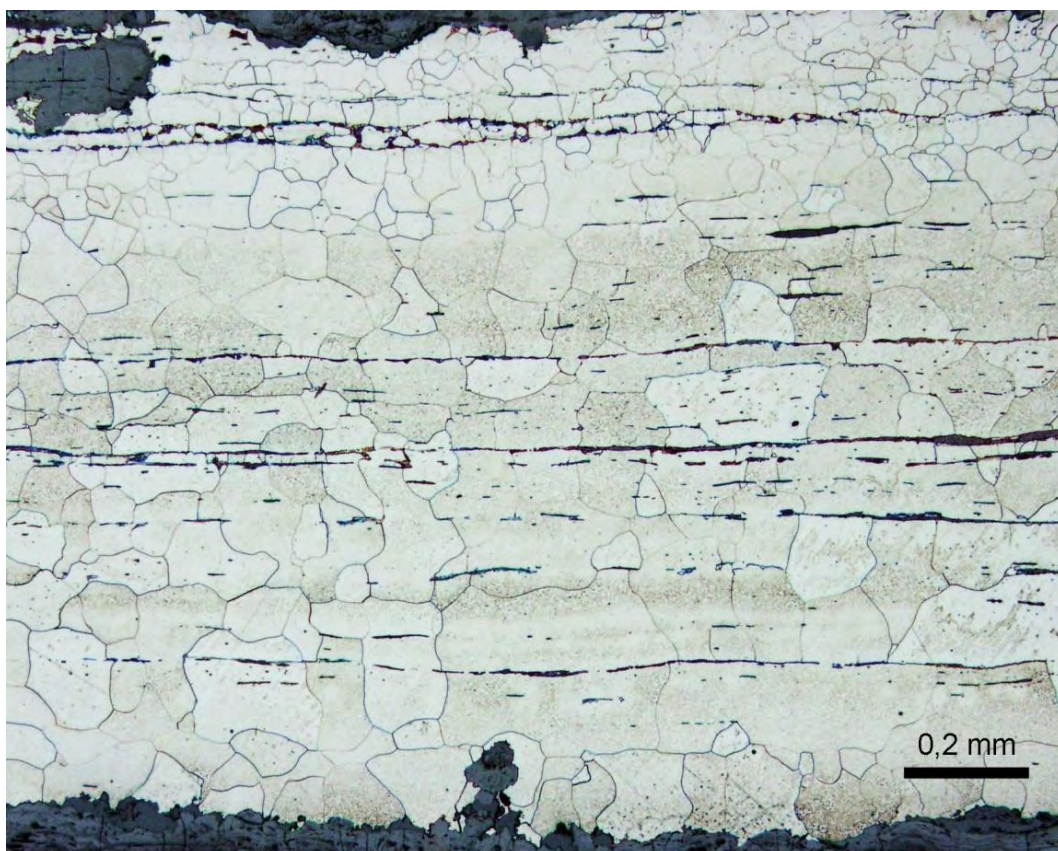
Podle neobvyklé velikosti feritických zrn a extrémně dlouhých usměrněných vměstků lze usoudit, že tento hrot nebyl tolikrát překováván jako další zkoumané hroty, a proto nedošlo ke zjemnění zrna ani k rozmělnění vměstků a zakované strusky. Velikost feritických zrn se ke špičce hrotu zmenšuje (obr. 4.27), což neodpovídá stavu většiny zkoumaných hrotů. Špička je u ostatních hrotů tvořena hrubým feritem, po něm následuje vyřádkovaná oblast s převahou jemnějšího feritu, ferit s extrémně velkými zrny se zde vyskytuje uprostřed, nebo na úplném konci vzorku. U tohoto hrotu je špička vzorku pravděpodobně různá oproti špičce původního hrotu, jelikož u nálezu hrotu chybí část špičky.



Obr. 4.25 Makrostruktura po celé délce vzorku při zvětšení 50x.



Obr. 4.26 Mikrostruktura hrotu 226/05 – oblast A



Obr. 4.27 Mikrostruktura hrotu 226/05 – oblast B

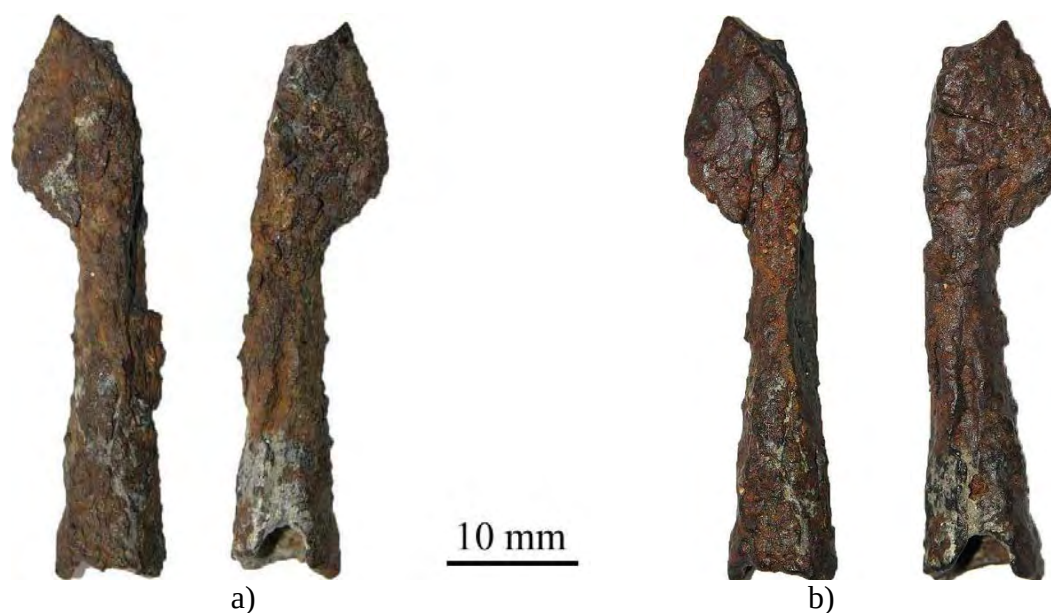
4.1.6 Hrot listového tvaru s tulejí (inventární č. 123/00)



Tento hrot pochází ze 7. století ze zaniklého Znojma- Hradiště. Byl nalezen v oblasti vnitřního hradu, v místě sondy Mikudim, v hloubce 80 cm. Jedná se o univerzální typ použitelný pro bojové účely i pro lov menší zvěře. Na lov je použitelný díky řezným hranám, které způsobují větší zranění než hrot se čtvercovým profilem hrotu („bodkin“). Pro boj je vhodný díky vykování tulejky, která zajišťuje větší tuhost spojení hrotu s dříkem oproti hrotu s trnem. Tento nález hrotu je neúplný, lze pozorovat velké korozní poškození a odlomení jedné části břitu hrotu i špičky hrotu. Z rozměrů a tvaru tulejky lze vyvodit její poškození a neúplnost. I přes velké poškození hrotu lze rozpoznat velmi masivní tloušťku hrotu, která je i v břitové části prakticky dvojnásobná (5,2mm) oproti ostatním zkoumaným hrotům tohoto typu (hlavně hrotů 112/06, 226/05, 111/06).

Nálezový stav byl pokryt hlínou a silně znečištěn korozí (obr. 4.28a). Oprašováním a následným očištěním v ultrazvuku byla hlína a větší část oxidů odstraněny (obr. 4.28b). Následně byl lépe rozeznatelný tvar a zpracování hrotu. Po očištění vnitřní a vnější části tulejky lze říci, že byla kováním přeložena. Konec je silně poškozen korozí. Velká část materiálu konce tulejky chybí, a tudíž nelze určit její přesnou délku hrotu ani hloubku. Hloubka tuleje při zbývající části materiálu byla velmi malá (13,6 mm), což je nedostatečně pro tuhé spojení hrotu s dříkem. Z těchto důvodů a také z velké tloušťky stěny tulejky (1,8 mm) lze říci, že velká část původní tulejky chybí. Minimální hloubka tulejí se pohybuje kolem 25mm a více, což záleží také na průměru dřevěného dříku na který je hrot nasazován. Kované hroty měly konce tulejí díky technologii výroby velice tenké, a tudíž byly lehčí a dobře nasaditelné na dřík.

Hrot byl zvážen a jeho rozměry změřeny (tab. 4.11). Vnější vzhled byl dokumentován pomocí fotoaparátu a scanneru a po převedení do digitální podoby dále upravován.



Obr. 4.28 Listový hrot s tulejí 123/00: a) nálezový stav, b) zkoumaný stav

Tab. 4.11 Základní rozměry a váha hrotu:

celková délka [mm]	šířka břitu [mm]	tloušťka břitu [mm]	hloubka tulejky [mm]	průměr tulejky [mm]	hmotnost [g]
43,1	9,5	5,2	13,6	8,5	4,05

Pozn.: jelikož byl hrot silně poškozen korozí, hmotnost i většina rozměrů se liší oproti původním rozměrům hrotu – nejvíce délka hrotu, šířka břitu, délka a průměr tulejky.

Metodika materiálové analýzy

Cílem materiálové analýzy bylo určit prvkové složení, strukturu a vlastnosti. Zajímali jsme se především o špici hrotu, její provedení a případné tepelné zpracování. Z těchto důvodů byl separován vzorek pro metalografický výbrus z jedné poloviny špice hrotu (obr. 4.29).



