

Raněstředověké středoevropské polotovary železa

V. Souchopová, K. Stránský

V archeologické literatuře často dochází při popisu nálezů produktů hutnických dílen k záměně pojmů železná houba a železná lupa. Je to záměna významná, neboť posunuje charakter nálezu a vytváří v literatuře nesprávnou interpretaci druhu práce na lokalitě. A přitom i archeolog, který s tímto typem nálezů pracuje jen výjimečně, se podobného omylu může vyvarovat. Při hodnocení je třeba si uvědomit, že železná houba a železná lupa se od sebe odlišují jak vnějším vzhledem a strukturou, tak i způsobem vzniku a funkcí. Železná houba neboli houbovitě železo bylo totiž produktem tavby, tedy výsledkem výroby železa v malých hutnických pecích, zatímco pojem železná lupa označuje tento produkt v další fázi, když už bylo vyrobené železo podrobeno základnímu kovářskému zpracování, bylo vyčištěno a byla mu dána určitá forma užívaná v té době pro polotovary železa.

Termín železná houba neboli houbovitě železo („Eisenschwamm“, „iron sponge“, „gubčatoje železo“), který byl do archeologické literatury převzat z hutnického názvosloví, v podstatě popisuje podobu produktu vyrobeného v malé redukční peci. Houbovitým bylo toto železo nazýváno proto, že svým vzhledem připomínalo spíše houbu než kov (obr. 1, 2). Bylo totiž ještě velmi silně prostoupeno struskou, drobnými úlomky nevyredukované železné rudy a dřevěného uhlí, kousky výmazů ze stěn peci a jinými nečistotami¹. Tento konglomerát strusky a železa nebyl vhodný pro přímé zpracování na nástroje, nářadí, zbraně apod. K tomu bylo zapotřebí z houbovitěho železa struskové vměstky a ostatní nečistoty odstranit a vytvořit z něho tzv. železnou lupu.

Termín železná lupa označuje obecně polotovar železa, tedy určitou fázi, kterou železo procházelo od výroby směrem k jeho zpracování v kovárnách. Z účelu, který tato fáze měla, vyplývá i nevelká četnost nálezů železných lup a především jejich koncentrace na hradištích, kde byly předmětem trhu či odvodu v dávek v železe. Zpracování houbovitěho železa v železnou lupu lze předpokládat v areálu hutnických dílen, odkud by tyto polotovary železa byly expedovány. Důvodem pro tento předpoklad jsou některé nálezy z archeologických výzkumů a metalografická šetření z posledních desetiletí, která přinesla nejen zjištění postupu, jakým bylo houbovitě železo zpracováváno ale i doklady toho, že se to dělo skutečně přímo v areálech hutnických dílen.

Tato zjištění platí ale v omezené míře, pouze pro železné lupy bochníkovitého tvaru, které jsou velmi výraznou, v literatuře často uváděnou a územně i časově značně rozšířenou formou polotovaru. Jsou však známy i další polotovary železa, o nichž pojednáme v závěru².

Pro postup výroby železné lupy z houbovitěho železa bylo současnými kováři navrhováno rozdělení železné houby na několik dílů, které se měly zpracovávat jednotlivě. Tento postup je skutečně doložen i archeologicky, a to nálezem tří plochých železných trojúhelníkovitých destiček v jedné z mladohradištních hutnických dílen ve střední části Moravského krasu (Olomučany, lesní odd. č. 100, *Souchopová 1986, 56*). Vzhledově připomínaly sice spíše strusku, měly však jednotný trojúhelníkový tvar, s délkou stran kolem 7 cm. Dva podobné kusy, datované do rozmezí od poloviny 8. do 13. století, byly objeveny už v padesátých letech při archeologickém výzkumu v Kołobrzegu v Pomořanech (*Łosiński 1959, 25, obr. 6*), ale jejich interpretace byla vzhledem k ojedinělosti nálezu poměrně nejasná, a světlo do ní vnesly až po čtvrtstoletí metalografické rozborů jedné z výše zmíněných olomučanských trojúhelníkovitých plotničků. Výsledek rozborů byl značně překvapující, neboť tato destička, která na pohled vypadala stejně jako ty ostatní, tedy jako kus ploché strusky, je z prokované, poměrně čisté vysokouhlíkové svářkové oceli s téměř homogenní strukturou (*Pleiner 1978, 17-18*). Polské nálezy se naproti tomu vyznačovaly výskytem ještě dosti rozsáhlých struskových polí v základním kovu, ale i to je důvod, proč lze předpokládat, že popisované moravské i polské předměty jsou fázemi postupného zpracovávání vytaveného houbovitěho železa, jehož konečným stadiem byly polotovary železa.

Formou polotovaru železa, která je bezpečně doložena mnoha nálezy z archeologických výzkumů, jsou tzv. bochníkovité lupy. Vyskytují se bez záseku, se zásekem, nebo dokonce s několika záseky (obr. 5). Doklady jejich zpracování přímo v areálech hutí byly ve střední Evropě objeveny na dvou lokalitách.

¹ Železo se v této fázi zpracování ale nachází velmi vzácně a spíše než z archeologických výzkumů je známo z etnografických dokladů.

² Je to diskovitě železo tyčové a prutové. Zvláštní kapitolou jsou železné hřivny, které zastávaly jak funkci polotovaru, tak i platidla.

V sedmdesátých letech tohoto století byly nalezeny dvě železné bochníkovité lupy se zásekem ve střední části Moravského krasu, na ploše velkomoravské hutnické dílny v místech „U obrázku“ (č. lesního odd. 98/1 - Souchopová 1986, 23 ad), a další dvě pak v severozápadním Maďarsku, v hutnické dílny v Somogyfajsz. Maďarské lupy byly kovářsky zpracovány do základního bochníkovitého tvaru, ale bez záseku. Byly položeny volně vedle vyústění kychtové části vestavěné pece s tenkou hrudí (za informaci děkuji autoru výzkumu J. Gömörimu). Výsledky metalografických rozborů maďarského nálezu nebyly zatím podrobněji publikovány, ale budou jistě velmi závažné, jak z hlediska podobnosti nálezuve situace v obou uváděných případech, tak i pro možnost srovnání s nálezem ze střední části Moravského krasu, kde bylo u jedné z lup provedeno také metalografické šetření³.

