

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Metalografický rozbor železných archeologických předmětů
z výzkumu v Chrudimi

2000

Svatopluk Fouček



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU

Obor: 23 - 81 - 1 Strojírenství
Zaměření: Tepelné zpracování a zkoušení materiálů

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Metalografický rozbor železných archeologických předmětů
z výzkumu v Chrudimi**

**Metallurgical analysis of archeological iron objects
from research in Chrudim**

KMT - B - 063

Svatopluk Fouček

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Věra Vodičková - TU v Liberci
Konzultant bakalářské práce: Ing. Petr Vodička - ŠKODA AUTO a.s.

Rozsah práce: Počet stran.....50
Počet příloh.....21
Počet obrázků.....62
Počet grafů.....14
Počet tabulek.....37

V Liberci, květen 2000.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Svatopluk FOUČEK

obor

Strojírenství

zaměření

Tepelné zpracování a zkoušení materiálů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Metalografický rozbor železných archeologických předmětů z výzkumu v Chrudimi

Zásady pro vypracování:

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Nastudujte problematiku výroby a zpracování středověkých železných předmětů.
2. Proveďte dokumentaci souboru a metalografickou analýzu vzorků s měřením mikrotvrdosti fází.
3. Na základě zjištěných výsledků odvoďte použitou výrobní technologii z hlediska užitných vlastností.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 25 - 40 stran
- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] Pleiner,R.,Kořan,J.,Kučera,M., Vozár,J.: Dějiny hutnictví železa v Československu
Akademia Praha, 1984
- [2] Dobrkovský,P. : Diplomová práce TU Liberec 1997
- [3] Kužel,M.: Bakalářská práce TU Liberec 1999

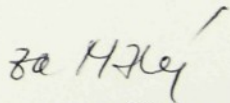
Vedoucí bakalářské práce: RNDr.Věra Vodičková

Konzultant bakalářské práce: Ing.Petr Vodička , Slévárna Ostašov a.s.

L.S.


Ing. Petr LOUDA, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Ludvík PRÁŠIL, CSc.
děkan

V Liberci dne 31. 10. 1999

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

ANNOTACE

Tato bakalářská práce předkládá výsledky metalografického rozboru archeologických nálezů prohraněných přibližně ze 14. až 16. století. Soubor vzorků byl zapůjčen z Vědeckého muzea hl. města Králové a tvoří jej předměty z výzkumu středověké domy v Chrudimi.

PROHLÁŠENÍ

Referenci této práce uvádí souhrn poznatků výroby a zpracování železa v období 14. - 16. století. Ve druhé části této práce jsou uvedeny výsledky metalografického a chemického rozboru jednotlivých předmětů, zejména hodnoty tvrdosti a celkové dohlednost vzorků.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

ANNOTATION

Svatopluk Fouček

podpis.....*S. Fouček*.....

This Bachelor of Sciences project puts forward results of a metalurgical analysis of archaeological discoveries coming from the 14th and 16th century. A set of samples was lent by the East-Bohemian Museum Hradec Králové. The set included samples belonging to a medieval buildings research in Chrudim.

The background research presents the summary of inquiries about the ferroalloy production and processing during the period from 14th till 16th century. Results of metalurgical and chemical analysis of the individual samples, their hardness degrees and the complete documentation of samples are presented in the second practical part.

There is presented discussion on the results at the end of this study.

V Liberci, květen 2000.

ANOTACE

Tato bakalářská práce předkládá výsledky metalografického rozboru archeologických nálezů pocházejících přibližně ze 14. až 16. století. Soubor vzorků byl zapůjčen z Východočeského muzea v Hradci Královém a tvoří jej předměty z výzkumu měšťanských domů v Chrudimi.

Rešeršní část práce uvádí souhrn poznatků výroby a zpracování slitin železa v rozpětí 14. - 16. století. Ve druhé praktické části jsou uvedeny výsledky metalografického a chemického rozboru jednotlivých předmětů, základní hodnoty tvrdostí a celková dokumentace vzorků.

V závěru této práce je prezentována diskuse dosažených výsledků.

ANNOTATION

This Bachelor of Sciences project puts forward results of a metallurgical analysis of archeological discoveries coming from the 14th and 16th century. A set of samples was lent by the East-Bohemian Museum Hradec Králové. The set included samples belonging to a middleclass buildings research i Chrudim.

The background research presents the summary of inquiries about the ferroalloy production and processing during the period from 14th till 16th century. Results of metallurgical and chemical analysis of the individual samples, basic hardness degrees and the complete documentation of samples are presented in the second practical part.

There is presented discussion on the results at the end of this study.

Obsah

1. Úvod

1. Úvod.....	6
2. Teoretická část.....	7
2.1 Prvopočátky hutnictví.....	7
2.2 Doba od 1. stol.př.n.l. do 8. až 9. stol.n.l.....	8
2.3 Velká Morava.....	8
2.4 Období 10. až 13. století.....	11
2.5 Přímá výroba železa ve 14. až 16. století.....	12
2.5.1 Výhňové pece.....	14
2.5.2 Šachtové pece.....	15
2.5.3 Georgius Agricola.....	16
2.6 Metalografický rozbor nálezů.....	21
2.7 Ukázka výroby seker.....	24
3. Experimentální část.....	25
3.1 Metalografický rozbor.....	25
3.1.1 Získání vzorků a jejich zpracování.....	25
3.1.2 Metalografické vyhodnocení a měření tvrdosti.....	27
3.2 Popis jednotlivých předmětů.....	28
3.3 Výsledky rozboru.....	36
4. Diskuze výsledků.....	46
5. Závěr.....	49
6. Seznam použité literatury.....	50
7. Přílohy.....	51

1. Úvod

Již od počátků lidské společnosti, kdy vznikaly první náznaky civilizací, se lidé zajímali o svou minulost a historii. Tato touha po poznání dávno minulých událostí, činností, ale hlavně důvodů jejich vzniku přerostla v samostatnou vědní disciplínu archeologii. Archeologie se zabývá vyhledáváním, tříděním a zkoumáním hmotných i nehmotných pramenů a těmito činnostmi se snaží v co nejširším měřítku zmapovat minulost. Archeologie přináší důležitá historická fakta, která by měla sloužit přinejmenším jako poučení. Z toho plyne, že je možné ji použít jako vodítko při chápání událostí současných a v některých případech jako určitou šablonu pro lidské skutky v budoucnu.

Samostatnou a nedílnou součástí archeologie se v druhé polovině 20.stol. stala archeometalurgie.^[2] Tato část archeologie, jak už název napovídá, se zabývá získáváním informací o zpracování a užitných vlastnostech kovových předmětů či nástrojů používaných v minulosti. Zkoumá, za jakých podmínek a jakým způsobem se dobývaly rudy, jak se následně zpracovávaly nejrůznější kovy a jaký to vše mělo vliv na tehdejší, ale i na dnešní společnost.

Tato práce zkoumá způsob výroby z hlediska užitných vlastností artefaktů datovaných do období mezi 14. až 16. stol., které pocházejí z měšťanských domů v Chrudimi. Jedná se o soubor osmi exponátů, které zapůjčilo Východočeské muzeum v Hradci Králové po dohodě s Dr. Jiřím Kalferstem.

2. Teoretická část

2.1 Prvopočátky hutnictví

Hutnictví bylo do nedávné minulosti závislé na přírodních podmínkách jednotlivých oblastí. Pod termínem přírodní podmínky se rozumí zejména dostatek a kvalita rudních ložisek, dostatek paliva a dále také dopravní síť nebo blízké odbytíště.

V Čechách existovalo několik oblastí, kde se těžila ruda. Nejdůležitější z nich byla barrandiersko-železnohorská oblast se svými hematitovými, chamositovými a pelosideritovými sedimentárními rudami. Po metalurgické stránce se jednalo o méně kvalitní rudy s pouze asi třetinovým obsahem železa. Proto se tyto rudy musely ještě obohacovat siderity a limonity.**[16]**

Další podmínka pro vznik hutí byl dostatek paliva. K tomuto účelu sloužilo převážně dřevěné uhlí a to zejména borové. To se používalo až do 19.stol., kdy se pomalu a z počátku pouze pokusně dostávalo na scénu uhlí minerální.

První zatím známý případ použití železné rudy je z r. 3000 př.n.l. z jihozápadní oblasti dnešního Turecka, známé pod označením Anatolie.**[10; 11]** Železná ruda se zde používala jako struskotvorná přísada při zpracování sirnikových a měděných rud. Až po patnácti stoletích se zde začala zpracovávat samostatná železná ruda a železné výrobky se pomalu začaly dostávat do dalších oblastí, zatím pouze jako dary.

Počátky použití železa u nás lze klást do 12.stol. př.n.l. Z této doby je znám důležitý nález z oblasti Suchdola u Prahy.**[16]** Jedná se o bronzový ingot se zatavenou železnou tyčinkou.