Obr. 4.29 Odseparovaný vzorek části špice hrotu

Oddělení vzorku bylo provedeno na řezačce Struers Accutom pomocí kotouče z Al_2O_3 o tloušťce 0,5 mm z důvodů odebrání co nejmenšího množství materiálu, kvůli následné restauraci hrotu střely. Hrot byl při řezání chlazen olejem, aby nebyl hrot korozně napaden v případě chlazení vodou. Dále byla jeho příprava prováděna konvenčním postupem, tedy zalisováním hrotu, následným broušením na metalografických papírech za mokra, vyleštěním diamantovými pastami a naleptáním. Struktura vzorku byla po naleptání 2 % leptadlem Nital pozorována na metalografickém mikroskopu Olympus GX 71 při použitých zvětšeních

objektivu 5x, 10x, 20x a 50x a dokumentována digitální kamerou DP 11 (celkové zvětšení při dokumentaci vlastních struktur bylo cca 100x, 500x a celková struktura pak 50x).

Později budou zkoumaná místa dále podrobena identifikaci prvkového složení strukturních složek v mikrostruktuře. Dále byla v rozdílných strukturách vzorku naměřena tvrdost HV0,3 na mikrotvrdoměru LECO M 400 při zatížení 2,94 N (tab. 4.12).

Tab. 4.12 Hodnoty tvrdostí HV 0,3 z různých oblastí vzorku

místo ve vzorku	oblast A	oblast B	konec zachované struktury
struktura	středně hrubý ferit	perlit	perlit
tvrdost HV	136	145	166

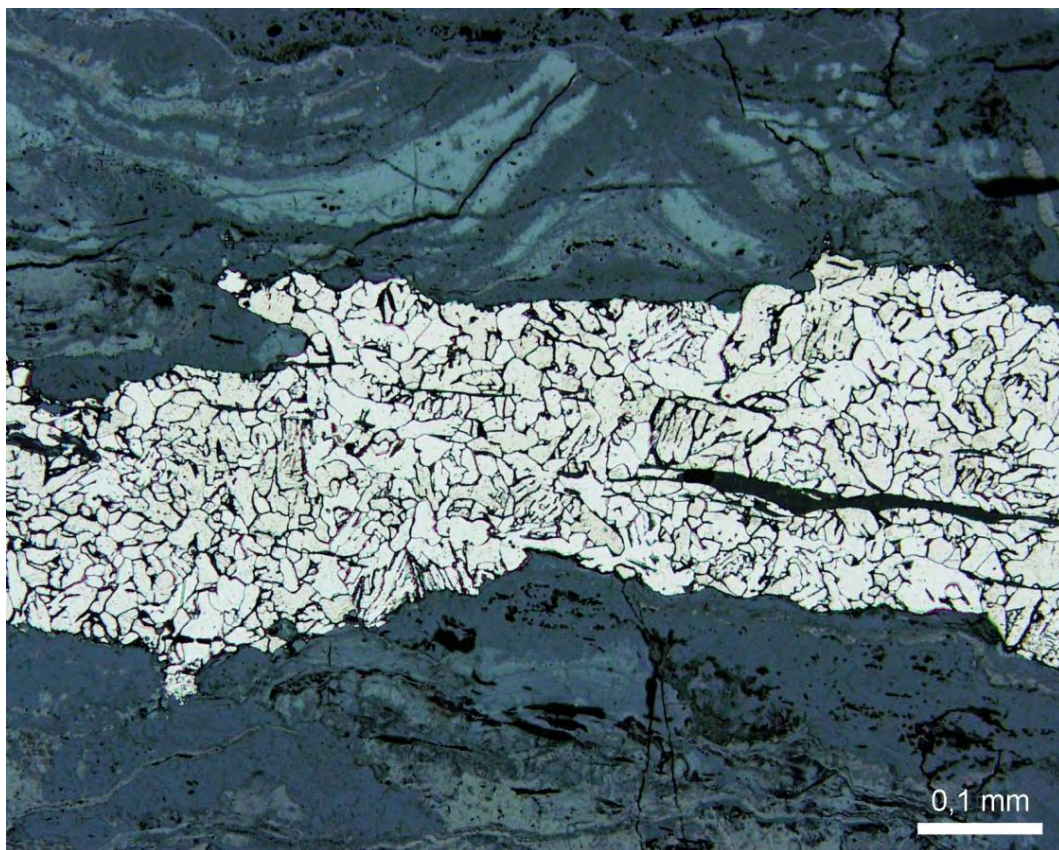
Výsledky materiálové analýzy

Již po oddělení vzorku bylo jasné, že hrot je do velké hloubky poškozen korozí. Kvůli stavu hrotu nebylo jasné, jestli bude možné zkoumat strukturu přes rozsáhlé korozní poškození. Nakonec se podařilo vyleštit a naleptat aspoň zbylou část zachovalé struktury (obr. 4.30). Bohužel je tato oblast tak malá, že z ní objektivně nejdou vyvodit přesné stanovisko o celé struktuře a stavu špičky hrotu. I přesto toto značné korozní poškození hrotu lze však vydedukovat určité závěry. Ve zbylé struktuře se vyskytuje mezi převažující jemnozrnnou feritickou strukturou větší množství perlitu, než bylo obvyklé u ostatních zkoumaných hrotů. Tento perlit se nachází uprostřed vzorku, proto lze říci, že se nejedná o ovlivnění struktury nauhličením. Toto znamená, že už výchozí materiál hrotu byl vykován pravděpodobně z oceli s vyšším obsahem uhlíku. Vzhledem k malé zkoumané oblasti se ale může jednat o náhodnou strukturu a závěr o vysoceuhlíkovém polotovaru může být mylný.

Zachovalá struktura je v přední části tvořena jemnozrnným feritem (obr. 4.31), v prostřední a koncové části se objevuje větší množství částečně sbaleného perlitu (obr. 4.32a,b). V této zbylé struktuře se vyskytuje menší množství usměrněných vměstků než u ostatních zkoumaných hrotů. Vzorek se nevyznačuje usměrněnou řádkovou strukturou jako u předešlých hrotů. Toto může znamenat jiný způsob zpracování materiálu pro hrot, nebo také mylný závěr z nedostatku informací kvůli malé ploše zkoumané struktury. Velký podíl feritické struktury hlavně na hranicích perlitu je tvořen jehlicovým feritem.



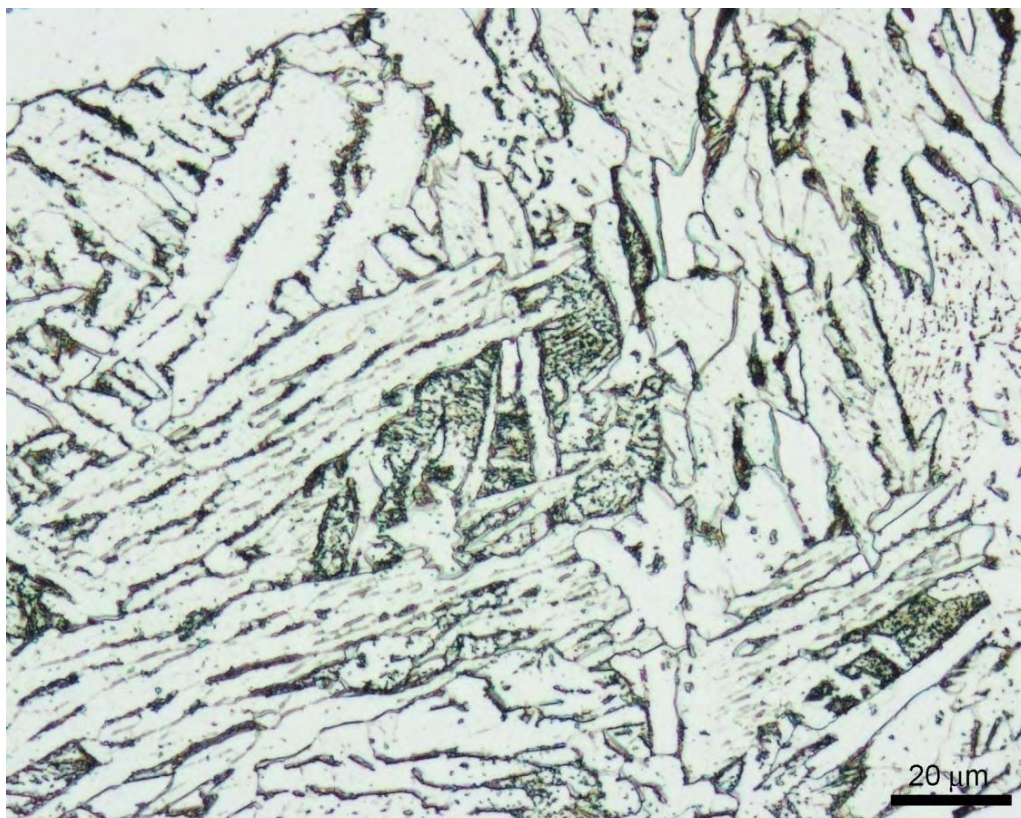
Obr. 4.30 Makrostruktura dochované části materiálu ve vzorku při zvětšení 50x.