K objevu železných lup ve střední části Moravského krasu přispěla více méně i shoda šťastných okolností. Na podlaze každé hutě, již je vlastně jen původní zemina, ušlapaná tehdejšími hutníky, je množství drobnějších i větších plošek, které vznikly při práci se žhavým kovem, při dopadu strusky atp. Výsledek vybírání těchto plošek bývá více než nicotný - špetka propálené zeminy, maximálně s nějakým tím úlomkem strusky. V tomto případě byl však učiněn velmi důležitý nález. Před nadzemní šachtovou pecí č. VI, se sotva patrně propálení zeminy do hloubky rozšiřovalo a nabývalo i na intenzitě. Příčinou propálení zeminy byly totiž právě ony dvě bochníkovité lupy se zásekem, které byly do prohlubinky před pecí hozeny ještě za žhava, rychle zaházeny hlinou a asi i zadupány. Objev vzbudil značnou pozornost, jednak pro vzácnost nálezu polotovarů železa, jednak pro nálezuve okolnosti, s jakými jsme se dosud nesetkali. První myšlenka byla typicky archeologická - uvažovali jsme, že snad šlo o nějakou formu oběti. Druhou myšlenkou, již trochu kacířskou, byl předpoklad možnosti zlodějského úmyslu některého z hutníků. Analogie k nálezu polotovaru železa v hutích v té době zatím ještě nebyly známy a tak se podklady k reálnějšímu výkladu situace naskytly až po několika letech od nález, a to opět právě díky metalografickému šetření u jedné z lup. Tehdy se ukázalo, že skutečné příčiny vhození železných lup do země a jejich zahrnutí hlinou mělo pravděpodobně důvody značně prozaičtější než ty, které jsme původně předpokládali. Provedené metalografické šetření nadto umožnilo přiblížit odpovědi i na další otázky, které se k problematice železných lup v archeologii vztahují.

První otázkou, k jejímuž řešení metalografické analýzy přispěly, bylo, zda jsou železné bochníkovité lupy skutečně oním předpokládaným polotovarem železa. V archeologické literatuře uváděná metalografická šetření jsou známa bohužel pouze u několika málo kusů, přičemž je třeba říci, že kvalita kovu nebyla u zkoumaných kusů stejná. Porovnání těchto údajů však určitou odpověď bezesporu poskytuje.

Ukazuje se, že bude třeba odlišovat železné lupy bez záseku a se zásekem, který asi byl znakem ukončenosti celého procesu. Lupy bez záseku představují totiž ještě houbovitě železo se značným množstvím zapečeného dřevěného uhlí, struskových vměstků a dalších nečistot. Svědčí o tom alespoň rozboru dvou železných bochníkovitých lup objevených v Novgorodě, stejně jako i další zkoumaný kus z lokality Kněží Hora u Kyjeva (*Kolčín 1953, 44*). Naproti tomu železná bochníkovitá lupa z Vyšgorodu, která byla, stejně jako olomučanské kusy, opatřena zásekem, byla shledána čistou masou železa a může být tedy pokládána za skutečný polotovar. Tomu odpovídá i metalografické šetření olomučanské lupy - i zde jde o dohotovený polotovar. Je to kompaktní, kovářsky dobře zpracovaný kus s velmi malou pórovitostí. Z hlediska obsahu uhlíku je to ocel se středním, nerovnoměrně rozděleným podeutektoidním obsahem uhlíku.

Bochníkovité lupy se zásekem jsou známy i z jiných než slovanských zemí (Pleiner 1962, 135 - 138). Byly nalezeny také ve Skandinávii, odkud jsou známy i kusy nasekávané vícekrát (Bölinge, Alens Socken s nálezem tzv. prstovité lupy se třemi záseky, či tříprstá lupa z Islandu z farmy Mynes)⁴. Klasický bochníkovitý tvar se zásekem pochází např. z hutnické dílny v norském Mösstrandu (Martens 1975, 154 - 155), datované pomocí radiokarbonové metody do rozmezí let 900 až 1000 po Kristu, kdy produkce hutě dosahovala maxima⁵. Olomučanské železné lupy byly vyrobeny v 9. století n.l., obecně je však třeba říci, že přesnější časové zařazení těchto nálezů je mnohdy velmi obtížné a že se vyskytují ještě i ve 14. století n.l. V ruských písemných pramenech z té doby jsou zřejmě označovány jako trhové železo

³ Postup při metalografických šetřeních a jejich výsledky – viz konec příspěvku.

⁴ Představa, že záseky jsou znakem čistoty kovu a ukončenosti výroby polotovaru, porušuje čtyřprstá železná lupa, která byla nalezena v roce 1920 na Jutlandu poblíž obce Karup a je nyní uložena v muzeu ve Vejle. Má nezvykle malou specifickou váhu – pouhých 4.3 g/cm³, což je zapříčiněno velkým množstvím strusky v kovu. Metalografické analýzy totiž prokázaly, že lupa je tvořena z 50 % struskou (Buchwald – Voss 1992, 39).

⁵ Obecně lze říci, že skandinávské železné lupy bývají mnohem hmotnější, např. zmiňovaná lupa z Mösstrandu vážila 12.5 kg, prstovitá lupa z muzea ve Vejle 8,2 kg. Ale např. právě u této lupy se předpokládá, že před zkorodováním se její váha musela pohybovat kolem 10 kg.

(Jefimova 1958, 299) a jejich výskyt ve starých městských aglomeracích je výrazně častější než v hutnických dílnách, kde patří k objevům skutečně vzácným. S funkcí železných lup jako polotovaru železa souvisí zřejmě i jejich roztěti sekerou. To umožňovalo kupcům a příjemcům lup posoudit čistotu kovu a usnadňovalo jeho dělení na menší části.

Ve slovanských zemích se setkáváme s určitým (i když dosti volným) dodržováním hmotnosti u jednotlivých kusů (mezi 2 až 3 kg), a s násobkem této hmotnosti, ale není to pravidlem. Ovšem i přesnější určení původní váhy železných lup bývá problematické. Je totiž zapotřebí počítat s nějakými ztrátami vlivem koroze, a zde se podmínky výrazně liší případ od případu. Koroze probíhala s větší či menší intenzitou v závislosti na kvalitě kovu a na prostředí, v němž železné lupy setrvaly po dobu od jejich výroby až do objevu v našem čase. Je samozřejmé, že např. ve vlhkém prostředí probíhala koroze intenzivněji⁶.

Vraťme se nyní k tomu, jaké další poznatky přinesly metalografické analýzy železné lupy z velkomoravské hutě v lesní trati „U obrázku“ ve střední části Moravského krasu. Je to příspěvek k řešení otázky, zda se lupy vyráběly z výsledku jedné, či více taveb. Indicie nasvědčují tomu, že železné lupy obsahují železo z více taveb, protože hmotnost lup zůstává stejná bez ohledu na velikost a typy pecí užívané v té které oblasti. Tento (stále ovšem hypotetický) předpoklad potvrzuje i námi uváděné metalografické šetření, kdy bylo u jednotlivě zkoumaných polí sítě na řezu lupou zjištěno velmi nerovnoměrné rozdělení fosforu a síry, což naznačuje výrobu z houbovitého železa z několika taveb.