Ovšem až teprve z doby halštatské jsou zaznamenány první náznaky těžby a zpracování železné rudy. Nejdůležitější archeologické nálezy z tohoto období jsou u obce Králová na Litovelsku na severní Moravě, v Praze-Hloubětíně a v jeskyni Býčí skála na Moravě, kde byl odkryt knížecí pohřeb. Doba halštatská se datuje od 7. do 6. stol. př.n.l. Civilizovanému světu té doby vládla antika a u nás začínalo období Keltů. Ti měli obrovský vliv na nejrůznější zpracování kovů, které hojně užívali pro svou potřebu. Keltové dokonce začali razit vlastní mince, ale nejtypičtějšími tehdy vyrobenými předměty byly nejrůznější dýky, sekeromlaty, železné meče a hroty kopí a šipek.**[3]**

Z tohoto období pocházejí nálezy nejstarších výrobních zařízení. Jednalo se o jednoduché otevřené výhně s jedním dmychadlem. Redukce kusů rudy probíhala při relativně nízkých teplotách: mezi 1200 a 1300 °C. Množství takto získávaného kovu bylo velmi malé, řádově kilogramy.

Vrcholu dosáhla keltská civilizace na našem území v době laténské, tj. přibližně ve 2. stol. př.n.l., kdy se prakticky všichni obchod a výroba soustřeďovali do opevněných měst, zvaných oppida. **[3]**

Železná ruda se v této době zpracovávala v pecích se zahloubenou nístějí. Používaná ruda měla poměrně vysoký obsah Fe_2O_3 *). Nejprve se drtila a potom přeprašovala na otevřených ohništích. Takto připravená se s dřevěným borovým dřívím vkládala v poměru 1:1 do předem přehřívané pece. **[16]**

2.2 Doba od 1. stol.př.n.l. do 8. až 9. stol.n.l.

Tato doba je v podmínkách našeho území charakterizována postupným osídlováním germánskými kmeny, které začaly již v 1. stol.př.n.l. zabydlovat severočeský region.

Germáni byli celkově na nižším stupni společenského i ekonomického vývoje než Keltové. Neznali městské opevněné celky, které by byly úzce řemeslně zaměřené. Zpracování i s výrobou železa bylo přesunuto na vsi. Zaniklo mincovnictví i hrnčířství.

Největší počet archeologických nálezů datovaných do tohoto období pochází z pražské oblasti a z polabské nížiny, tedy z míst nejhustšího osídlení. Nálezy železné strusky a nejvýznamnějších hutí je z bezprostřední blízkosti Prahy.

Vlastní pojetí tehdejších redukčních pecí navazovalo na keltské způsoby zpracování rudy. Tyto pece se nacházely buď uvnitř stavení polozemnicového typu, které bylo zahloubeno pod okolní úroveň, nebo se umísťovaly před chatou hutníka.

Pece uvnitř stavení se vyznačovaly menší velikostí než venkovní pece. Ty měly zahloubenou nístěj a nadzemní hliněnou šachtu, přívod pro vzduch z jednoho měchu ústil do pece nad hrdlem nístěje. Nístěj měla tvar komolého kuželu, měla široké dno a její stěny se směrem vzhůru zužovaly. Průměr hrdla nístěje se pohybuje mezi 30 a 40 cm a dna kolem 50 cm. Její hloubka je přibližně 45 cm. Pokud byla nalezena i šachta, potom měla výšku až 80 cm. Podobné pece se nacházely i v severozápadním Německu a Horách sv. Kříže v Polsku. Z takovýchto pecí se získávalo asi 18 kg železné houby, tj. asi 10 kg použitelného železa. Největší počet pecí z tohoto období byl objeven u Sudic severně od Brna. Jedná se o tři seskupení, z nichž prvé mělo 73 pecí, druhé 17, a třetí 41 pecí. **[16]**

2.3 Velká Morava

Vlastní počátky slovanské metalurgie železa na našem území nelze doložit žádnými nálezy datovanými do období 6. nebo 7. stol. O významnějších nálezech se dá mluvit až od 8. a 9. stol., kde jsou nejdůležitější hroby vůdčích a ozbrojených složek tehdejší společnosti.

Až v této době se začíná formovat Velkomoravská říše, kde vládne domácí dynastie Mojžířů. Svého vrcholu zažila Velká Morava v 9. stol.

*) kolem 80 %

Právě železářství mělo největší vliv na rozmach zemědělství, které díky svým přebytkům mohlo zásobovat nově vznikající městské celky. Vyráběly se vyspělejší typy železných radlic k pluhům, krojidla, motyky, rýče, kosáky, srpy a nástroje k obrábění dřeva. To vše v konečném důsledku přispělo k tvorbě kulturní krajiny.

Železo, jako platidlo ve tvaru dlouhých neupotřebitelných sekerek se pomalu stávalo také mírou hodnot. Tyto sekerky se označují jako železné hřivny. Množství nálezů svazků těchto hřiven se nachází především v centrálních částech Velkomoravské říše. Podobné nálezy jsou také ve Skandinávii a v Rusku. Nejdůležitější naleziště jsou v hustě obydlených oblastech Pováží a Pomoraví a v oblastech s možností těžby rudy v Dražanské vrchovině a v podhůří Jeseníku na Uničovsku.^[16]

Největší význam z nalezišť v hustě obydlených oblastech má Pobedim na Váhu. Jednalo se o osadu kolem slovanského hradiště, kde byly nalezeny sklady sekerovitých hřiven a keramické úlomky, které dříve pravděpodobně tvořily šachtu o průměru asi 20 cm a výšce asi 40 cm. Nelze však s jistotou tvrdit, zda se v tomto případě jednalo o výrobu kovářskou či hutnickou. Dr. Bialeková se ve své knize "Dávne slovanské kováčstvo" ^[5] přiklání k tvrzení, že šlo o výrobu kovářskou, viz obr.: 1,2.

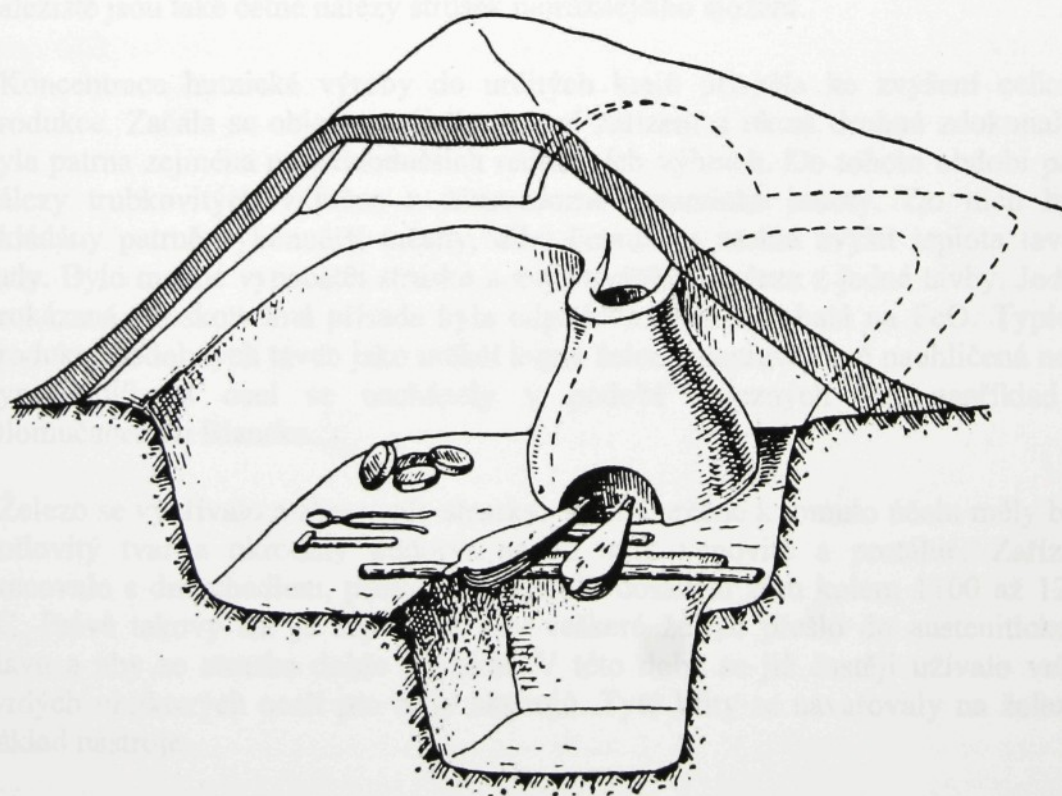
Nejdůležitější z nalezišť s možností těžby se datuje do doby kolem roku 800 v podhůří Jeseníku na severu Moravy. Největší význam pak mají nálezy u Dolní Sukolomi a u Želekovíc. Z Dolní Sukolomi pochází nález tří redukčních pecí, které měly nízké šikmo ukloněné šachty s manipulačním otvorem v hrudi. Vnitřní prostor pecí byl vykopán v zemi a vymazán žáruvzdornou hmotou. V týlové části pece vedl do šachty otvor k vsazení měchu.