Obr. 4.31 Mikrostruktura hrotu 123/00 – oblast A



a)



b)

Obr. 4.32 Mikrostruktura hrotu 123/00 – oblast B

4.1.7 Hrot typu „bodkin“ s kosočtverečným profilem a s tulejí (inventární č. 4/96)



Tento hrot pochází ze 13. století ze Znojma - Hradiště. Byl odevzdán p. Novákem, jde pravděpodobně o povrchový nález. Tento hrot je určen výhradně pro vojenské použití. Jeho tvar se vyvinul z klasického hrotu typu „bodkin“, aby mohl lépe prorážet odolnější typy zbroje než je kroužková brnění (především plátová zbroj). Princip proražení plátového brnění spočívá v úhlu špičky, která musí být dostatečně ostrá, aby účinně pronikla materiálem, a zároveň dost robustní na to, aby se při dopadu nedeformovala. Hloubka průniku hrotu lze konstrukčně zajistit dvěma způsoby. Pracovní část hrotu před tulejí se vyrobí dostatečně dlouhá, aby i po zastavení průniku hrotu o širší tuleje způsobil hrot vážné zranění – což je případ tohoto nálezu. U pozdějších typů takových hrotů je průřez v nejširší části hrotu větší, než průřez tuleje, a tím se šíp po proniknutí brněním nezastaví nebo nezpomalí třením tuleje o brnění. Toto je však nejčastěji uplatňováno až u pozdějších velmi těžkých hrotů z 15. - 16. století do silných kuší a vojenských luků.

Hrot byl předán na zkoumání v zakonzervovaném stavu, ale jelikož koroze hrotu pokračovala i pod touto ochranou, byl hrot od povlaku a koroze mechanicky a ultrazvukově očištěn (obr. 4.33). Rozměry hrotu po očištění se nezměnily, jelikož vrstva koroze nebyla příliš silná. Celé zpracování hrotu svědčí o vyspělejší technologii a postupu zpracování oproti zkoumaným hrotům ze 7. století. Tulejka hrotu byla po délce sbalena překováním a krček tuleje dobře zpracován. Podle stavu poškození a tloušťky konce tulejky lze usoudit, že délka tuleje byla v původním stavu stejná nebo lehce delší než je stav zkoumaný. Kvalitnější zpracování tohoto hrotu je pravděpodobně dáno tím, že byl vyroben kovářem, který se specializoval jen na výrobu hrotů, kdežto v 7. století nebylo třeba takové specializace, a hroty byly pro potřebu vyráběny běžnými kováři.

Hrot byl zvážen a jeho rozměry změřeny (tab. 4.13). Vnější vzhled byl dokumentován pomocí fotoaparátu a scanneru a po převedení do digitální podoby dále upravován.



Obr. 4.33 Dokumentace stavu hrotu po očištění

Tab. 4.13 Základní rozměry a váha hrotu:

celková délka [mm]	délka pracovní části hrotu	max. průřez [mm]	hloubka tuleje [mm]	průměr tuleje [mm]	hmotnost [g]
83,0	60,0	10,5 x 7,5	26,2	11	16,55

Pozn.: jelikož byl hrot lehce poškozen korozí, většina rozměrů se neliší oproti původním rozměrům hrotu – liší se nejvíce průřez hrotu v poškozených místech.

Metodika materiálové analýzy

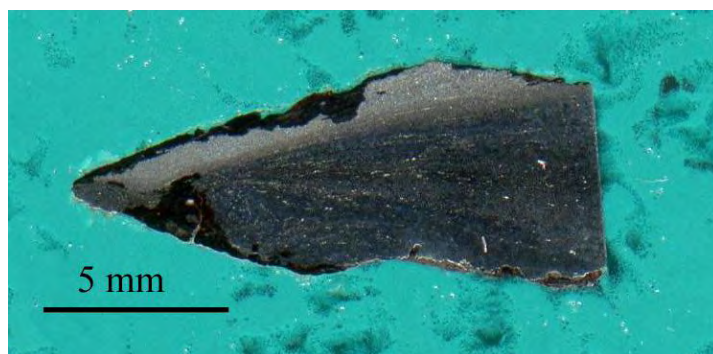
Cílem materiálové analýzy bylo určit prvkové složení, strukturu a vlastnosti. Zajímali jsme se především o špici hrotu, její provedení a případné tepelné zpracování. Z těchto důvodů byl separován vzorek pro metalografický výbrus z jedné částice špice hrotu (obr. 4.34).



Obr. 4.34 Odseparovaný vzorek části špice hrotu

Oddělení vzorku bylo provedeno na řezačce Struers Accutom pomocí kotouče z Al_2O_3 o tloušťce 0,5 mm z důvodů odebrání co nejmenšího množství materiálu, kvůli následné restauraci hrotu střely. Hrot byl při řezání chlazen olejem, aby nebyl hrot korozně napaden v případě chlazení vodou. Dále byla jeho příprava prováděna konvenčním postupem, tedy zalisováním hrotu, následným broušením na metalografických papírech za mokra, vyleštěním diamantovými pastami a naleptáním. Struktura vzorku byla po naleptání 2 % leptadlem Nital pozorována na metalografickém mikroskopu Olympus GX 71 při použitých zvětšeních objektivu 5x, 10x, 20x a 50x a dokumentována digitální kamerou DP 11 (celkové zvětšení při dokumentaci vlastních struktur bylo cca 100x, 500x a celková struktura pak cca 50x).

Později budou zkoumaná místa dále podrobena identifikaci prvkového složení strukturních složek v mikrostruktuře. Dále byla v rozdílných strukturách vzorku naměřena tvrdost HV0,3 na mikrotvrdoměru LECO M 400 při zatížení 2,94 N (tab. 4.14).



Obr. 4.35 Zalisovaný vzorek po naleptání

Tab. 4.14 Hodnoty tvrdostí HV 0,3 z různých oblastí vzorku.

místo ve vzorku	oblast A	oblast B	oblast C	konec vzorku
struktura	středně hrubý ferit+perlit	perlit	stření ferit	jemný ferit+ perlit
tvrdost HV	144	235	99,7	166

Výsledky materiálové analýzy

Po naleptání vyleštěného vzorku byla již pouhým okem patrné, že struktura uvnitř vzorku se liší od struktury pod jedním povrchem špičky hrotu (obr. 4.36). Okem lze také pozorovat velké nečistoty ve vzorku. Většina struktury vzorku je tvořena feritem. Jeho velikost se liší od umístění ve vzorku. Jako u struktur předešlých zkoumaných hrotů se uprostřed a na konci vyskytuje ferit se zrny střední velikosti (obr. 4.39). Blíže k povrchu a více ke špičce se nachází ferit s menší velikostí zrna, jenž je důsledkem překovávání hrotu, a tím zjemnění struktury hlavně pod povrchem. Oblast pod povrchem hrotu s rozdílnou strukturou je tvořena perlitem, jehož obsah se od povrchu do větší hloubky vzorku snižuje (obr. 4.37), tato oblast vznikla pravděpodobně nauhličením. Zkoumaný vzorek špičky hrotu je výrazně znečištěn přítomností usměrněných, i velkých samostatných vměstků, a také zakovanou struskou. Tyto nečistoty se převážně vyskytují ve feritické struktuře.

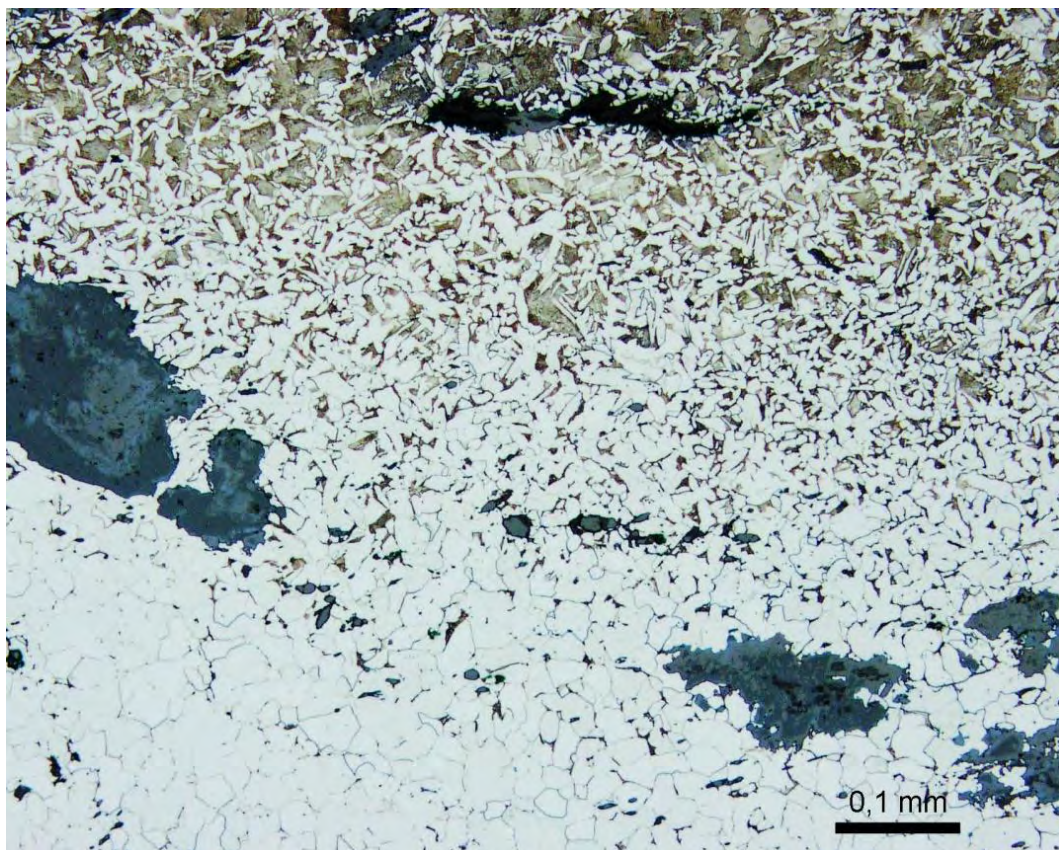
Na snímcích makrostruktury je viditelná nauhličená oblast jen na jedné straně pod povrchem vzorku (obr. 4.35). Je nepravděpodobné, že by byl hrot nauhličen jen z jedné strany. Nepřítomnost nauhličené vrstvy na jedné straně špičky je zřejmě zapříčiněna jejím silným zkorodováním a následným oddělením materiálu. I přes silné poškození lze v těchto místech pozorovat oblasti s perlitickou strukturou, což naznačuje nauhličení.