Třetí otázkou, které se výsledky metalografického šetření dotkly spíše nečekaně, je vysvětlení, proč byla železná lupa vhozena ještě za žhava do vykopané mělké prohlubně a proč byla zahrnuta hlínou, a pravděpodobně i zadusána. Z metalografického šetření je patrné, že lupa chladla z poslední kovací teploty kombinovaně. Zpočátku samovolně na vzduchu, a to do teploty kolem 700 °C a poté se stalo její chladnutí pomalejší, což mohlo být právě způsobeno zahrnutím hlínou. V žádném případě nebyla chlazená ve vodě nebo oleji. A to odpovídá výše popsané nálezové situaci, kdy byly lupy vloženy do připravené prohlubně za temně červeného žáru, který propálil okolní zeminu, a přitom se od chvíle jejich zahrnutí hlínou začal proces chladnutí zpomalovat, což způsobilo, že vnitřní část zkoumané lupy má strukturu spíše feritickou, na rozdíl od okrajových částí, které se vyznačují výskytem perlitu. V praxi to znamená, že se vnitřní části lupy vyznačují větší houževnatostí kovu, což byla vlastnost velmi ceněná při jeho užívání a lze tedy předpokládat, že šlo nejspíše o záměrně použitý technologický postup, a nikoliv o původně uvažovanou oběť pohanským bohům či o pokus o zcizení⁷.

Nález železné lupy, u níž metalografické rozborů prokázaly, že jde o kvalitní hutnický polotovar, před jednou z hutnických pecí, navíc svědčí o tom, že tyto polotovary byly zpracovávány přímo v hutích, a že jako kovářská výheň sloužila v tomto případě nadzemní šachtová pec, či spíše její miskovitá nístěj, kterou mohli hutníci využívat i po zničení nadzemní části pece. Ukazuje se tedy, že pro prokázání kovářské činnosti na ploše hutnických dílen, není nutný nález kovářské výhně, což je důležitý precedens pro mnohé lokality, kde se o provádění kovářských prací uvažuje, ale kde kovářské výhně chybí.

⁶ Nálezy železných bochníkovitých lup na slovanském území (převzato ze Souchopová 1986, 74).

Bochníkovité lupy se zásekem

lokality	kusy	hmotnost (v g)	lokality	kusy	hmotnost (v g)
Bolgary	?	2550-2650	Leczyca	1	2205
Mikulčice	1	1560	Olomučany	2	2153,2454
Vyšgorod	2	5920, 4900			

Bochníkovité lupy bez záseku

lokality	kusy	hmotnost (v g)	lokality	kusy	hmotnost (v g)
Gorodsk	1	2650	Kněžl Hora	?	2050
Novgorod	3	2650-2920	Stará Rjazaň	2	?
Rajkovecké Hradiště	47	5000-5600			

⁷ Přesto se musíme ptát, proč nebyly lupy vyzvednuty, když nálezové okolnosti svědčí o tom, že dílna byla opuštěna v klidu. Jedná se přece jen nezdařený pokus o zcizení?

Další, velmi významnou a rozšířenou formou polotovaru železa, o níž je zapotřebí pojednat, jsou sekerovité hřivny. Zde je však třeba zdůraznit, že sloužily především, jako předmincovní platidlo⁸. Objevují se u západních Slovanů na konci 8. a v průběhu 9. století na velkomoravském území na Moravě a na Slovensku. Jejich počet je na některých místech skutečně značný - např. v Pobedimí jich bylo nalezeno celkem kolem dvou tisíc kusů, z toho 222 v jednom depotu (Bialeková 1978, 162). Jejich výskyt ustává v druhé polovině 9. století. Z tohoto období jsou známy z polského území, kde se ale předpokládá jejich výroba pouze krátkodobě, což nastoluje zatím velmi teoreticky otázku, zda tato výroba nebyla vyvolána tehdejšími připojeními Malopolska k Velké Moravě (Zaitz 1988, 264 - 265).

Nálezy sekerovitých hřiven se soustřeďují mimo hutnické dílny. Nebyly nalezeny v žádné z dílen v Moravském krasu, ani v želechovické hutnické dílně v podhůří Jeseníků. Nacházejí se tam, kde byly užívány - to je na hradištích a sídlišťích. Častým místem jejich výskytu jsou také depoty⁹.

Sekerovité hřivny představují zřejmě odstupňované platební jednotky, o čemž svědčí skutečnost, že se vyskytují v několika hmotnostních skupinách. Vzhledem k byzantským a franským vlivům, které se v té době na Velké Moravě uplatňovaly, je třeba zvažovat i na možnost působení jejich měnových systémů na užívaný velkomoravský systém (Kučerovská 1996, 26 - 27).

Zmínili jsme se již o tom, že železu vyráběnému středověkými hutníky byly dávány i jiné formy polotovaru než jen bochníkovité lupy a sekerovité hřivny. Na území východních Slovanů je např. z hradiště Kyjevšćica uváděno diskovité železo, z Novgorodu prutové, které známo také z území západních Slovanů (Piekary u Krakova, Pleiner 1962, 138). K. Kapitancyk (1953, 136) uvádí z hradiště Biskupin tyčové železo.

Nelze ale vyloučit ani jiné typy polotovarů železa, ani častější výskyt posledně jmenovaných forem. Ve své většině však mohou unikat pozornosti archeologů, protože se vyskytují jen jednotlivě, v torzovitém stavu a mnohdy ve značném stupni koroze. Opačným příkladem, kdy jednotný tvar předmětu a hojnost jejich nálezů vyvolaly nepotvrzené úvahy o jeho funkci polotovaru mohou být tzv. slezské misky, v podstatě však platí, že méně nápadné formy polotovaru železa unikají pozornosti a evidenci v literatuře, což může být i důvodem toho, že např. neznáme územní rozšíření ani množství nálezů výše zmiňovaného tyčového, diskovitého a prutového železa, které mohlo zřejmě rovněž být formou polotovaru užívanou alespoň v některých územích. Předpokládala bych, že funkci polotovaru odpovídá zcela určitě diskovitý tvar, ale v úvahu je třeba brát i ostatní uváděné formy. Tyto otázky jsou však zřejmě věcí budoucnosti - soustavného vyhledávání v depozitářích a široce založeného archeometalurgického výzkumu zaměřeného na tuto problematiku.

Výsledky metalografického rozboru železné lupy

Postup při analýzách poloroztáté železné lupy číslo 327/ 78 (muzeum Blansko) byl následující: z lupy byl podle záseku mechanicky vyříznut plát o tloušťce asi 12 mm, který byl vyleštěn a vybroušen technikou používanou pro přípravu metalografických výbrusů (obr. 3) a následně leptán různými typy leptadel (Oberhofer pro makrosegregaci fosforu, Heyn pro makrosegregaci uhlíku i fosforu a Nital pro všeobecnou makrostrukturu oceli). Z řezu byl dále sejmout Baumannův otisk, který sloužil k posouzení makrose-

⁸ Užívání kovu v určitém dodržovaném tvaru je obecně typické pro předmonetární platidla v dobách před zavedením mince. Jejich tvary byly většinou inspirovány některým typem nářadí. Hřivny ve tvaru sekery jsou z Evropy známy ze dvou větších územních celků - z již uváděných oblastí Velké Moravy a pak až z Norska a Švédska, kde se ale nacházejí i jiné tvary předmonetárních kovových platidel (např. hřivny ve tvaru rýče na rašelinu nebo kosovité tvary). Přes podobnost tvaru i určitou časovou souslednost (ve Skandinávii přetrvává funkce hřivny jako platidla podstatně déle) nebyla u nálezů sekerovitých hřiven zatím prokázána žádná historická souvislost a v podstatě ji ani nelze očekávat.