Asi 5 km jižněji od Sukolomi se nachází huť v Želechovicích. Pece z této huti se vyznačují velmi podobným konstrukčním řešením, proto je lze zařadit do shodného období. Tato huť má již plánovité řadové uspořádání. Devatenáct pecí je zabudováno z východní strany do 21 m hlubokého příkopu.

Pece v Želekovické huti byly vytesány z rostlé spraše a měly trojí vymazání, díky čemuž vzdorovaly i vysokým teplotám. Křemitá vrstva, která přicházela do styku s vsázkou odolávala teplotám až 1730 °C. Provozní teplota se odhaduje na asi 1300 °C. Unikátním prvkem těchto pecí byla podkovovitá dutina, která vznikla vyhloubením zadní části nístěje a skutečností, že tyto pece měly šikmou vzduchovou formu. Byly to otvory z žáruvzdorné hmoty, do kterých se vkládala měchová dmychadla. Hlavním účelem této dutiny bylo, aby se kov uchránil před oduhličením. Z toho tedy plyne i to, že zde bylo možno tavit i hematit-magnetity, které byly jinak velmi těžko tavitelné.^[16]



obr.: 1 – Hromadný nález sekerovitých hřiven z Pobedima (podle Bialekové)



obr.: 2 – Rekonstrukce kovářské dílny (podle Bialekové)

2.4 Období 10. až 13. století

Po dosažení svého vrcholu se ke konci 9. stol. začala Velkomoravská říše vnitřně rozpadat. Tento rozpad byl ještě umocněn vpádem Maďarů do východních částí velkomoravského území. Česká knížata se po krátké době vymanila ze svazku s Velkou Moravou a začala se orientovat na východofranckou říši, která se pomalu vyvíjela v říši římskou. **[1]** Pod vládou přemyslovské dynastie se česká knížata svým vlivem dostala na konci 10. stol. až na Moravu.

Výrobci zabývající se metalurgií a řemeslnou výrobou působili v 11. a 12. stol. až na drobné výjimky na vsích, ale během 13. stol. vzniklo v Čechách a na Moravě padesát nových královských měst. Tam se potom stěhovali nejrůznější řemeslníci, nejdůležitější byli kováři, ovšem hutníci železa, kteří zároveň dobývali železnou rudu, zůstávali v odlehlejších krajích s výskytem surovin včetně paliva.

Kromě nalezišť, která ještě nevytvářela náznaky prvních hutnických revírů, bylo v Čechách a na Moravě v období od 10. do 12. stol. několik významnějších železářských oblastí. První z nich se nalézala na jihozápad od Prahy, kde byly nepříliš kvalitní ordovické rudy. Konkrétně se jednalo o pece v Nučicích, Západní Kopanině a v Praze-Řeporyjích. Tyto malé dýmačky měly průměr šachty kolem 40 cm, byly vtesané do terénu a opatřené vnitřním žáruvzdorným pláštěm. Další z těchto oblastí bylo v 10. až 11. stol. Blanensko. Nalezly se zde zbytky menších dílen, které zpracovávaly místní hematity a limonity. Třetí významnější oblast se nacházela v podhůří Jeseníku a přilehlém kraji. Společné pro všechny zmiňované naleziště jsou také četné nálezy strusek nejrůznějšího složení.

Koncentrace hutnické výroby do určitých krajů přispěla ke zvýšení celkové produkce. Začala se objevovat jiná výrobní zařízení a různá drobná zdokonalení byla patrna zejména na jednodušších redukčních výhních. Do tohoto období patří nálezy trubkovitých výfučen z žáruvzdorné keramické hmoty. Do nich byly vkládány patrně výkonnější měchy, díky čemuž se mohla zvýšit teplota tavení rudy. Bylo možné vypouštět strusku a zvýšit výtěžek železa z jedné tavby. Jediná prokázaná struskotvorná přísada byla odpadová struska bohatá na FeO. Typické produkty podobných taveb jako měkkí kujné železo, nepravidelně nauhličená nebo vysokouhlíková ocel se nacházely v podobě železných lup například v Olomučanech u Blanska.

Železo se vyhřívalo a zbavovalo strusky. Výhně určené k tomuto účelu měly buď kotlovitý tvar a okrouhlý půdorys anebo byly vanovité a protáhlé. Zařízení pracovalo s dmychadlem, protože to zajistilo dosažení žáru kolem 1100 až 1200 °C. Právě takový žár je zapotřebí, aby veškeré železo přešlo do austenitického stavu a aby se struska dobře roztekla. V této době se již častěji užívalo velmi tvrdých uhlíkových ocelí pro bříty nástrojů. Tyto bříty se navařovaly na železný základ nástroje.

2.5 Přímá výroba železa ve 14. až 16. století

Asi v polovině 14. stol. Bylo dokončeno intenzivní rozšiřování zemědělské půdy, kolonizace dosud neosídlených ploch a dovršila se dělba práce mezi venkovem a městy. Společnost se na dlouhá léta rozdělila na několik vrstev; na krále a jeho dvůr, šlechtu, církevní hodnostáře, měšťany a na poddané. Narůstající neshody mezi šlechtou, církví a měšťanstvem nakonec vyústily až k husitskému hnutí a následné revoluci. Z této revoluce vyšli vítězně měšťané. Ti však vzhledem ke svým politickým ambicím měli menší hospodářskou základnu než tehdejší šlechta, která začala od poslední čtvrtiny 15. stol. Podporovat rozvoj měst vlastních a to na úkor měst královských. Z toho plynuly mnohé další neshody, které přetrvávaly až do začátku 16. stol., kdy roku 1526 nastoupil na trůn Ferdinand I. Habsburský. Tento panovník důsledně uplatňoval centralistický princip vlády. To vyostřovalo neshody mezi měšťany a panovníkem. Po nezdařeném odboji přišla roku 1547 královská města o většinu ze svých svobod. Šlechtické statky tím pádem rostly s ještě větší intenzitou na úkor měst a jejich výroby.

Železářská výroba se soustřeďovala do železnorudných oblastí, hlavně do útvaru barrandiensko-železnohorského. Tento útvar táhnoucí se od Brandýsa nad Labem přes Prahu a Plzeň do okolí Klatov a Domažlic, obsahoval sedimentární železné rudy, rozlišené do deseti rudných obvodů. V nejspodnějších z nich byly krevelové rudy, nad nimi byly uloženy pelosiderity. První hutě byly zakládány mezi Stradomicemi a Svárovem a v pruhu od Krušné Hory až po Karabinský vrch. Řada drobných ložisek krevelu byla v této době těžena mezi Hýskovem a Točnickem. Rudnou základnu pro strašické, komárovské a jinecké hutě bylo území od Strašic k severovýchodu přes Těně, Zaječov a Hvozdec k Podluhám. Hutě ve Strašicích, Holoubkově a Dobřívě zpracovávaly v 15. a 16. stol. Ložiska na Pískovém vrchu, Ostrém vrchu a Janovky u Cheznovic. Na Rokycansku se původně brala ruda na úpatí Kotle na Kocandě, v první polovině 16. stol. Snad také z ložiska u Klabavy. Obsah železa v rudě z barrandienského obvodu se pohyboval od 21 do 36 %. Tyto rudy obsahovaly kolem 1% fosforu. To poněkud znesnadňovalo zkujňování surového železa. **[13, 16]**

Na Českomoravské vrchovině bylo počínaje 14. stol. Zpravovávalo šest skupin železnorudných ložisek. Největší počet z nich, bylo skarnového typu. Ty byly roztroušeny po celé moravské části této vrchoviny. Těžba magnetitu v Budči u Žďáru nad Sázavou je doložena již z let 1325 až 1360. Další skarnová ložiska jsou uložena v prostoru mezi Poličkou, Novým Městem a řekou Svratkou, a mezi Poličkou a Žďárem nad Sázavou. Středověké železářny v Ransku a Borové zpracovávaly místní zvětralé železné rudy jako krevely a magnetity. Nejprve byly využívány hnědely a siderity na Sokolovsku. V 16. stol. Se nejvíce využívaly křemenné žíly tzv. bludenského pásma u Bludné, jehož celková délka ze saského území až k Popovu u Jáchymova dosahovala délky 32 km. Obsah železa v rudě byl asi 33%. V druhé polovině 16. stol. Se těžily magnetity u Horní Blatné a Potůčků. Magnetity se těžily také mezi Vejprty a Černým Potokem. Toto pásmo se nacházelo mezi vrchem Špičák a Horní Halží. **[13]**

Dobývání na železnorudných ložiskách se v podstatě nelišilo od způsobů na jiných rudných ložiskách. Do konce 16. stol. Ani zvýšená spotřeba železa nevyžadovala příliš zdokonalené technické vybavení dole a hutní technologii. Vytěžená ruda se proto tavila v nízkých šachtových pecích s redukčními výhněmi, které nepracovaly nepřetržitě, ale jen podle potřeby, zpravidla 1 – 2 dny v týdnu.