Další důvodem přítomnosti jen jedné oblasti s perlitem může být, že viditelná oblast byla do materiálu nakována, a tudíž by se druhá vysoceuhlíková oblast nemusela vůbec ve struktuře vyskytovat. Tato teorie je však méně pravděpodobná, jelikož přechod z feritické do perlitické oblasti je postupný, a není tak ostrý a pravidelný, jako v případech hrotů s vloženou vysoceuhlíkovou destičkou. Tyto teorie by mělo potvrdit či vyvrátit pozdější chemická analýza míst s rozdílným obsahem perlitu. Jestliže bude dokázáno, že perlitická i feritická oblast jsou ze stejného materiálu, bude potvrzeno, že se jedná o nauhličení. Jestliže naopak budou původ struktur odlišný, půjde o nakování vysoceuhlíkové části.

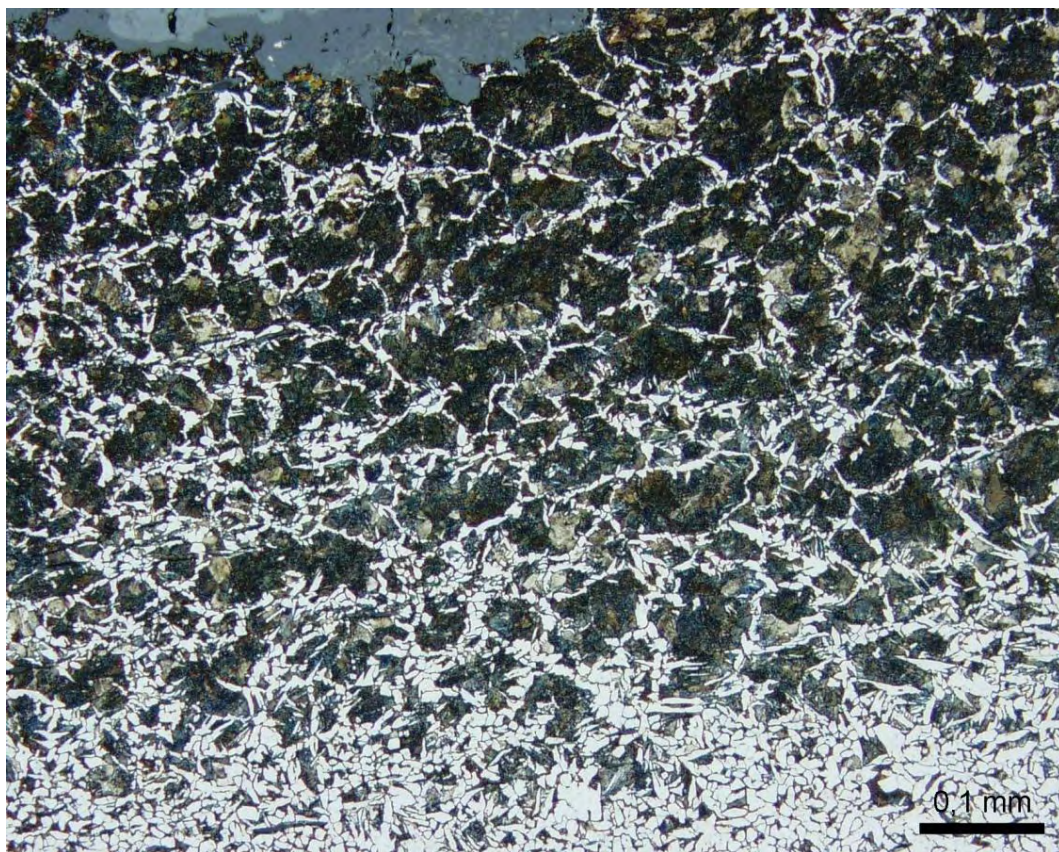
Perlit ve vysoceuhlíkové oblasti je převážně globulární. V této oblasti se vyskytuje velké množství feritu na hranicích perlitu (4.38a,b). Na přechodu perlitické struktury a feritu v těle hrotu se vyskytuje Widmannstättenova struktura.



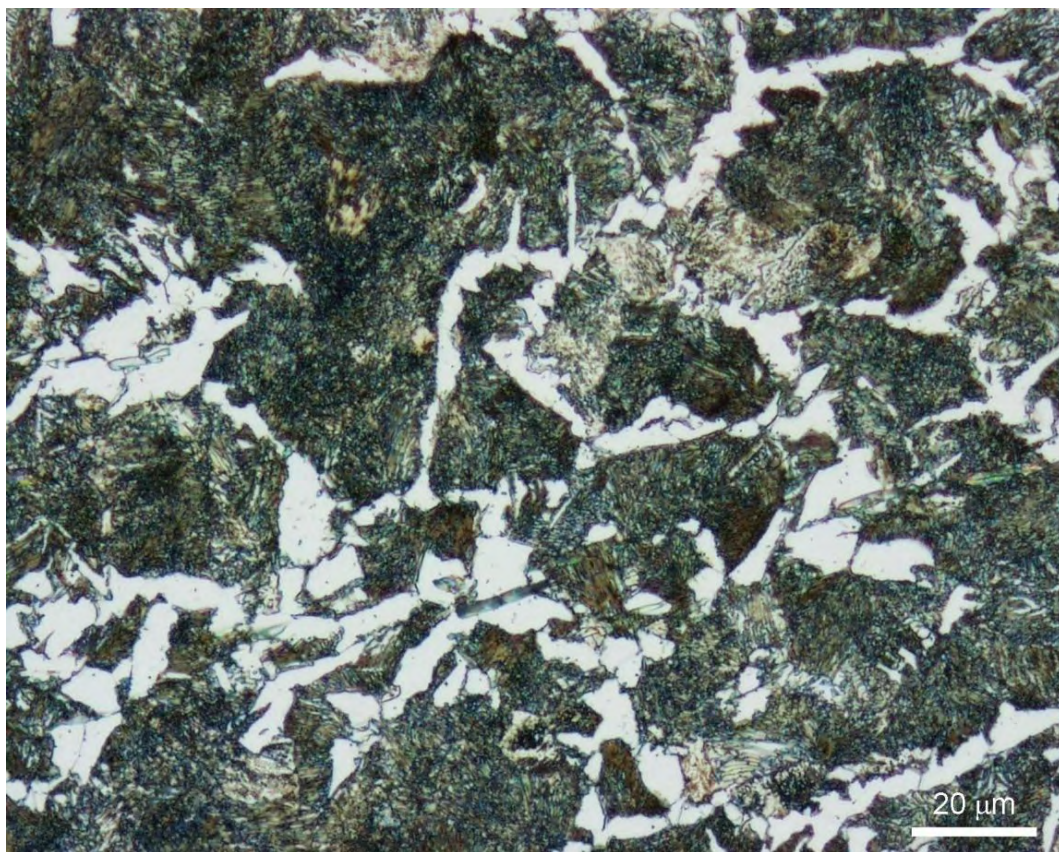
Obr. 4.36 Makrostruktura po celé délce vzorku uprostřed a pod povrchem při zvětšení 50x.