⁹ Nejznámější a největší dosud nalezený depot sekerovitých hřiven pochází z Kanoniczej ulici pod Wawelem v Krakově. Hřivny tam byly uloženy ve svazcích, v několika vrstvách na sobě, v zahlobené vydřevené komoře. Nález obsahoval 4212 kusů hřiven o celkové hmotnosti 3630 kg (Mazur - Nosek 1987, 429). Depot vyvolal otázku původu hřiven, místa jejich výroby. V současné době se dá předpokládat, že krakovské hřivny, které jsou označovány jako hřivny malopolského typu, byly vyrobeny na území Polska, a to snad i někde v blízkosti časného Wawelu. Tam se totiž nacházejí kovářské strusky, pro které je, stejně jako pro hřivny, typická velmi nerovnoměrná distribuce fosforu a přítomnost germánů ve zkoumaných vzorcích. Hřivny z krakovského depotu se odlišují od moravskoslovenských v drobnostech i typologicky. Nálezy dvou podobných hřiven na Slovensku vyvolaly úvahy o možnosti jejich distribuce na trhy Velké Moravy. Zde je však na místě si uvědomit, že se sekerovité hřivny ve své funkci platidla mohly samozřejmě dostat i do vzdálenějších území, bez toho, že by musely být nutně distribuovány úřední cestou, a jejich ojedinělý výskyt na Slovensku patrně spíše odpovídá tomuto běžnému pohybu platidla.

gregace síry. Po vyhodnocení makrostruktury byla na plát narysována čtvercová síť s oky asi 18 x 18 mm² a jednotlivá pole sítě byla označena přirozenými čísly s posloupností 1 - 24, z nichž některá byla na základě makrostruktury určena k speciálním rozborům. Přitom byly aplikovány tyto metody analýz: - chemická analýza s využitím automatického emisního spektrometru k analýze vzorku č. 11, - chemická mikroanalýza s využitím rentgenového vlnově dispersního mikroanalýzátoru JEOL JXA 3A vzorku č. 3, - metalografická analýza s užitím světelného metalografického mikroskopu Neophot II u vzorků č. 3, 4, 10, 13, 16 a 22, - zkoušky mikrotvrdomosti s použitím mikrotvrdoměru typu Hanemann ve spojení s mikroskopem Neophot II u vzorků č. 3, 4, a 10, - fraktografická analýza s využitím rastrovacího elektronového mikroskopu JEOL JSM U3 u vzorku č.8, - fázová analýza s využitím rentgenového difraktometru Siemens k analýze vzorku č. 9.

Výsledky analýz

Z řezu na obr. 3 je patrné, že lupa představuje velmi kompaktní, kovářsky dobře zpracovaný polotovar s minimální pórovitostí, která je podle měření 9,6 ± 1,0 %. Makroleptáním byla zjištěna poměrně vysoká nehomogenita fosforu, uhlíku a také nerovnoměrné rozložení síry. Fosfor a sira jsou soustředěny převážně v okrajových partiích řezu, to znamená spíše k obvodu řezu lupou, zatímco uhlík je rozdělen velmi nerovnoměrně po celém řezu, avšak centrální partie řezu obsahují uhlíku zřetelně méně než partie obvodové.

Chemická makroanalýza byla dělána ve čtyřech místech rozkovaného vzorku č. 11 s tímto výsledkem [hm.%]: (0,49 ± 0,14) C, (0,061 ± 0,037) Mn, (0,40 ± 0,22) Si, (0,28 ± 0,02) P, (0,041 ± 0,015) S, (0,12 ± 0,09) Cr, (0,047 ± 0,044) Ni, (0,012 ± 0,002) V, (0,077 ± 0,054) W, (0,026 ± 0,004) Cu, (0,081 ± 0,027) Al, (0,021 ± 0,004) Nb, (0,037 ± 0,002) Sb, (0,015 ± 0,005) Pb, a (0,019 ± 0,003) As, přičemž jako stopová množství bylo nalezeno [hm.ppm]: 82 Mo, 61 Ti, 36 Co, 78 Sn, 3 B a stopy Zn. Zbytek tvoří železo s průměrnou koncentrací 98; 41 hm. %. Podle obsahu uhlíku lze analyzovaný vzorek lupy pokládat za ocel se středním, výrazně podeutektoïdním obsahem uhlíku, který je velmi nerovnoměrně rozložen.

Nerovnoměrné rozložení uhlíku v lupě potvrdila také analýza metalografická, kterou byly nalezeny struktury vzorků od feritické až po téměř perlitickou, jak plyne z tohoto přehledu:

číslo vzorku	struktura	velikost zrna (ASTM)	obr.
3	převážně perlitická	2	4d
4	perliticko - feritická	1	4a
10	feritická	4	
13	feritická	3	
16	feritická	3 až 5	4b
22	feriticko - perlitická	0	4c

Struktury všech vzorků jsou hrubozrnné s uspořádáním feritu podle Widmannstättena. Perlitické struktury se vyskytují s větší četností a ve větším rozsahu u okraje lupy (jsou to vzorky č. 3, 4 a 22), zatímco feritické struktury se nacházejí četněji uprostřed lupy (vzorky č.10 a 16), i když vzorek č.13 je jistou výjimkou.

Vzorek č. 3 s vysokou makrosegregací fosforu a síry byl podroben lokální kvantitativní chemické mikroanalýze s úmyslem posoudit rozložení obou prvků v mikroměřítku. Bylo zjištěno, že rozměrnější feritická zrna obsahují v okrajových oblastech 0,61 hm.% P, zatímco jejich šedorůžový střed (obr. 4d) obsahuje 2,13 hm.% P. Ve struktuře vzorku lze najít dokonce zbytky nerozpuštěných fosfidických eutektik jež obsahují [hm.%]: 20,1 P, 79,7 Fe a 0,19 S. Sira je v tomto vzorku chemicky vázána na železo a sulfidy mají chemické složení [hm.%]: 46,5 S, 51,2 Fe, 1,67 Mn, 0,57 Si a 0,04 V. Fosfidické eutektikum, u něhož lze při vysokém zvětšení pozorovat typickou zrníčkovou strukturu, se blíží svým chemickým složením fosfidu Fe₂P, jehož stechiometrickému poměru odpovídá 78,3 hm.% Fe a 21,7 hm.% P. Složení sulfidů přibližně odpovídá stechiometrickému poměru směsi sulfidů FeS a FeS₂, která obsahuje 53,7 hm.% Fe a 46,5 hm.% S.