Hlavním výrobkem bylo kujné železo a ocel, zpracovávané na hamrech. Zakladní tvary, které se vykovávaly, byly kusy plochého železa o různé délce, vykovávaly se však také obruce, plechy a hřídele. Nejčastějším předmětem produkce hamrů bylo zemědělské nářadí, především radlice. Většinu vyrobeného železa zpracovávali vesničtí kováři na různé druhy seker, kladiv, kleští, sekáčů, motyk, lopat, kos, srpů, pánví, hřebíků na podkopy a dalších výrobků. Kováři ve městech se specializovali a tak již ve 14. stol. Působili piláři, lopatáři, dráteníci, hřebíčníci, jehelníci a jiní. Postupně se od nich oddělili zámečníci, nožíři, břitvi, mečiři a další řemeslníci.^[7] Kováři zhotovovali i umělecká díla, jakými byly mříže, kování na nábytek, zámkový atd.^[6] Za speciální výrobky lze považovat meče, sudlice, z drátů spletené brnění a z plechů tepané pancíře. Kovář ve 14. až 16. stol. Zvládl dokonalé techniku sváření, pracoval s různými druhy kladiv, dlát, sekáčů, razidel a pilníků a dovedl nejen vytěpávat plech do požadovaného tvaru, ale také jej zdobit, např. zbraně a pancíře rytím a vykládáním zlatem a stříbrem. V tomto období však železářskou produkci v Českých zemích spotřeboval výhradně domácí trh, takže vývoz železa byl opravdu výjimkou. Naopak některý jeho sortiment a výrobky byly nedostatkové, což v 15. a 16. stol. Vedlo k dovozu železářských

výrobků z Rakouska, Bavorska a ze Saska. ^[13]

Mezi lety 1300 – 1600 je známo na 250 železných hutí. Většina hutí v této době však nepracovala nepřetržitě. Jednalo se spíše o redukční výhně a šachtové pece malé kapacity, což naznačuje, že jejich přesný počet ani zdaleka nelze určit. Vytáběly se v nich 1-2 železné houby týdně. To znamená, že byly v provozu jen 1-2 dny v týdnu a někdy nepracovaly vůbec.

První potřebnou surovinou byla ruda, která se pouze z počátku dobývala na výchozech ložisek, kde byla ruda zvětřalá, a proto snadno redukovatelná. ^[15] Ruda se drtila a ručně přebírala, což zahrnovalo oddělení rudní části od jaloové. Potom byla ještě pražena a dále obohacována, protože rudu obsahující méně než 40% železa nebylo možné v tehdejších zařízeních redukovat. Proto se za tímto účelem užívala dýmařská struska s obsahem kolem 50% železa.

Druhou nedílnou podmínkou při výrobě železa bylo dřevěné uhlí. To se vyrábělo pálením dřeva v mlířích. Uhlí si hamerníci kupovali od uhlířů, kteří se specializovali na jeho výrobu. Z jednoho mlíře se dalo získat až 67 vozů uhlí. V některých oblastech pálili dřevo sedláci a uhlí prodávali hamerníkům i panské železárně.

Do výhňových a šachtových redukčních pecí se vháněl vzduch ručními měchy. Tyto pece byly levné, a proto se díky své jednoduché konstrukci udržely po celé období přímé výroby železa. Redukcí vznikalo kujné železo v těstovitém stavu, ale struska byla tekutá.

Pochody spojené s nepřímou redukcí začínají již při 400 – 600 °C, ale pro vznik kujného železa je potřeba tekuté strusky. To může nastat až při teplotách mezi 1200 až 1300 °C. Spalováním uhlí v peci vzniká CO_2 . Tento kysličník se potom díky rozžhavenému uhlí redukuje na CO a právě CO redukuje Fe_2O_3 na železo a nižší kysličníky. Takováto redukce se uskutečňuje při teplotách 400 – 1000 °C. Druhý druh redukce, označovaný jako přímý, probíhá při teplotách nad 1000 °C. Nejprve se zredukuje Fe_2O_3 na Fe_3O_4 . Potom se musí použít redukční plyn se 70% CO, aby se mohla uskutečnit redukce na železo. Ve chvíli, kdy je většina FeO zredukována na železo, dochází k nauhličování železa.**[16]**

Přímá redukce, narozdíl od předchozí nepřímé redukce, probíhá při teplotách nad 1000 °C. Tato redukce probíhá z počátku jednoduše. Jedná se o redukcí Fe_2O_3 na Fe_3O_4 . Ke vzniku FeO je však potřeba redukční plyn s 25% CO a k redukcí na železo plynu dokonce se 70% CO. Když je většina FeO zredukována na železo může docházet k nauhličení železa. Struska vzniklá při takovéto redukcí měla bod tání 1000 °C a obsahovala více než 40% železa. Takto vyrobené železo bylo měkké a snadno svařitelné. Pokud použitá ruda obsahovala i mangan, bylo tím velmi usnadněno nauhličení a tím i vznik oceli.**[16]**

2.5.1 Výhňové pece

V tehdejší době se popisem přímé výroby železa zabýval Biringuccio, který se touto výrobou setkával ve vlastní praxi. Jeho popisy potom převzal a navázal na ně Agricola. Podle Biringuccia, který popisoval výrobu železa z vysoce kvalitních krevclů s 50% železa, se ruda nejprve rozdrtila a nahromadila před formou. Kolem ní se prostor vytěsnil většími kusy rudy nebo jaloviny, aby drobná ruda držela pohromadě s uhlím. Vítr se vháněl měchem. Ten byl poháněn vodním kolem.**[14]** Po redukcí trvající 8 až 10 hodin se získalo železo, které mělo těstovitou konzistenci. Ještě ve žhavém stavu rozdělené železo se znovu vyhrálo ve výhni a z takto tepelně upraveného železa se potom kovaly tzv. dejly. Ty se po několika dnech zpracovávaly kovááním na základní tvary, jako tyče. Ztráta železa propalem činila asi 40 až 45 %. Zpracování těchto Biringucciem popisovaných krevclů bylo na vysoké úrovni, protože se zde již používalo vodní kolo pro měchy a buchar.

Podle Agricoli měla výheň hloubku asi 105 cm, šířku a délku 150 cm a uprostřed měla prohlubeň 30 cm hlubokou a 45 cm širokou. Do této prohlubně se dávalo nejprve uhlí a na ně malé množství rozdrcené rudy a nehašeného vápna. Na to se potom pokládaly střídavě vrstvy uhlí a rudy. Uhlí se zapálilo a žár byl udržován dmýcháním z měchlů, které pohánělo také vodní kolo. Redukční pochod trval stejnou dobu. Tímto způsobem bylo možné vyrobit hroudu o hmotnosti asi 120 až 180 kg. Po tomto procesu se vypustila struska a po vychladnutí byla hrouda vylomena z pece. Ta se rozdělila na 5 až 6 kusů a každý kus se po vyhrátí ve výhni vykoval na základní tvary, jako tyče, obruče apod.

2.5.2 Šachtové pece

Tyto pece zpracovávaly rudy horší jakosti a měly značně větší vnitřní objem než pece výhňové. Jejich konstrukce dosahovala kolem tří až čtyř metrů výšky. Podle Biringuccia i Agricoly měly také měchy, které byly poháněny vodním kolem.**[14]** Forma dmychadla sahala až do středu pece. Díky nečistotám se někdy ani při sebepečlivější práci nepodařilo vyrobít měkké železo. Šachtovým pecím, které se stavěly v Čechách a které se velmi podobaly pecím, jež popisoval Agricola, se říkalo dýmačky. (Agricolovu dílu se budu věnovat blíže po dokončení popisu funkce šachtových pecí.) Nístěj byla u těchto zařízení přístupná z přední stěny pece tzv. hrudi a vykládala se kameny a pískem. Hliněná hrud' se u takovýchto pecí vždy při vytahování hroudy vylamovala. Pokud se jednalo o pece menší konstrukce, musela se hrouda vyjmout horním otvorem pece kleštěmi. V této přední stěně byl také otvor pro vypouštění strusky. Dva měchy s jednou formou, které byly i v místních podmínkách již poháněny vodními koly, se nacházely v zadní části pece přímo proti její hrudi. Hrouda získaná z takovýchto pecí se nejprve zbavovala strusky dřevěnými kladivy a potom se rozdělila ostrými železy pod buharem na několik částí. Tyto části se po vyhřátí ve vyhřívače vykovávaly na základní tvary. Buchar s vyhřívačkou se nacházel v samostatné budově. Nejčastěji používaným nářadím byly hamerní kleště, sekáče, železné lopaty, malá kladívka, sekáče atd. Hlavním produktem dýmaček na českém území byla hrouda kujného železa, ne však surové železo.**[16]**

V hamerní budově se vyráběly nejružnější druhy železného nářadí. Jiné železné zboží se vyrábělo na objednávku. Základními tvary železa byly šíny a tyče. Tyč měla hmotnost 4,1 až 5,15 kg a šín 2 až 2,6 kg.**[16]** Hromadně se v hamrech vyráběly radlice. V některých hamrech se dokonce vysoce specializovali na výrobu srpů a kos. Takovéto hamry byly zakládány v místech, kde se vyrábělo železo s vyšším obsahem uhlíku s podobnými vlastnostmi jako ocel.