Obr. 4.37 Mikrostruktura hrotu 4/96 – oblast A

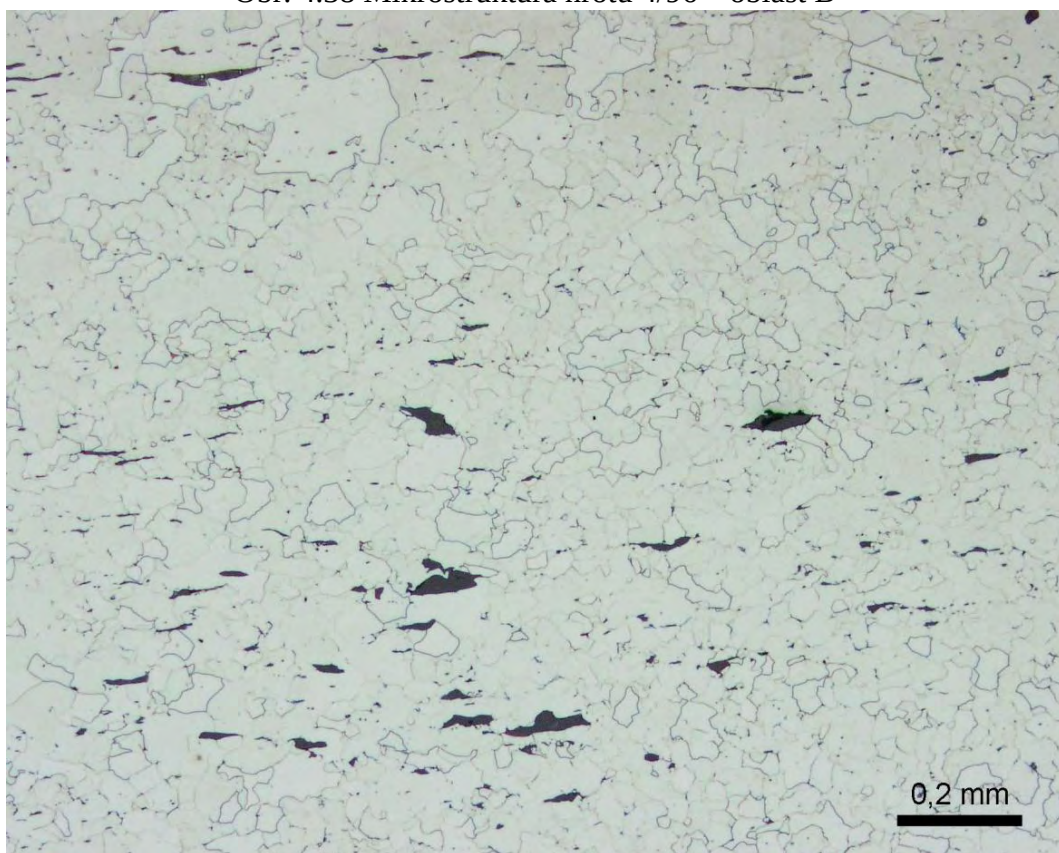


a)



b)

Obr. 4.38 Mikrostruktura hrotu 4/96 – oblast B



Obr. 4.39 Mikrostruktura hrotu 4/96 – oblast C

4.1.8 Hrot typu „bodkin“ s kosočtverečným profilem a s trnem (inventární č. 22/04)



Stejně jako u předešlého hrotu, tento hrot pochází ze 13. století ze Znojma - Hradiště. Byl nalezen v prostoru vnitřního hradu, v oblasti sondy Statek III – „za kutlochem“, v hloubce 35 cm, ve vrstvě navážek, v prostoru rozšíření výzkumu.

Hrot je svým tvarem určen výhradně pro vojenské použití. Jeho tvar se vyvinul z klasického hrotu typu „bodkin“, aby mohl lépe prorážet odolnější typy zbroje než je kroužková brnění, což je hlavně plátová zbroj. Tento hrot je velice zvláštní spojením tvaru vhodného k prorážení tvrdých cílů jako je plátové brnění, a přesto je vykován s trnem, který hrotu zajišťuje menší tuhost spojení hrotu s dříkem než je to u hrotu s tulejí. Přesto že je mnohem více nálezů hrotů tohoto typu s tulejí, není tento typ hrotu s trnem úplnou výjimkou.

Hrot byl předán na zkoumání v zakonzervovaném stavu, ale jelikož koroze hrotu pokračovala i pod touto ochranou, byl hrot od povlaku a koroze očištěn pískováním a v ultrazvuku (obr. 4.41). Rozměry hrotu po očištění se nezměnily, jelikož vrstva koroze nebyla příliš silná. Celé zpracování hrotu svědčí o vyspělejší technologii a postupu zpracování oproti zkoumaným hrotům ze 7. století. Trn se zdá být zachovalý a nepoškozen, proto lze předpokládat shodnou délku trnu v původním a nálezovém tvaru. Délka trnu je 31 mm, což je dostatečný rozměr pro pevné vsazení do dříku šípu. Oproti dalším zkoumaným hrotům s trnem je tento trn vykován s velkým přesahem do zbytku hrotu (obr. 4.40), což umožní hrotu lepší styk s dříkem a tím zlepši pevnost spojení.



Obr. 4.40 Detail přechodu trnu do hrotu

Kvalitnější zpracování tohoto hrotu je pravděpodobně dáno tím, že byl vyroben kovářem, který se specializoval jen na výrobu hrotů, kdežto v 7. století nebylo třeba takové specializace, a hroty byly pro potřebu vyráběny běžnými kováři.

Hrot byl zvážen a jeho rozměry změřeny (tab. 4.15). Vnější vzhled byl dokumentován pomocí fotoaparátu a scanneru a po převedení do digitální podoby dále upravován.



Obr. 4.41 Dokumentace stavu hrotu po očištění

Tab. 4.15 Základní rozměry a váha hrotu:

celková délka [mm]	průřez hrotu u trnu [mm]	max. průřez [mm]	délka trnu [mm]	hmotnost [g]
112,0	6,5 x 6,5	10,5 x 6,3	31,0	14,63

Pozn.: hrot nebyl poškozen korozí, proto se rozměry nálezu pravděpodobně shodují s původními rozměry hrotu.

Metodika materiálové analýzy

Cílem materiálové analýzy bylo určit prvkové složení, strukturu a vlastnosti. Zajímali jsme se především o špici hrotu, její provedení a případné tepelné zpracování. Z těchto důvodů byl separován vzorek pro metalografický výbrus z jedné částice špice hrotu (obr. 4.42).



Obr. 4.42 Odseparovaný vzorek části špice hrotu

Oddělení vzorku bylo provedeno na řezačce Struers Accutom pomocí kotouče z Al_2O_3 o tloušťce 0,5 mm z důvodů odebrání co nejmenšího množství materiálu, kvůli následné restauraci hrotu střely. Hrot byl při řezání chlazen olejem, aby nebyl hrot korozně napaden v případě chlazení vodou. Dále byla jeho příprava prováděna konvenčním postupem, tedy zalisováním hrotu (obr. 4.42), následným broušením na metalografických papírech za mokra, vyleštěním diamantovými pastami a naleptáním. Struktura vzorku byla po naleptání 2 % leptadlem Nital pozorována na metalografickém mikroskopu Olympus GX 71 při použitých zvětšeních objektivu 5x, 10x, 20x a 50x a dokumentována digitální kamerou DP 11 (celkové zvětšení při dokumentaci vlastních struktur bylo cca 100x, 500x a celková struktura pak cca 50x).

Později budou zkoumaná místa dále podrobena identifikaci prvkového složení strukturních složek v mikrostruktuře. Dále byla v rozdílných strukturách vzorku naměřena tvrdost HV0,3 na mikrotvrdoměru LECO M 400 při zatížení 2,94 N (tab. 4.16).



Obr. 4.43 Zalisovaný vzorek po naleptání

Tab. 4.16 Hodnoty tvrdostí HV 0,3 z různých oblastí vzorku.

místo ve vzorku	oblast A	oblast B	oblast C	oblast D	druhý nakovaný břit
struktura	Perlit+ II.cementit	zakovaná struska	Widmannstätt. struktura	Perlit+jemný ferit	Perlit+ II.cementit
tvrdost HV	334	245	111	194	333

Výsledky materiálové analýzy

Po naleptání vyleštěného vzorku byla již pouhým okem patrné dvě tenké oblasti dlouhé přibližně 4 mm, které měly odlišnou strukturu než zbytek hrotu (obr. 4.43). Okem bylo možno pozorovat velké nečistoty ve vzorku. Většina struktury vzorku je tvořena feritem. Jeho velikost se liší od umístění ve vzorku. Jako u struktur předtím zkoumaných hrotů se uprostřed a na konci vyskytuje struktura s velkými zrny feritu. Blíže k povrchu a více ke špičce se nachází jemný ferit, jenž je důsledkem překovávání hrotu, a tím zjemnění struktury hlavně pod povrchem. Odlišná struktura na špičce u povrchu hrotu je tvořena perlitem, její tloušťka nepřesahuje 0,5 mm. Zkoumaná struktura hrotu je výrazně znečištěna přítomností usměrněných, i samostatných vměstků, a hlavně výskytem velkých částic zakované strusky (obr. 4.46). Tyto nečistoty se převážně vyskytují ve feritické struktuře.