Mikrotvrdomost feritu ve vzorku č. 3, který obsahuje 2,13 hm.% P, byla změřena o hodnotě (201 ± 15) HV 0,02. Fosfidické eutektikum je podstatně tvrdší (832 ± 297) HV 0,02 a ferit v okrajových částech feritických zrn má tvrdost (196 ± 23) HV 0,02. Perlit v tomtéž vzorku má mikrotvrdomost (298 ± 117) HV 0,02, přičemž vysoká směrodatná odchylka mikrotvrdomosti perlitu v sobě odráží vysokou mikroheteroge-

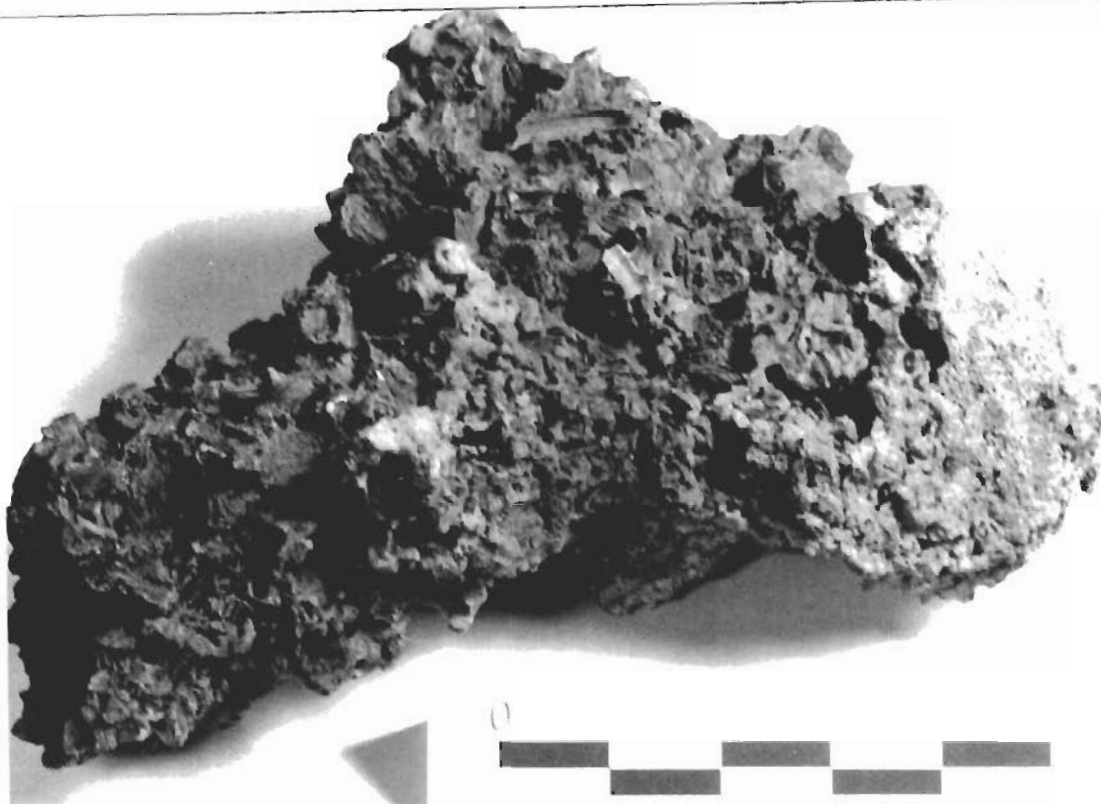
nitru fosforu v této části lupy. Střední hodnoty mikrotvrdotí feritu a perlitu v jiných částech lupy se však v mezích odchylek shodují s hodnotami změřenými ve vzorku č. 3. Například mikrotvrdotost feritu ve vzorku č. 4 je (213 ± 30) HV 0,02, ve vzorku č. 10 je (193 ± 11) HV 0,02 a mikrotvrdotost perlitu ve vzorku č. 4 činí (280 ± 20) HV 0,02.

K fraktografické analýze na rastrovacím elektronovém mikroskopu byl vzorek č. 8 naříznut a v laboratoři za pokojové teploty rozlomen ohybem. Na povrchu lomu bylo identifikováno transkrystalické štěpení s nepatrným podílem transkrystalického tvárného porušení, které se projevuje jamkovou mikromorfologií. Lomové chování tohoto vzorku železné lupy se tedy nachází v subtranzitní oblasti se sklonem ke křehkému porušování.

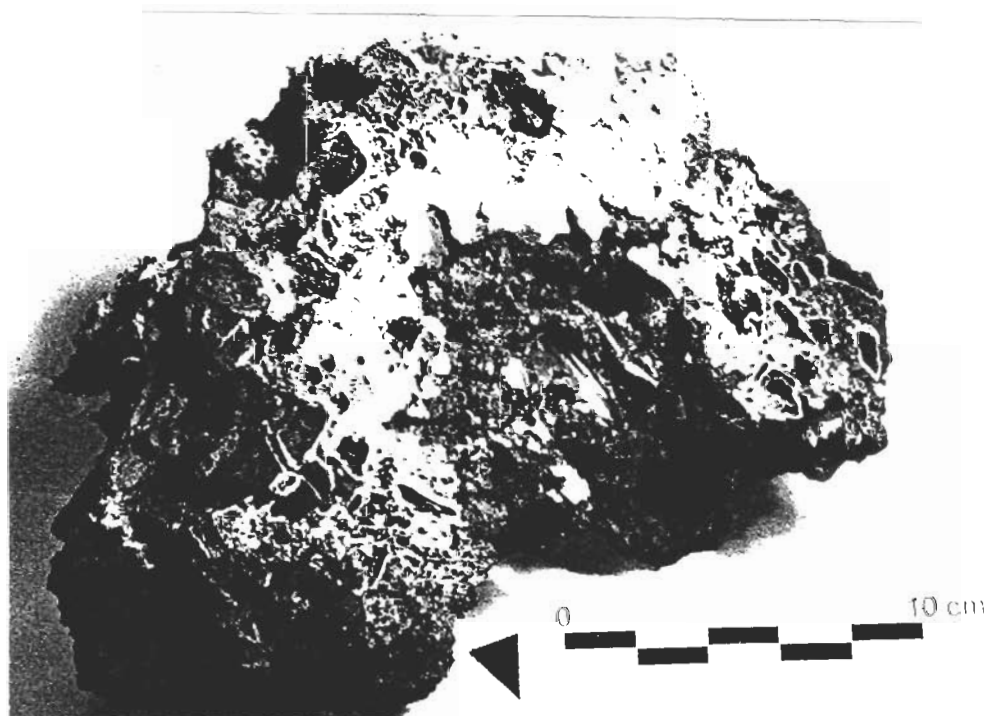
Fázovou difrakční rentgenovou analýzou byl u vzorku č. 9 stanoven parametr prostorově středěné krystalové mřížky železa alfa (BCC) o hodnotě $(2,8674 \pm 0,0004) \times 10^{-10}$ m, který je poněkud vyšší než uváděná tabelovaná hodnota $2,8664 \times 10^{-10}$ m. Použitá metoda difrakční analýzy vedla zároveň k odhadu hustoty dislokací (čárových poruch) v materiálu o hodnotě 10^9 až 10^{10} cm⁻².