Dýmačky pracovaly v průměru 1 - 3 dny v týdnu. Denně se vyráběla jen jedna hrouda, jejíž hmotnost se pohybovala mezi 280 a 350 kg. Ztráty při zpracování hroudy na základní tvary činily kolem 30%. V 16. stol. vyráběly železářny průměrně 20 až 40 tun železa ročně. Ovšem mezi výrobou jednotlivých železáren byly značné rozdíly.**[16]**

2.5.3 Georgius Agricola: Dvanáct knih o hornictví a hutnictví [12]

Agricola byl ve své době jedním z nejvýznamnějších odborníků a specialistů ve svém oboru. Díky jeho dvanácti knížkám o hornictví a hutnictví si můžeme udělat relativně značně přesnou představu o práci v rudních dolech, při zpracovávání rudy i o výrobě kovových předmětů stejně tak jako o životě a povinnostech lidí, kteří se těmito činnostmi zabývali.

Jeho dílo nazvané „Dvanáct knih o hornictví a hutnictví“ je rozděleno takto:

Kniha první: Kdo je horník, jaký by měl být a klady i zápory hornictví.

Kniha druhá: Volba místa dolování a vyhledávání žil.

Kniha třetí: Popis žil a vrstev skal.

Kniha čtvrtá: Způsoby měření, důlní míry, hornické úřady.

Kniha pátá: Pravidla otvírání a dobývání různých žil a pravidla měření při stavbě šachet. Viz obrázek č. 8.

Kniha šestá: O nářadí k dobývání rudy, nehody dělníků, používané nádoby a stroje.

Kniha sedmá: Prubířství.

Kniha osmá: Upravování a příprava rud.

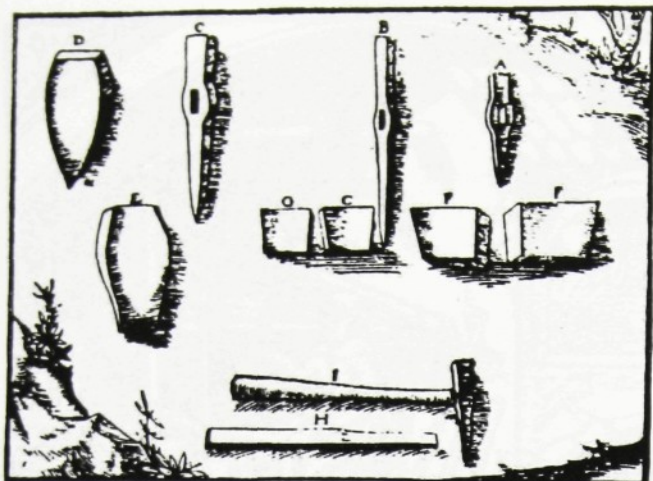
Kniha devátá: Pochody tavení a výroba kovů. Viz obrázky č. 5 a 6.

Kniha desátá: Oddělování jednotlivých kovů a jejich čištění
(zlato od stříbra a naopak a měď a olovo od zlata)

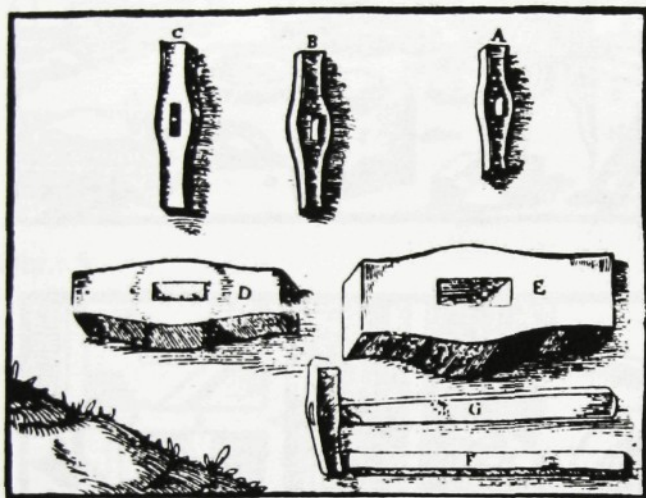
Kniha jedenáctá: Dělení stříbra od mědi a od železa.

Kniha dvanáctá: Zhuštěné roztoky.

Pro dobývání rudy se používalo nejrozumnější nářadí. Mezi nejdůležitější nářadí patřily: klíny, hrubé klíny, plechy, kladiva, tyče, páčidla, špičáky, kopáče a lopaty. Nejdůležitější nářadí, které se používalo prakticky denně, bylo tzv. želízko. To mělo mnoho velikostních variací avšak tvarově se jednotlivé variace téměř nelišily. Jeden konec želízka byl širší a měl čtverhranný tvar. Ten musel odolávat rázům kladiva. Druhý zašpičatělý konec potom prorážel tvrdou skálu a žílu. Jednotlivá želízka a kladiva jsou na obrázcích č.: 3, 4.



obr.: 3



obr.: 4

k obrázku č. 3

A – želízko

B – zasekáček

C – želízko žumpové

D – skalní klín

E – klín

F – hrubý klín

G – plechový klín

H – dřevěná rukojeť

I – v želízku zasazená rukojeť

(podle Agricoli)

k obrázku č. 4

A – zásekový mlátek

B – mlátek

C – pucka

D – dvouruční pucka

E – perlík

F – dřevěné topůrko

G – topůrko v zásekovém mlátku

(podle Agricoli)

U vytěžené rudy se podle Agricoly musel zjistit její druh a její vlastnosti. To se provádělo v malých vyhřívaných pískách. Po této činnosti, které se říkalo prubířství, následovalo třídění, pražení a příprava na tavení v peci. Ruda se roztloukala kladivy na třídících prknech. Pražila se ze dvou důvodů: buď proto, aby šla následně snadněji roztloukat nebo proto, aby se spálily tzv.: tučné součástky jako např.: síra.



Obr.: 5



Obr.: 6

k obrázku č. 5

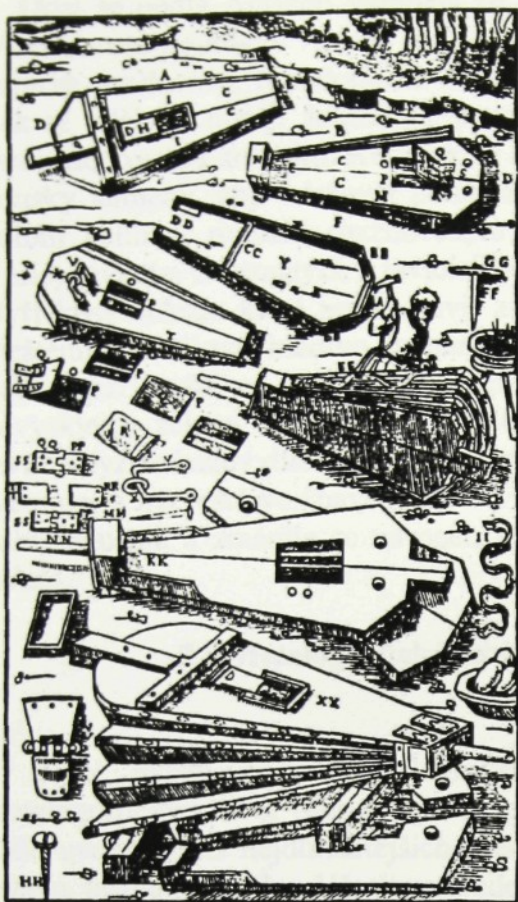
A – rošt, B – špalík, C – špalek, D – železný bočník, E – kladivo, F – dřevěný špalek uprostřed vydlabaný, G – necičky s otvory, H – špalík nabodený na železné držadlo, I – jedlová polena, K – železný sochor, L – železné nářadí s dutinou
M – nářadí, s nímž dle obrázku souvisí kroužek: nářadí, jehož konec je ohnutý sem tam, N – nářadí v podobě skřipce.

k obrázku č. 6

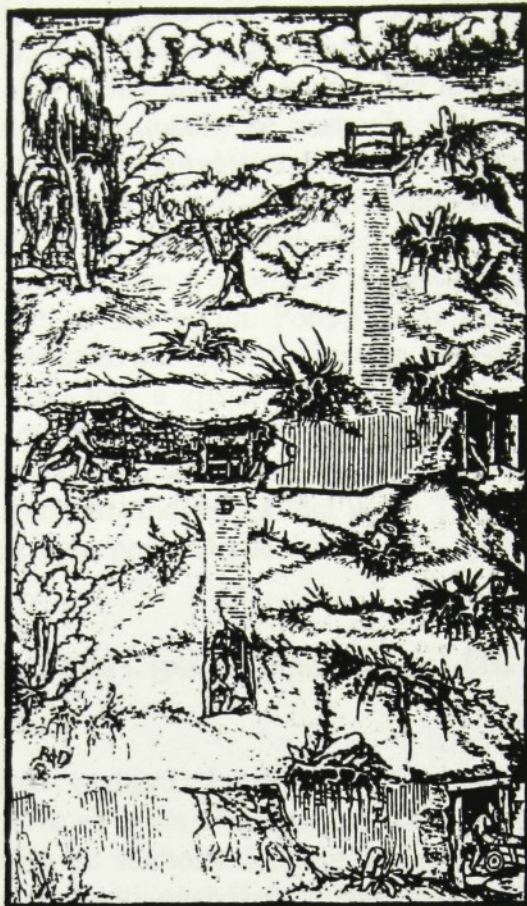
A – nářadí s okem, B – lžíce, C – její otvor, D – zahrocená tyč, E – vidlice, F – železný bočník, položený na nářadí v podobě skřipce, G – nádoba vodou naplněná, H – špalek, na němž leží bočník, I – kladivo, K – železo, ležící na nářadí v podobě skřipce, L – jiná nádoba vodou naplněná, M – kartáč, N – třínožka, O – jiný špalek, P – dláto, Q – nístěj pece