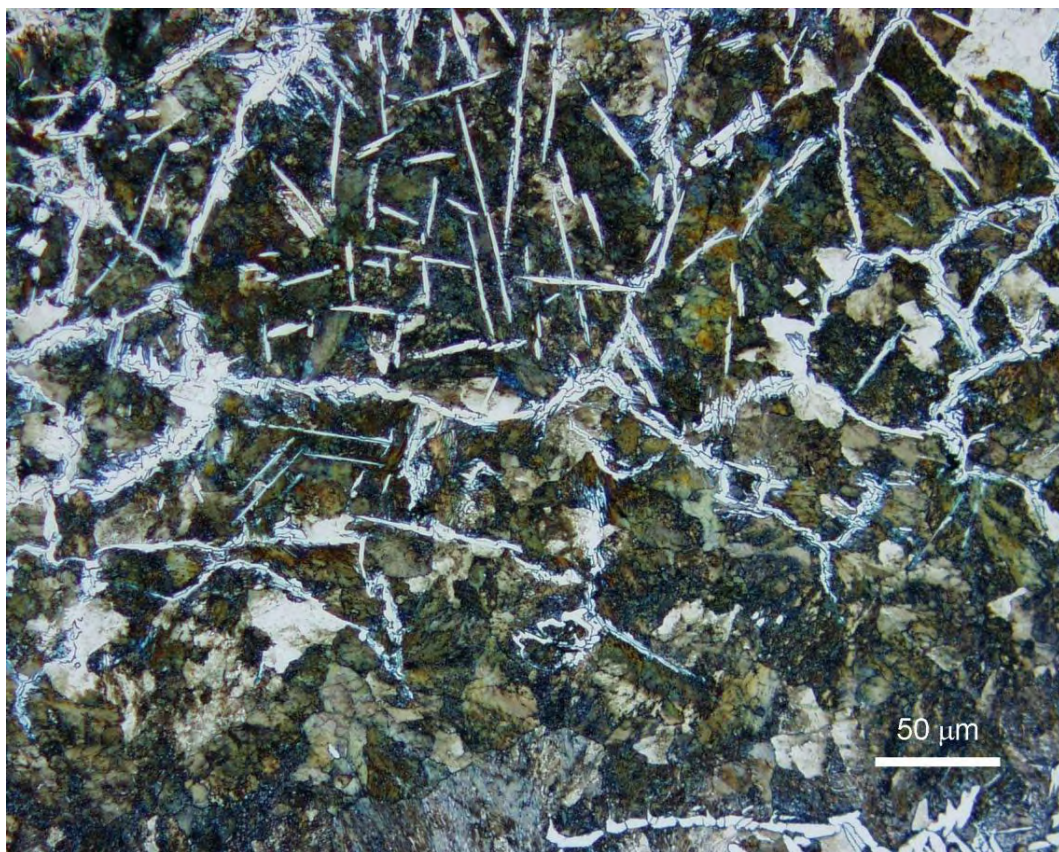
Dále zkoumané oblasti s výskytem perlitu mají neobvyklý tvar a rozměry (obr. 4.44). Jejich ostrá hranice s okolní strukturou a jejich malé rozměry naznačují, že se nejedná o nauhličenou oblast. Tato oblast by měla pozvolnější přechod do struktury a nauhličení by bylo pozorovatelné po celém zkoumaném povrchu hrotu, jelikož se nauhličoval celý hrot a ne jen jeho část. Nejvíce pravděpodobná technologie k vytvoření takového tvaru struktur by bylo nakování vysoceuhlíkových destiček na špičku hrotu. Toto by mohlo vést k tak ostré hranici mezi vysoceuhlíkovou oblastí a feritickým tělem hrotu.

Na hrotu byly pozorovány pod povrchem malé oblasti s obsahem perlitu (obr. 4.48). Mohlo být se jednat o nauhličení, ale proti tomu svědčí malá tloušťka vrstvy, také současné nakování vysoceuhlíkových destiček a nauhličení je velice nepravděpodobné, proto se u těchto vysoceuhlíkových oblastí jedná zřejmě o náhodně nakované části, nebo nehomogenitu v materiálu.

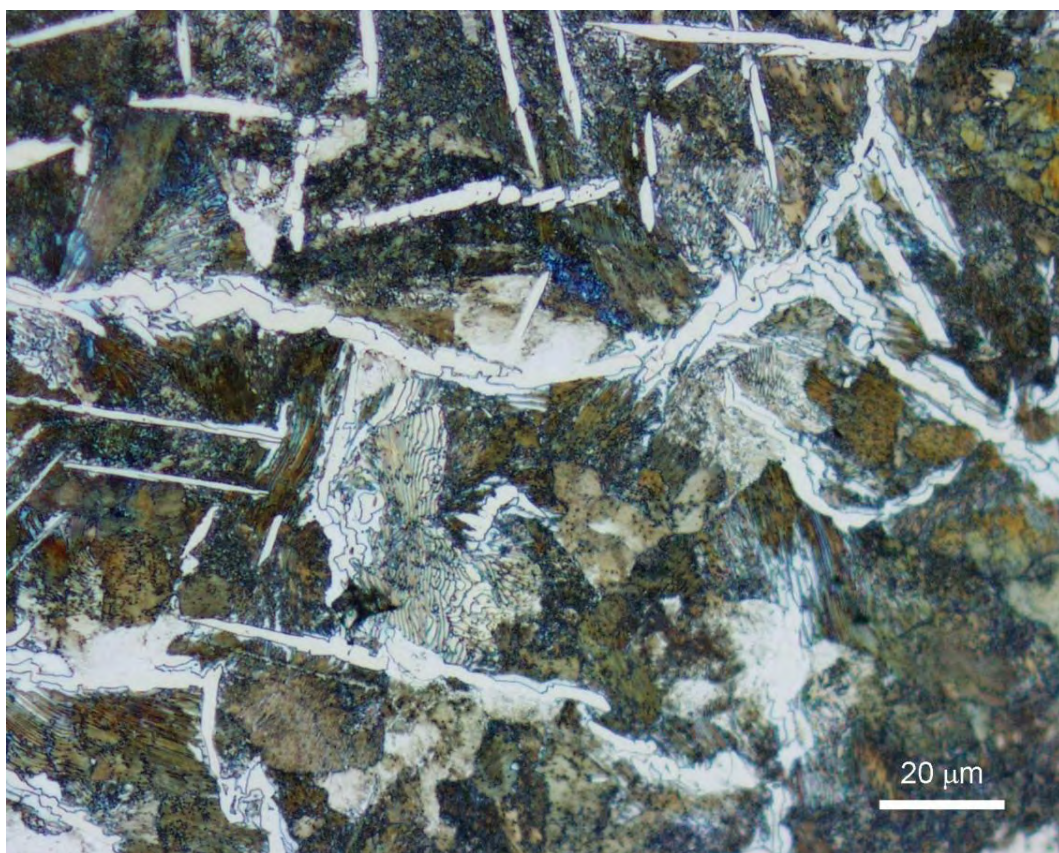
Tělo hrotu je tvořeno feritickou strukturou s občasným výskytem malého množství perlitu. Perlit ve vysoceuhlíkové nakované oblasti je vysokouhlíkový převážně globulární s velkým podílem sekundárního cementitu (obr. 4.45a,b). Výskyt sekundárního cementitu naznačuje, že obsah uhlíku v této části se pohybuje v nadeutektoidním rozmezí. Přesto že by takový obsah uhlíku stačil na zakalení nakovaných oblastí, není ve struktuře známka po dalším tepelném zpracování. Z toho lze předpokládat, že tvrdost nakované struktury byla dostačující pro zamýšlené použití hrotu. Na přechodu přeplátované nakované struktury a feritu se vyskytuje Widmannstättenova struktura (obr. 4.47).



Obr. 4.44 Makrostruktura vysoceuhlíkových oblastí na špičce hrotu při zvětšení 100x.

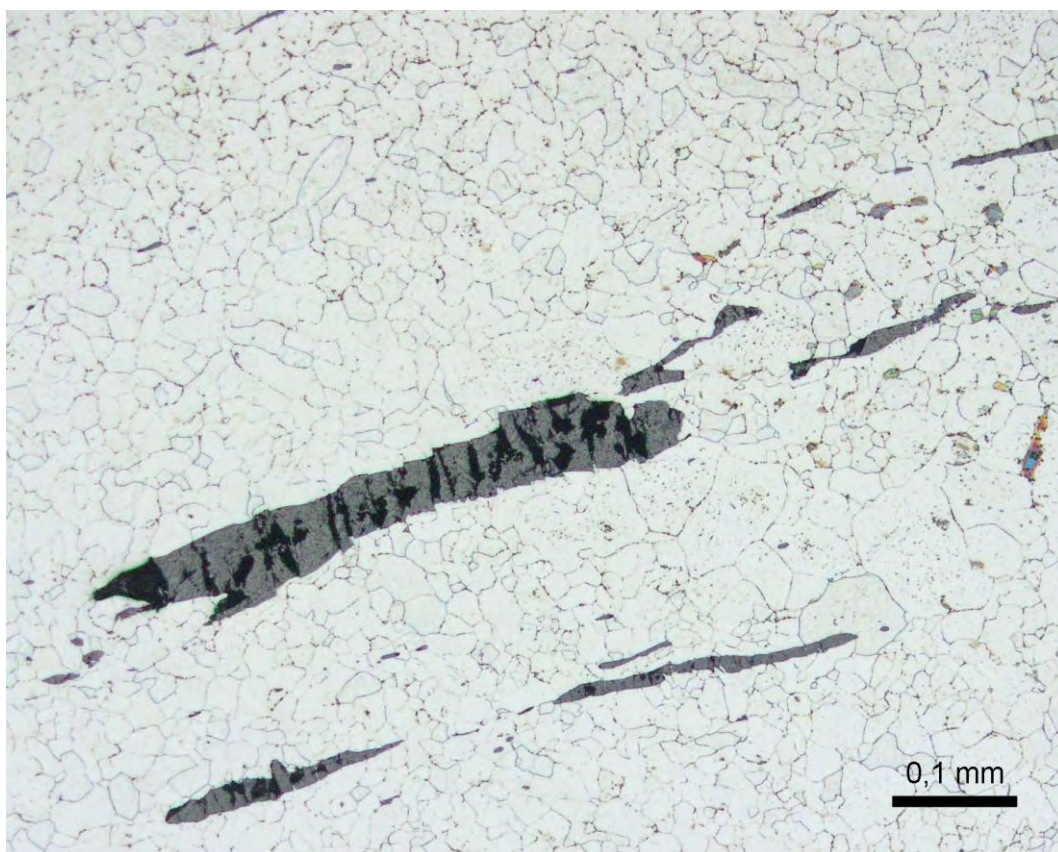


a)