Literatura:

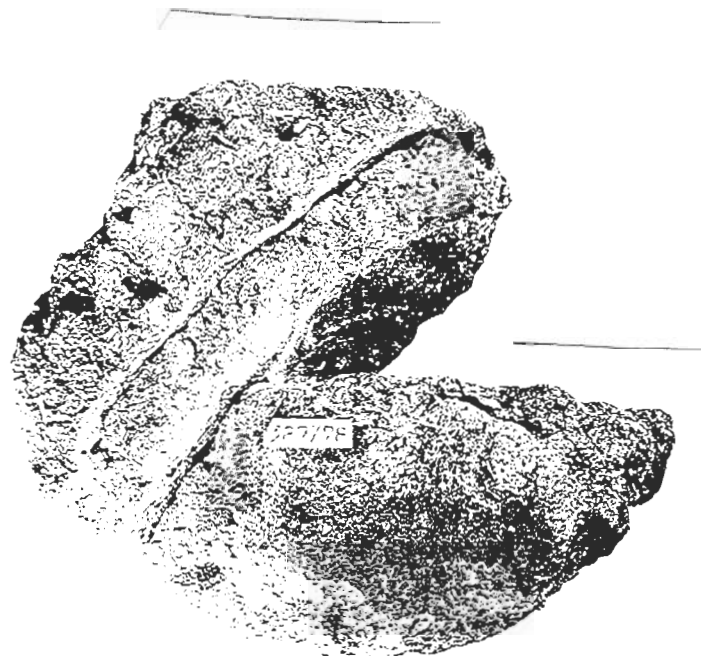
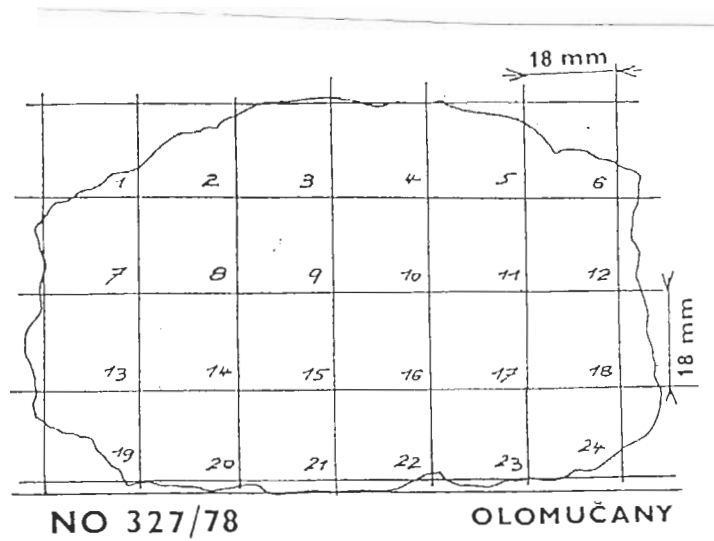
- [1] BIALEKOVÁ, D. 1978: Osídlenie oblastí so surovinovými zdrojmi na Slovensku v 9. - 11. storočí, *Archaeologia historica* 3, 11-15.
- [2] BUCHWALD, V. F. - VOSS, O. 1992: Iron production in Denmark in Viking and Medieval times, in: *Bloomery ironmaking during 2000 years*, Vol.II. Trondheim, 31 - 43.
- [3] JEFIMOVA, A. N. 1958: Černaja metallurgija goroda Bolgara, MIA. 61, Moskva.
- [4] KAPITANCZYK, K. 1953: W sprawie hutnictwa wczesnosredniowiecznego w Biskupinie. *Studia wczesnosredniowieczne* II, 127 - 136. Warszawa - Wrocław.
- [5] KOLČIN, B. A. 1953: Černaja metallurgija i metalloobrabotka v drevnej Rusi. Domongol'skij perijod, MIA 32.
- [6] KUČEROVSKÁ, T. 1996: Předmincovní platidla, in: *Peníze v českých zemích do roku 1919*, vydavatelství NUGA ve spolupráci s Českou národní bankou, Ostrava, 2 -29.
- [7] ŁOSIŃSKI, W. 1959: Kowalstwo we wczesnosredniowiecznym Kołobrzegu, *Prace komisji archeologicznej* IV, I/1, 9-58.
- [8] MARTENS, I. 1977: Vor- und frühgeschichtliche Eisenverhüttung in süd-norwegischen Gebirgsgegenden, *Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland* 59, 147 - 155.
- [9] MAZUR, W. - NOSEK, E. 1989: Investigation of the Hoart of Currency Bars from Kraków, in: *Archaeometallurgy of Iron 1967 - 1987*. Praha, 429-435.
- [10] PLEINER, R. 1962: Staré evropské kovářství. Praha.
- [11] PLEINER, R. 1978: Rozbor vzorků železa z doby hradištní z huti u Olomučan, *Sborník Okresního muzea v Blansku X/1978*, 16-22.
- [12] SOUCHOPOVÁ, V. 1986: Hutnictví železa v 8. - 11. století na západní Moravě, *StAU ČSAV v Brně XIII/1*. Praha.
- [13] SOUCHOPOVÁ, V. 1995: Počátky západoslovanského hutnictví železa ve světle pramenů z Moravy, *StAU ČAV Brno XV/1*. Brno.
- [14] ZAITZ, E. 1988: Frühmittelalterliche axförmige Eisenbarren aus Kleipolen, *Slovenská Archeológia* 36/2, 261-276.



Obr.1 Typický vzhled strusky vznikající při přímé výrobě železa z rud.