(Obrázky 5 i 6 podle Agricoli)

Připravená ruda se mohla začít vkládat do pece, která byla opatřena měchy na vodní pohon. Jak takové měchy vypadaly a z jakých částí se skládaly je znázorněno na obrázku č.: 7. Pec se plnila tím způsobem, že mistr nejprve vhodil dřevěné uhlí do jamky v dolní části nístěje. Na ni potom vsypal směs rozdrčené rudy s nehašeným vápnem. Toto prováděl opakovaně až navršil mírně skloněnou hromádku, která se pak tavila. Dutí větru z měchů redukoval táhlem u pece, které ovládalo přítok vody na vodní kolo. Tato regulace byla nutná vždy, když přiřazoval další rudu, uhlí nebo když vypouštěl strusku. Když tímto způsobem rudu vytavil, otevřel mistr hrázku pro strusku tyčí a když všechna odtekla nechal vzniklou hroudu ještě vychladit. Po vychladnutí ji s pomocníky vylomil kleštěmi a vložil pod buchar, který ji rozsekl na několik dílů. Po vylomení hroudy z pece někdy zbyla v jamce na dně nístěje struktura, kterou Agricola nazýval „*tvrdé železo*.“ To šlo jen stěží vykovat, ale zhotovovaly se z něj podle Agricoly „*předměty veliké tvrdosti*.“



Obr.: 7



Obr.: 8

K obrázku č. 7

A – horní deska, B – spodní deska, C – dvě prkna, k nimž sestává deska horní i spodní, D – zadní část u obou zaokrouhlená, E – přední část u obou zúžená, F – lišty, G – otvor hořejší desky, H – víko, I – lišty, K – rukojeť, L – zevnější příčka, M – vnitřní příčku nebylo možno nakreslit. Spodní desky vnitřní stěny, N – část hlavy, O – otvor pro vzduch, P – hrázka, Q – klapka, R – kůže, S – řemen, T – zevnější část spodní desky, V – kruh, X – kroužek, Y – dno, Z – jeho dlouhé lišty, AA – zadní lišta, BB – ohnuté lišty, CC – dlouhá rozpora, DD – krátké lišty, EE – kůže, FF – hřeb, GG – jeho hlava, HH – šroub, II – dlouhý řemen, KK – hlava, LL – její spodní díl, MM – její vrchní díl, NN – píšťala, OO – celé spodní dno měchu, PP – obě zevní destičky hlavy, QQ – jejich ohnutý díl, RR – prostřední destičky hlavy, SS – obě zevní železné destičky hořejší desky, TT – jejich prostředky, VV – osa, XX – celý měch (podle Agricoli)

K obrázku č. 8

A – šachta, BC – překop, D – druhá šachta, E – štola, F – ústí štoly (podle Agricoli)

Ocel se podle Agricoli vyráběla ze „železa.“ To se získávalo z rud, (cituji „*jež se svým charakterem podobaly rudám jiných kovů, byly měkké nebo křehké.*“) Takové „železo“ se nejprve rozžhavilo, rozsekalo na drobné díly a smíchalo s „*tavitelnými drobnými kameny.*“ Pak se udělal v nístěji železářské pece kelímek a měchy se nastavily tak, aby vzduch dul ústím doprostřed kelímku. Kelímek se naplnil nejkvalitnějším dřevěným uhlím a obklopil se kousky kamene, aby udržoval pohromadě kousky železa a na nich uložené uhlí. Když se potom kelímek rozpálil rozžhaveným dřevěným uhlím začal mistr s dmýcháním větru a s přispíváním železnatých a tavicích přísad. Když se tyto přísady roztavily vložil doprostřed čtyři kusy železa, které potom taval asi pět až šest hodin. Potom mistr uchopil jeden kus kleštěmi a vložil pod kladivo bucharu, kde se vykoval. Okamžitě potom následovalo kalení ve vodě a rozlámání na kusy. Mistr si prohlížel lom a zjišťoval, zda se ještě na nějaké části nevyskytuje železo. Potom vyjímal kleštěmi další kusy a rozsekával je, pak tuto směs zase taval. Když se každý dílek rozpálil, mistr ho uchopil, vložil pod buchar a vykoval na tyč. Tato tyč musela být ještě ve žhavém stavu vhozena do studené tekoucí vody. Tím se její struktura náhle zhuстила a změnila se na ocel, která byla podle Agricoly „*daleko čistší a bělejší než železo.*“

2.6 Metalografický rozbor nálezů (podle Jiřího Zemana) [17]

Nyní uvedu popis metalografického rozboru Ing. Jiřího Zemana, DrSc. Jeho metalografický rozbor jsem si vybral, protože se svým charakterem velmi podobá této práci. Dále uvedu popis nejdůležitějších předmětů ze souboru. Konkrétně se jednalo o nůž, srp, sekeru, břitvu a ostruhu. Všechny uvedené předměty pocházely z naleziště Bystřec a datovány byly do období 13. až 14. století.

Vzhledem k tomu, že většina předmětů vyráběných v tomto časovém období nějakým způsobem vždy souvisela s běžnými pracovními úkony v zemědělství, Ing. Zeman předpokládá, že způsob zhotovení těchto výrobků byl značně rozšířen až na lokální výjimky, které vyplývaly z rozdílného rozsahu řemeslné výroby, dostupnosti surovin a individuálního přetváření jednotlivých zděděných praktik. Dále předpokládá, že směna těchto předmětů se na větší vzdálenosti neuplatňovala, i když vlastní surovina byla opatřována ze vzdálených zdrojů.

Ing. Zeman dále uvádí, že středověký kovář byl schopen rozlišovat kvalitu zpracovávaného železa-oceli. Takovýto kovář podle něho, věděl zejména to, že kalením lze dosáhnout vysoké tvrdosti a pevnosti, znal postup kovářského svařování a pravděpodobně také postupy difúzního nauhličování, které umožňuje lokální zakalení a zpevnění povrchu.

Ocel s vyšším obsahem uhlíku, která se dala zakalit, se používala na řezné a sečné nástroje, např.: nože, srpy, břity seker apod. Sekundárně zpracovávaného materiálu se užívalo k výrobě či opravám drobných předmětů, např.: hřebů, klínů, podkov, kování vozů apod.

Nyní se budu věnovat podrobnějšímu popisu jednotlivých artefaktů z vybraných vzorků v souboru.