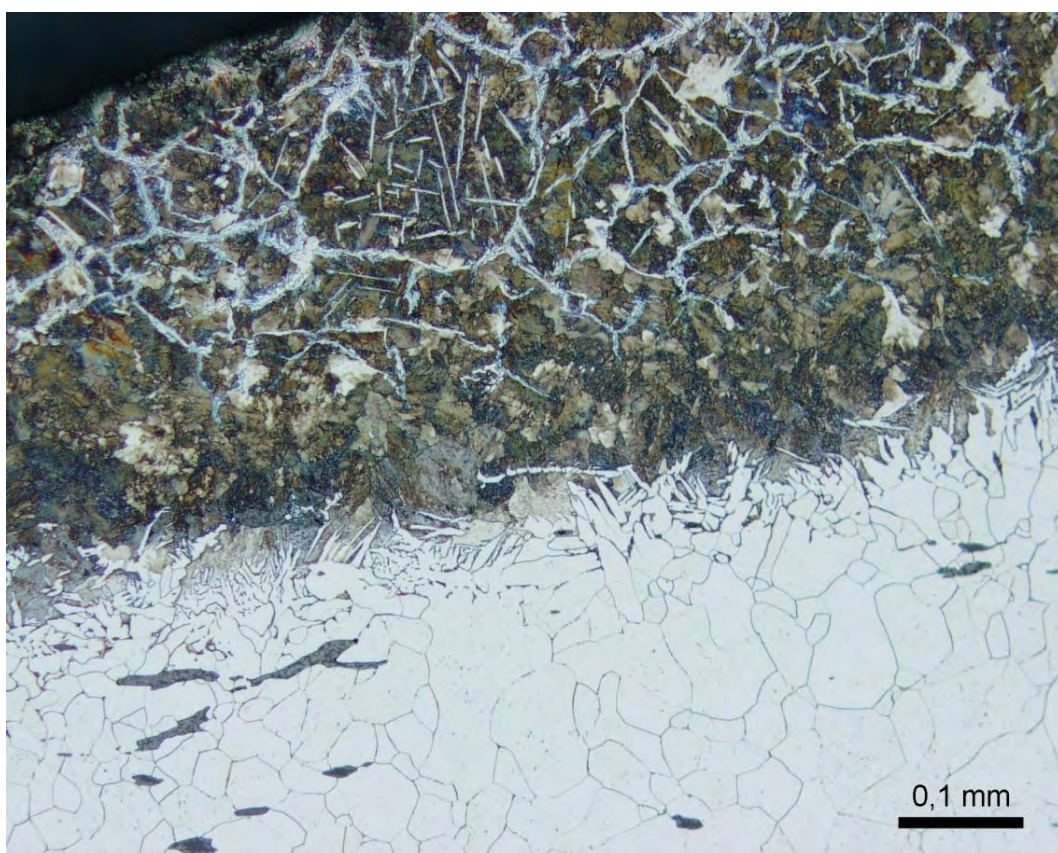


b)

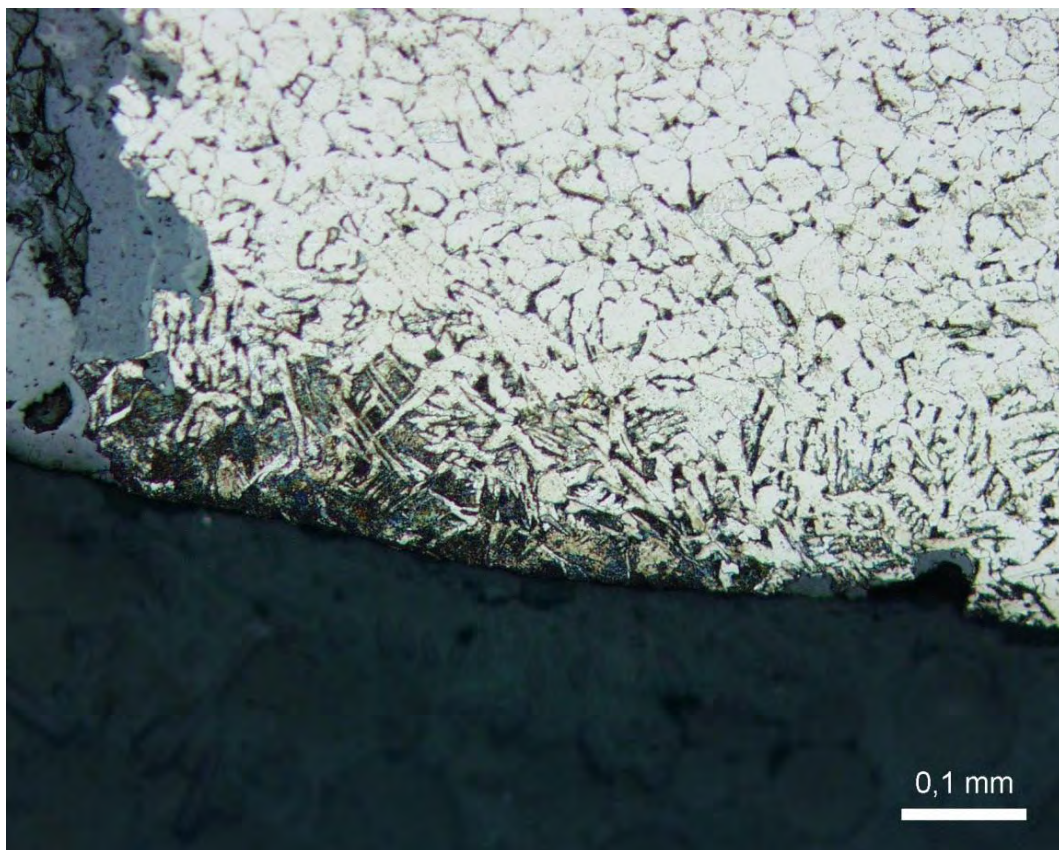
Obr. 4.45 Mikrostruktura hrotu 22/04 – oblast A



Obr. 4.46 Mikrostruktura hrotu 22/04 – oblast B



Obr. 4.47 Mikrostruktura hrotu 22/04 – oblast C



Obr. 4.48 Mikrostruktura hrotu 22/04 – oblast D

5. Závěry

Experimentální část této práce se zabývá metalografickou analýzou nálezů středověkých hrotů ze Znojma-Hradiště. Šest z těchto hrotů je datováno do období raného středověku (7. stol.). Dva další pocházejí z počátku vrcholného středověku (13. stol.). Již pouhým porovnáním tvaru a mohutností hrotů lze od sebe odlišit ranně středověké, a vrcholně středověké hroty.

Starší hroty mají mnohem menší rozměry, celkovou mohutnost a tím i hmotnost oproti dvěma mladším analyzovaným hrotům. Tyto ranně středověké hroty lze zařadit mezi typy loveckých hrotů, jenž mohly být v případě potřeby použity i pro bojové účely. Vhodnost hrotu k použití pro bojové či vojenské účely je také dána mohutností jeho profilu, jenž je rozhodující pro chování hrotu po dopadu na obrněný cíl. Jen jeden ze zkoumaných ranně středověkých hrotů byl dostatečně mohutný, aby mohl být s účinností použit jako bojový hrot – hrot 123/00. Bohužel byl příliš poškozen korozí, a zbylou část jeho struktury nelze považovat za naprosto vypovídající. Tyto hroty byly pravděpodobně použity na šípy do luků, jelikož používání kuší je datováno do pozdějších období.

Dva nálezy hrotů z vrcholného středověku mají typický tvar, jenž je vhodný na prorážení kvalitních zbrojí, dokonce i plátového brnění. Tento specifický tvar je založen na určitém uhlu špičky, jenž se nedeformuje při dopadu a účinně do zbroje prorazí otvor. Následně je otvor roztáhnut mohutným profilem špičky, a umožní hrotu proniknout do větší hloubky. Přestože je hrot analyzovaný hrot 22/04 vykován s trnem, většina hrotů z tohoto období byla vykovávána s tulejkou, jenž zaručuje větší tuhost spojení hrotu s dřevěným dřikem. U těchto hrotů nelze s jistotou tvrdit, jestli byly vykovány pro použití do luku nebo kuše.

Možnosti použití hrotu nebyly dány jen jeho tvarem, ale významnou roli zde hrála kvalita použitého železa (oceli), a jeho kovářské a tepelné zpracování. Tyto technologické postupy lze mapovat pomocí analýz struktur, měřením tvrdostí a chemického složení použitého materiálu.

Struktury raně středověkých hrotů byly tvořeny převážně feritickými zrny různé velikosti, což odpovídá některým zkoumaným strukturám v nálezech železných lup, nebo dalších železných objektů z tohoto období. Tento stav však není důkazem o neschopnosti ranně středověkých hutníků vytavit železo s větším obsahem uhlíku, o čemž svědčí další nálezy, jejichž struktura byla tvořena převážně perlitem. Dalším výrazným prvkem u těchto struktur je přítomnost velkého množství usměrněných nečistot, jako jsou vměstky a zakovaná struska. Toto je dáno již samotným tavením rud a jejich následným zpracováváním, z čehož mělo nejvýraznější vliv opakované kovářské svařování. Tyto úkony jsou také příčinou časté řádkovitosti (nejčastěji feritických) struktur, jejich proměnlivé velikosti zrn, a také nerovnoměrným rozdělení perlitu a dalších objektů ve struktuře. Velmi častým prvkem ve strukturách hrotů byla rozdílná velikost feritických zrn v těle hrotu a pod povrchem hrotu. Toto bylo dáno výraznějším přetvářením struktury pod povrchem hrotu zapříčiněné kovářským zpracováním materiálu a tudíž následným zjemněním zrna. Řádkovitost jemného a hrubého feritu vedle sebe byla pravděpodobně způsobena již dříve zmiňovaným kovářským svařením a následným rozkováním struktury hrotu.