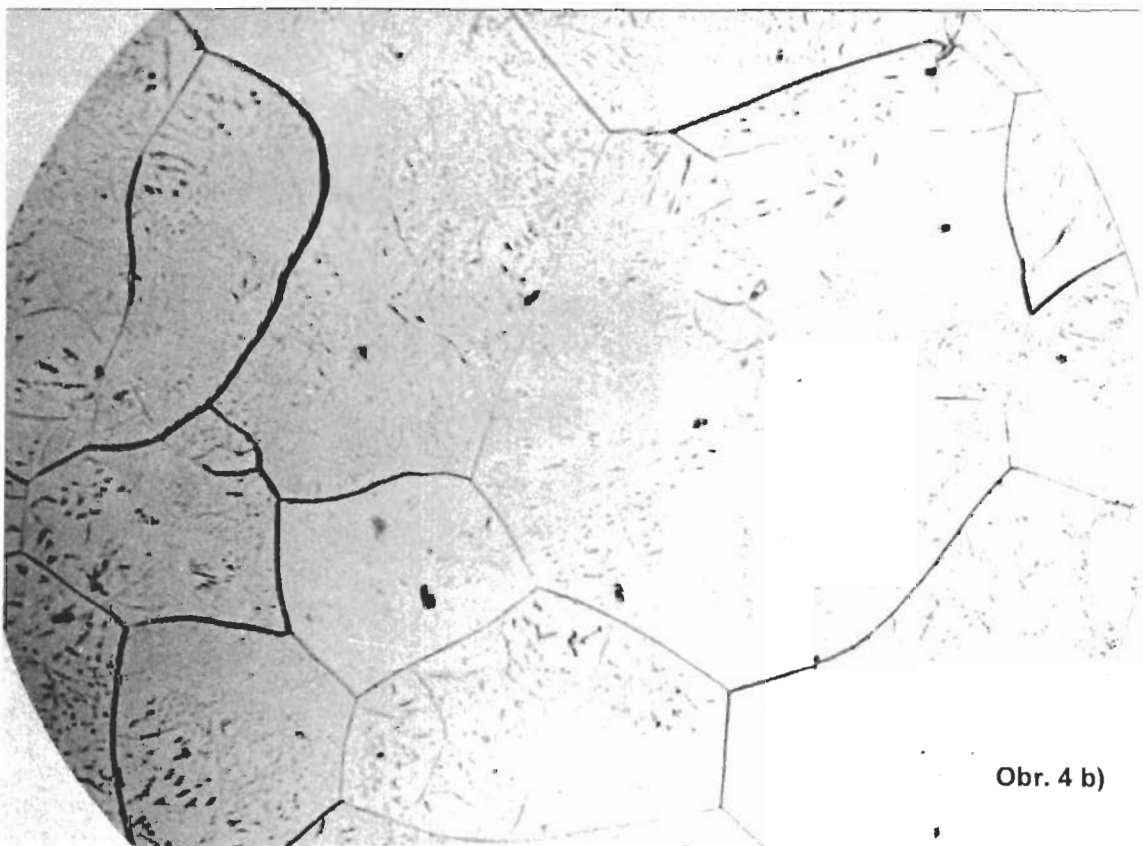
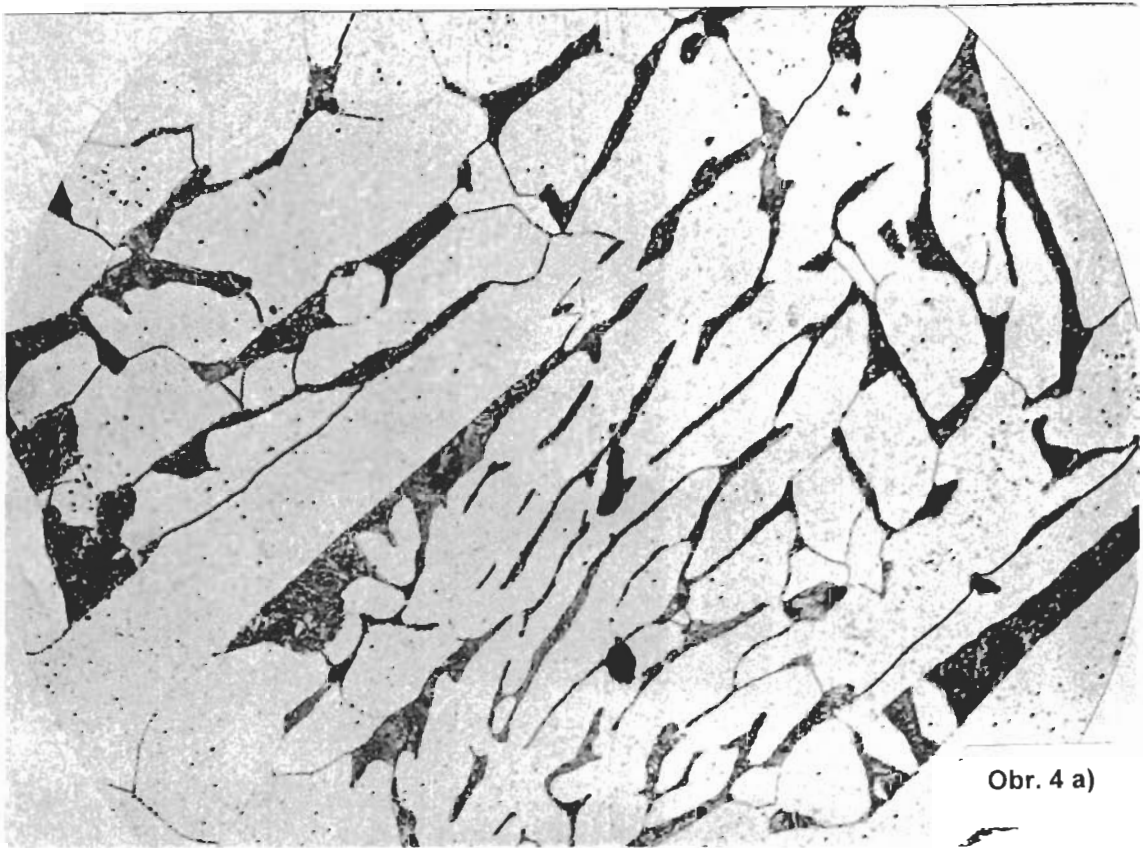
Obr. 2 Řez houbovým železem, které bylo produktem tavby v malých redukčních pecích na přímou výrobu železa z rud.