Ve strukturách ranně středověkých hrotů byly pozorovány zmíněné charakteristiky, což je důkazem jejich výroby z hutních polotovarů a následné zpracovávání hlavně pomocí techniky kovářského svařování. U některých hrotů bylo možno pozorovat oblasti perlitu pod povrchem hrotu, což by mohlo znamenat nauhličení, ale toto nebylo dokázáno, jelikož povrch hrotů byl často příliš poškozen korozí.

U jednoho ze starších hrotů (50/02) byla dokonce pozorováno zakované vysoceuhlíkové těleso tvořeno perlitem, bohužel se nepodařilo prokázat úmyslné zakování za účelem zvýšení tvrdosti špice hrotu. Proto je tento artefakt považován za náhodně zakovanou část do těla hrotu.

U hrotů z vrcholného středověku bylo tělo tvořeno feritickou strukturou, obdobnou jako u analyzovaných hrotů ze staršího období. Rozdílné byly jejich struktury na špici hrotu, jenž měly těmto hrotům zajistit větší tvrdost a tím i schopnost lépe prorazit zbroj. U hrotu 4/96 byla pod jedním povrchem pozorována perlitická struktura, která měla pozvolný přechod do feritické struktury těla hrotu. Nepřítomnost perlitické struktury pod druhým povrchem byla pravděpodobně dána velkým korozním poškozením hrotu a následním oddělením velké části struktury ze špice hrotu. V perlitické oblasti pod povrchem se vyskytoval v oblastech bývalého austenitického zrna tenkým sítovým feritu, jenž občasné zasahoval po perlitických zrn v podobě tenkých jehlic. Přestože je možnost nauhličení pravděpodobná, na její potvrzení bude následně provedena chemická analýza rozdílných oblastí hrotu. Po metalografické přípravě hrotu 22/04 bylo na jeho špičce výrazné místa s větším obsahem uhlíku než zbytek hrotu. Tělo hrotu bylo jako v předchozím případě tvořeno feritem a velkým množstvím nečistot, hlavně zakovanou struskou. Vysoceuhlíkové oblasti měly velmi malou délku i hloubku a měly velmi ostrý přechod do feritické struktury těla hrotu. Z těchto okolností lze usoudit, že jde s největší pravděpodobností o nakované vysoceuhlíkové destičky. V těchto místech byla struktura tvořena globulárním perlitem s velkým množstvím sekundárního cementitu po hranicích perlitických zrn. Lze proto usoudit, že obsah uhlíku v těchto místech se pohybuje v rozmezí cca 0,7- 2,14% C, jelikož jde o nadeutektoidní strukturu. Pro jasné potvrzení této teorie bude následně provedena chemická analýza feritických a perlitických struktur. Ani v jednom případě analyzovaných vysoceuhlíkových struktur nebyly pozorovány známky po zušlechtnění. Jelikož byla technologie kalení a popuštění v této době již známa, je pravděpodobné, že získané hodnoty tvrdostí hrotů ve vysokouhlíkových oblastech stačily tehdejšími řemeslníkům na splnění požadavků kladené na hroty.

Hodnoty naměřených tvrdostí hlavně feritických struktur se podstatně liší od přiřazovaným tvrdostí feritu podle dnešních tabulkových hodnot. Naměřené tvrdosti feritu ve strukturách hrotů se pohybovalo v rozmezí 120 až 240 HV, což jsou dvojnásobné hodnoty oproti tvrdostech feritu v dnešních materiálech (60-120 HV). Tento rapidní rozdíl je pravděpodobně dán poměrně velkým znečištěním středověkých ocelí (např. P, S, atd.), které je v novodobých ocelích pomocí moderního hutnictví minimální. Jednou ze znečišťujících fází mohlo být např. fosfidické eutektikum, které s tvrdostí cca 900 HV mohlo být příčinou zvýšené tvrdosti feritu. Tuto domněnku podporuje množství viditelných nečistot přítomných ve většině feritických struktur. Pravdivost tohoto tvrzení bude muset být potvrzeno chemickou analýzou struktur.

Z analyzovaných struktur a tvarů hrotů z dob raného, a vrcholného středověku lze sledovat jasný vývoj jak ve zpracování materiálu, tak i v pokročilých typech hrotů. Popisovaný posun v kvalitě hrotů je dán hlavně vývojem a zkvalitňováním ochranných zbrojí protivníka. Tento závod ve zbrojení je ve stejném duchu ale jinými prostředky veden až dodnes.

6. Seznam použitých zdrojů

- [1] HARDY, Robert. *Longbow : Social and military history*. New edition 2006. Gloucestershire : Haynes Publishing, 1976. s. 239. ISBN 0750943912.
- [2] SUDHUES, Hubert . *Wundballistik bei Pfeilverletzungen* .Westfalen : Diss. Uni-Klinik Münster, 2004. 153 s. Dizertační práce. Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Medizinischen Fakultät .
- [3] CLARK, J.G.D. Proceedings of the Prehistoric Society for 1963 . *Prehistoric Society*. 1963, vol. XXIX, n.2, s. 1-98.
- [4] *PaleoPlanet : Archery-Primitive bows* [online]. 12.4.2010 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: < <http://paleoplanet69529.yuku.com/topic/32072/t/Holmegaard-discussion--controversy-regarding-Mus-e--l-Arche.htm> >.
- [5] ASHBELL, G. Fred, et al. *The traditional bowyers bible 2*. Guilford (Connecticut) : The Lyons Press, 1993. 309 s. ISBN 1-58574-086-1.
- [6] PAZDERA, Josef . *OSEL : Objective source E-learning* [online]. 1.9.2007 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=2877>>.
- [7] FRÖHLICH, O. *Lukostrelec* [online]. 28.10.2006 [cit. 2010-05-27]. Luky z Haithabu. Dostupné z WWW: <<http://lukostrelec.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=18>>.
- [8] *Livinghistory* [online]. 23.12.2007 [cit. 2010-05-27]. Luk (šípky, tětivy...). Dostupné z WWW: <<http://www.livinghistory.cz/phpbbforum/viewtopic.php?f=35&t=574&start=45>>.
- [9] SOAR, Hugh D.H. *Secrets of the english war bow*. Pennsylvania : Westholme Publishing, 2006. 246 s.
- [10] *PaleoPlanet-Flintknapping Forums* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://paleoplanet69529.yuku.com/directory>>.
- [11] *CointArt.net* [online]. 2007 [cit. 2010-06-01]. Ancient weapons. Dostupné z WWW: <http://www.coinart.net/Bronze_points3.htm>.
- [12] COLE, Hector. *Evado : hector Cole* [online]. 2010 [cit. 2010-05-27]. Arrowheads. Dostupné z WWW: <<http://www.evado.co.uk/Hector%20Cole/Arrowheads/album/index.html>>.
- [13] SOUKUPOVÁ, Věra; STRÁNSKÝ, Karel . *Tajemství dávného železa : Archeometalurgie objektivem mikroskopu*. Brno : Technické muzeum v Brně, 2008. 167 s. ISBN 978-80-86413-54-9.
- [14] STRATTON, Steve . *DIY Archery* [online]. 2009 [cit. 2010-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.diyarchery.co.uk/>>.

- [15] *Vikingsword* [online]. 2008 [cit. 2010-05-27]. A unique crossbow collection. Dostupné z WWW: <<http://www.vikingsword.com/vb/showthread.php?t=8644&goto=nextnewest>>.
- [16] Durdík, T. : K problematice středověkých šípek v Československu, *Zpravodaj klubu vojenské historie*, 1972, č. 2, s. 4–6; 1972, č. 3, s. 5–9.
- [17] *London Museum Medieval Catalogue : Arrowhead Typology*. London : London Museum Publishing, 1940. 15 s.
- [18] Hošek, J. : *Metalografie ve službách archeologie*, Archeologický ústav AV ČR, Praha 2003, 251 s.
- [19] Nickel, H. : Bohmische Prunkpfeilspitzen. In: *Sborník národního muzea v Praze*, Řada A – historie, Sv. XXIII, 1969, č. 3, s. 103–163 .
- [20] BAKER, Tim , et al. *The traditional bowyers bible* 3. Canada : Lyons Press Edition, 1994. Wooden arrows, s. 339.
- [21] BARTLETT, Clive; EMBLETON, Gerry . *English longbowman 1330-1515*. London : Reed International Books Ltd., 1995. 63 s. ISBN 1 85532 491 1.

7. Seznam použitých symbolů a zkratek

ρ	[g.mm ⁻³]	hustota
U	[J.g ⁻¹]	množství uložené energie na jednotku váhy
“	[2,54 cm]	palec
lbs.	[0,454 kg]	libra
oz.	[28,35 g]	unce
yard	[0,914 m]	yard
Al ₂ O ₃		oxid hlinitý
HV		jednotka tvrdosti dle Vickerse
RD		reflex-deflex
MR		lod' Mary Rose