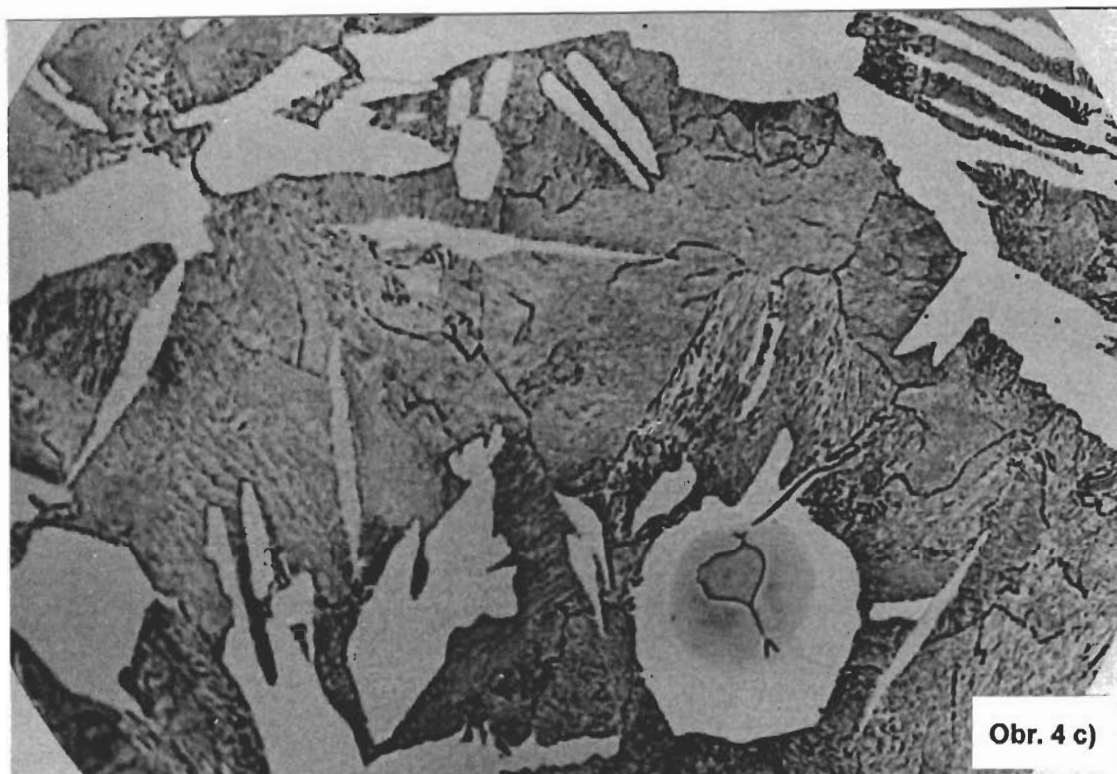


Obr. 3 Postup užitý při metalografickém rozboru železné lupy se zásekem nalezené ve velkomoravské huti U obrázku v polesí Olomučany, okr. Blansko (max. délka 120 mm, hmotnost 2 153 g) Uložení - Muzeum Blansko, inv. č. 327/78).

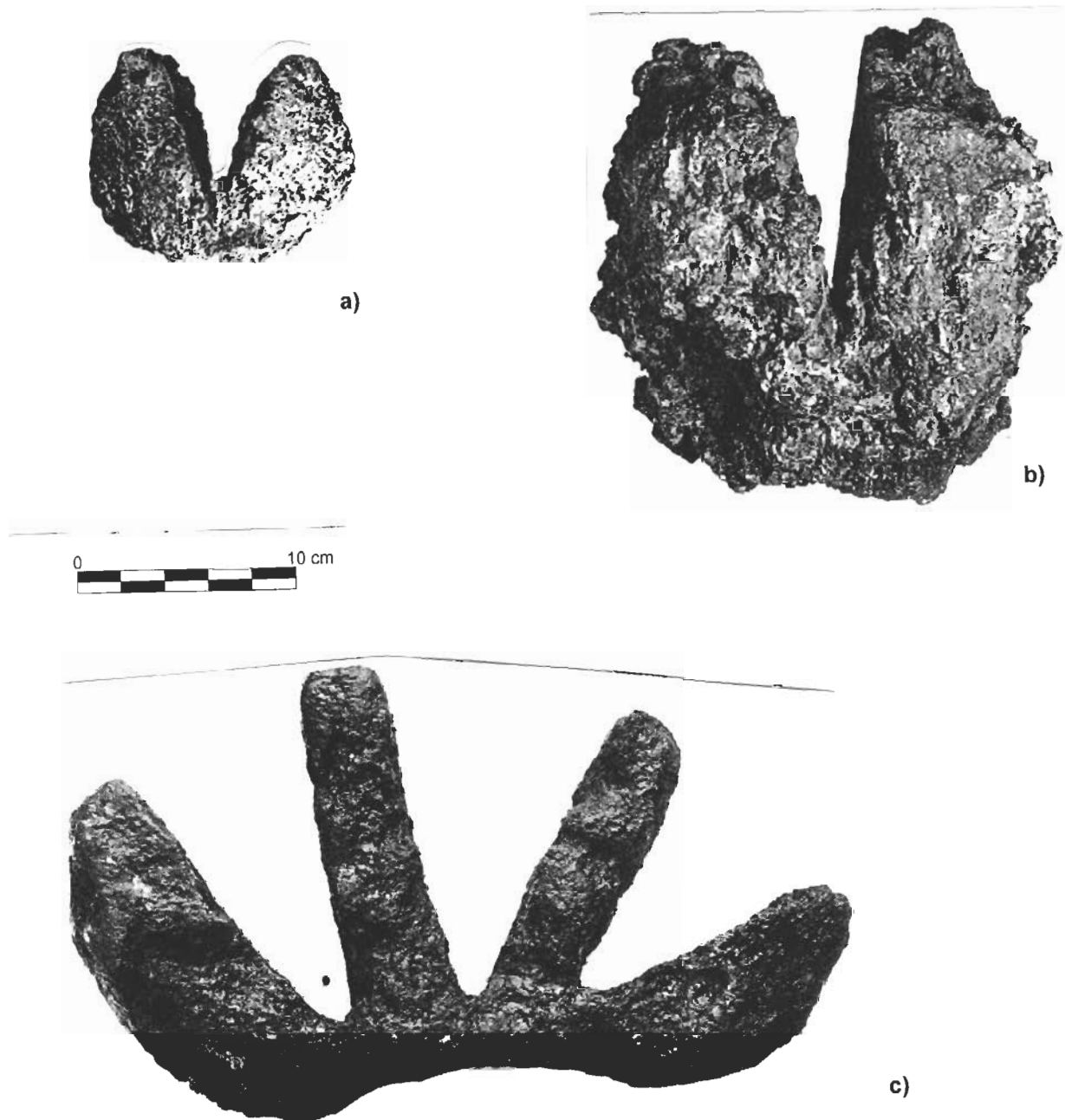
a) Železná lupa s výřezem plátu

b) Schéma rozčlenění plátu železné lupy na jednotlivě zkoumaná pole





Obr. 4. a) Perlitická struktura se síťovým feritu po hranicích původních austenitických zrn (vzorek č. 4, leptáno Nital, zvětšeno 200x), b) Feritická struktura s polyedrickými zrny s precipitáty uvnitř zrn (vzorek č. 16, Nital, 200x), c) Feriticko perlitická oblast se zbytky Widmannstattenovy struktury (vzorek č. 22, Nital, 200x), d) Feriticko perlitická struktura ve vzorku č. 3 se zvýšeným obsahem fosforu a se zbytky nerozpuštěného fosfidického eutektika (Nital , 200 x).



Obr. 5. Porovnání tvarů a přibližné velikosti některých lup uváděných v článku. Velikost odvozena z údajů v literatuře.

a) Metalograficky nezkoumaná lupa z dvojice železných lup nalezených společně před pecí č. 6 ve velkomoravské huti v lesní trati U obrázku, polesí Olomučany, o. Blansko (Zkoumaná lupa viz. obr.3). Uloženo - Muzeum Blansko, inv. č. 328/78., max. délka 130 mm, hmotnost 2 452 g.

b) Železná lupa z Mosstrandu, Norsko. Průměr 26 cm, hmotnost 12, 5 k g (Martens 1975, 154).

c) Čtyřprstá bočnickovitá lupa, Nalezeno u obce Karup, Jutland, uloženo v muzeu ve Vejle, Dánsko. Max. délka 38 cm, hmotnost 8,2 kg (Buchwald - Voss 1992, 39,1).