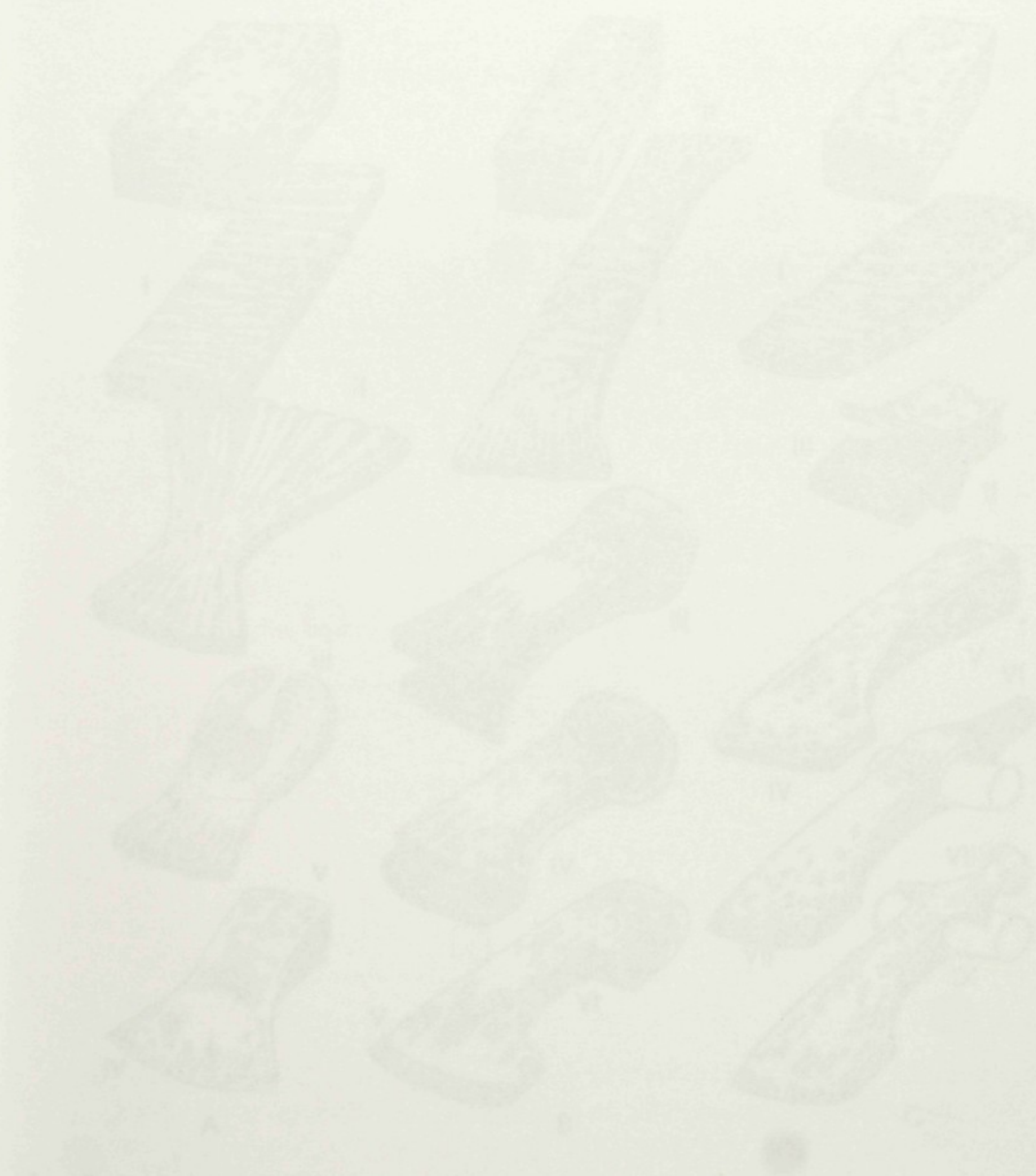
Nůž byl podle Ing. Zemana vyroben z oceli obohacené uhlíkem s koncentrací blízkou eutektoidnímu složení (0,6 – 0,7 % C). Materiál byl kalen a následně popouštěn, čímž vznikla tvrdá sorbitická struktura s tvrdostí 500 – 600 HM50. Po provedení dalších pokusů a analýz konstatoval Ing. Zeman, že materiál nože je až na drobné lokální změny mikrostruktury v podstatě stejnorodý. Po rentgenové spektrální energiově disperzní analýze, která potvrdila přítomnost a množství křemíku, síry a fosforu, konstatoval Ing. Zeman, že použitý materiál je velmi čistý, pokud se neberou v úvahu četné drobné a relativně rovnoměrně rozložené oxidy železa.

Dalším artefaktem byl srp, jehož břit byl analyzován na příčném řezu. Vlastní břit byl zhotoven z nauhličeného materiálu a tělo srpu z materiálu čistě feritického. Vzhledem k rozsáhlé korozi nemohl Ing. Zeman s jistotou určit, zda cementace břitu proběhla před nebo až po nakování uhlíkové ocele na železné feritické jádro srpu.

Patrně nejzajímavějším kusem byla sekera, z jejíž makrostruktury Ing. Zeman zjistil, že její břit byl zhotoven postupným rozkováním hranolu (plátu) a že se v tomto případě jednalo o kovářské spojení oceli s přibližně eutektoidní koncentrací uhlíku v místě břitu o síle asi 1 mm, s ocelí těla sekery s podstatně nižším obsahem uhlíku. Sekera byla podle Ing. Zemana zakalena a tím vzniklo měkké houževnaté jádro a pevný a tvrdý břit. Na rozhraní mezi těmito vrstvami byla vrstva oxidů železa. Ing. Zeman však zjistil, že vzhledem k mikrostruktuře materiálu sekery nelze tvrdit, že došlo k zakalení resp. Popouštění. Ta byla totiž tvořena lamelárním perlitem a feritem. Tato struktura vzniká poměrně rychlým ochlazením na vzduchu po kování za tepla nebo případně i při následném ohřevu do oblasti teplot nad 800 °C a obdobným rychlejším chladnutím. Z těchto důvodů nelze podle Ing. Zemana vyloučit, že takovýto ohřev nastal při požáru v místě nálezu a ani to, že sekera byla po kování za tepla zakalena.

Břítva měla strukturu poněkud odlišnější. Jednalo se o zrna perlitu a feritu, která byla rovnoměrně rozmístěna až do vzdálenosti 4,5 až 5 mm od břitu. Ing. Zeman dále zjistil, že tato vrstva pozvolna přechází do čistě feritické části průřezu s velmi hrubozrnou strukturou. Podle Ing. Zemana je velmi pravděpodobné, že uhlíková ocel byla nakována na jádro z čistého železa, protože získané poznatky ho neopravňovaly k tvrzení, že v tomto případě bylo aplikováno lokální nauhličení. Dále zjistil, že makrostruktura neměla žádné znaky zakalení ani popouštění.

Posledním důležitým artefaktem byla ostruha. Ta stejně jako většina předešlých historických předmětů obsahovala znaky kovářského spojení dvou kvalitativně odlišných materiálů. Tento spoj byl podle Ing. Zemana velmi dobře patrný zejména díky četné přítomnosti oxidů železa. V oblasti s výšeuhlíkovou ocelovou strukturou byla mikrostruktura převážně perlitická se znaky sferoidizace cementitu. To bylo podle Ing. Zemana následkem sekundárního ohřevu a pomalého ochlazování. V místě kovářského spojení zaznamenal oduhličnění, které bylo patrné ze strany uhlíkové oceli a dále také redistribuci uhlíku přes rozhraní, jež byla dokumentovaná výskytem globulí cementitu na hranicích feritických zrn na opačné hraně spoje.

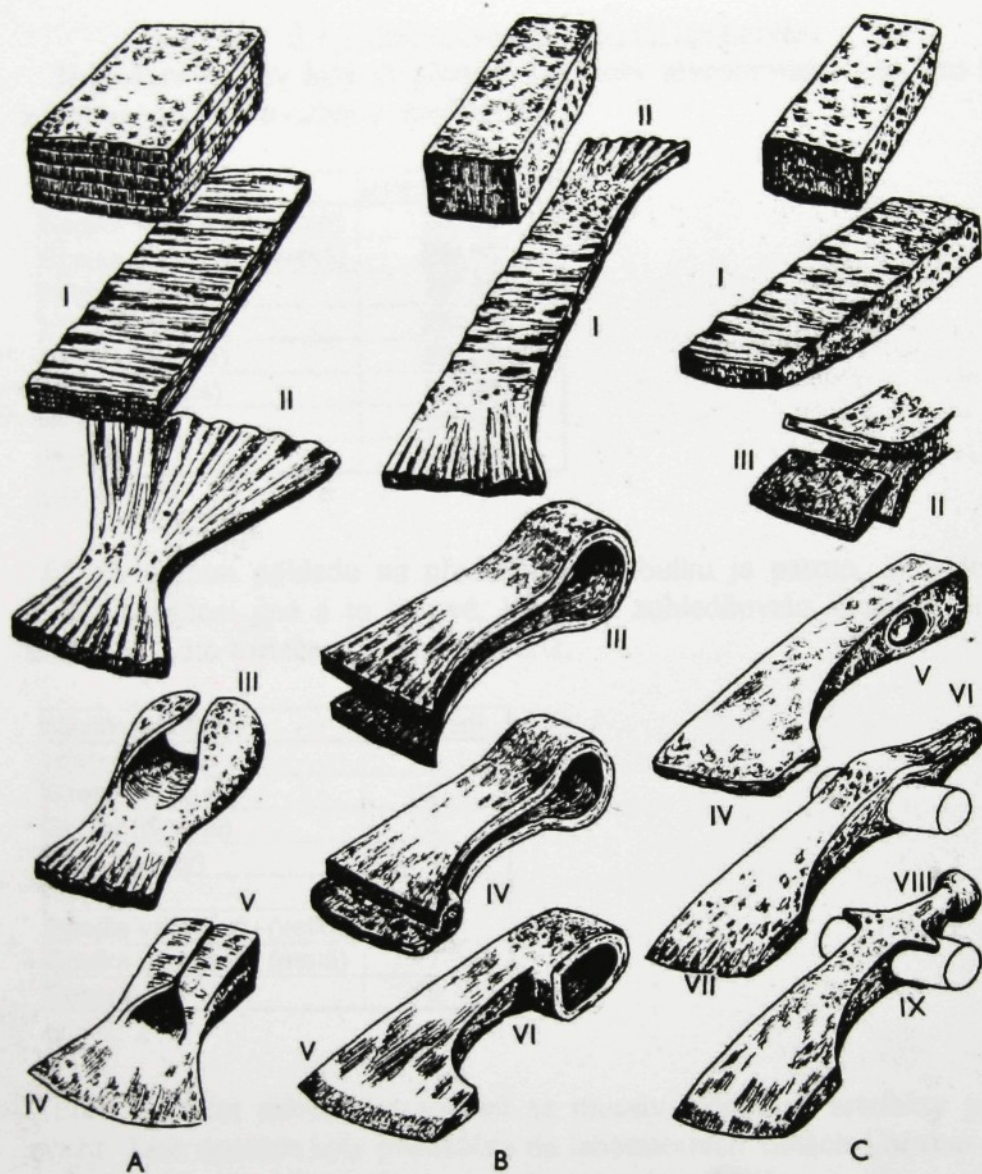


K obrázku č. 9:

Polus a nakovaní vpravo: A - sekce B - tulejovitá laděná sekce, vzor
 Střední, B - přehrána čerstvé ocelové struktury s ocelovým klemem, C - přehrána čerstvé
 ocelové struktury (mrtvá struktura) s ocelovým klemem nebo bez něho. (podle Plomera)

2.7 Ukázka výroby seker

Protože sledovaný soubor artefaktů obsahuje také sekeru, která je pravděpodobně nejcennější ze všech předmětů, uvádím na této stránce obrázek, který se objevil v knize „Staré evropské kovářství“ Radomíra Pleinera [4]. Obrázek demonstruje nejpravděpodobnější fáze při postupu výroby tří typů seker, přičemž typ B je nejpodobnější sekeře, která je zkoumána v této práci.



obr.: 9

K obrázku č. 9:

Pokus o rekonstrukci výrobního postupu u seker: A - tulejovitá latéská sekera, vzor Stradonice, B - přehýbaná časně středověká širočina s ocelovým klínem, C - probíjený časně středověký čakan (moravská bradatice) s ocelovým klínem nebo bez něho. (podle Pleinera)

3. Experimentální část

3.1 Metalografický rozbor

Nyní bych se rád zmínil o postupu provádění metalografické analýzy souboru vzorků, které byly nalezeny v měšťanských domech v Chrudimi. Celý postup je shrnut v následujících bodech.

3.1.1 Získání vzorků a jejich zpracování

Jednotlivé vzorky byly již předem označeny inventárními čísly. Pro úplnost zde toto označení uvádím v tabulce č. 1.

Název předmětu	Inventární číslo
Spojka vodovodu (malá)	26/ 96
Spojka vodovodu (velká)	26/ 96
Hřeb (dlouhý)	26/ 96
Hřeb (krátký)	26/ 96
Skoba (dlouhá)	26/ 96
Skoba (krátká)	26/ 96
Nůž	26/ 96
Sekera	2629/96

tab. č. 1

Již při prvním pohledu na předcházející tabulku je patrné, že bylo nutno zavést označení jiné a to takové, které by zohledňovalo všechny jednotlivé artefakty. Toto označení je v tabulce č. 2.

Název předmětu	Označení
Hřeb (dlouhý)	1
Skoba (krátká)	2
Skoba (dlouhá)	3
Hřeb (krátký)	4
Nůž	5
Spojka vodovodu (velká)	6
Spojka vodovodu (malá)	7
Sekera	8

tab. č. 2

Před vlastním odebráním vzorků se musely jednotlivé artefakty postupně zvážet. Tato operace byla prováděna na laboratorních vahách *Chirana* / 1,25 - 500 g / inv. č. 15420. S tímto zařízením lze dosáhnout přesnosti 0,1 g. Předměty menších rozměrů byly zváženy též na laboratorních vahách *Laberté LB - 1050/2, max. 200g, min. 50mg* s přesností na 1mg. Získané hodnoty jsem bral pouze jako orientační a kontrolní. Z tohoto důvodu v tabulkách uvádím pouze hodnoty hmotnosti získané na vahách *Chirana*.

Po zvážení všech historických exponátů se mohlo přistoupit k vlastnímu vyříznutí vzorků. Vzhledem k tomu, že všechny artefakty byly značně zasaženy korozi, musely se vzorky odebírat na takových místech, aby nedošlo k celkové destrukci jednotlivých předmětů. Z hlediska zachování původní struktury bylo také nutné vyvarovat se tepelnému ovlivnění vzorků při řezání. Vzorky z obou skob, hřebů a z nože byly odříznuty na speciálním rozbrušovacím stroji firmy MTH opatřeném kapalinovým chlazením. V případě kruhových spojek potrubí a sekery bylo nutné použít pilku na kov, kde se dbalo na stejné zásady.

Takto získané vzorky byly zality dentakrylem do plastových objímek. Ve třech případech (hřeb silný, obě skoby) jsem k zalévání použil tlakový stroj Buehler - simplimet 2.

Zalité vzorky byly připraveny k broušení na brousících kotoučích, které se vzájemně lišily svou zrnitostí, viz tab. 1. Na tyto kotouče byla neustále přiváděna voda, jež odplavovala částechky vydrolené během broušení.

KOTOUČ	ZRNITOST
brusný papír AW - C	P - 120
brusný papír AW - C	P - 280
brusný papír F 29	P - 400
brusný papír F 17	P - 600
brusný papír Grit 600	P - 1200
brusný papír WS Flex Hermes	P - 2000

tab. 3

Po vybroušení vzorku na brusném papíru o zrnitosti 2000 se mohlo začít leštit. Leštění se provádělo na kotouči potaženém tkaninou, na kterou jsem nanášel diamantovou pastu. Vzorek jsem musel nejprve pečlivě opláchnout ve vodě a v technickém lihu. Teprve potom bylo možné začít s leštěním na leštícím kotouči a dosáhnout tak požadované kvality povrchu vzorku.

3.1.2 Metalografické vyhodnocení a měření tvrdosti

Velikost a tvar vměstků popisuje norma ČSN 42 0471 **[19]**, která je však pro naše potřeby nevhodná, protože sledované vměstky této normě neodpovídají ani tvarem, velikostí a ani svým rozložením. Z tohoto důvodu jsem použil speciálně zhotovenou tabulku, kterou jako první sestavila Jana Umlafová pro svou práci **[9]** a která se objevila v upravené podobě také v práci Martina Kužela **[8]**.

Tvar / velikost (mm)	Malá	Střední	Velká
Nepravidelný	x = 0 - 0,064	x = 0,065 - 0,119	x = 0,120 a větší
	y = 0 - 0,019	y = 0,020 - 0,049	y = 0,050 a větší
Nitkovitý	x = 0 - 0,050	x = 0,060 - 0,349	x = 0,350 a větší
	y = 0 - 0,005	y = 0,006 - 0,009	y = 0,010 a větší
Globulární	D = 0 - 0,005	D = 0,006 - 0,009	D = 0,010 a větší

tab. č. 4

Velikost zrn jsem vyhodnocoval podle normy ČSN 42 0462 **[18]** srovnávací metodou. Feritické struktury jsem srovnával podle listu A, perlitické podle listu B a feriticko - perlitické podle listu D. Daná norma však pro vyhodnocování velikosti zrn u podobných struktur není zcela vhodná, a proto mohou být některé hodnoty zkreslené.

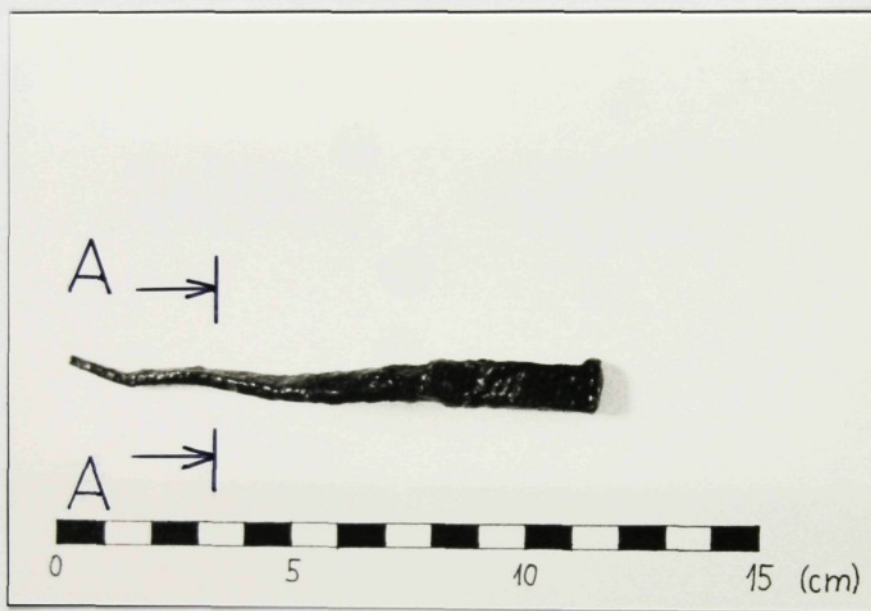
Měření tvrdosti jsem prováděl na mikrotvrdoměru ZWICK 3212. Vnikací tělísko bylo zatíženo konstantní hmotností 0,2 kg. Měření tvrdosti na zkoumaných vzorcích jsou zobrazena na obrázcích č.: 53 - 62.

U většiny vzorků byla též provedena chemická analýza spalovací metodou na přístroji LECO - 244 CS. Touto analýzou byly stanoveny procentuální obsahy uhlíku a síry ve zkoumaných předmětech. Získané informace byly u některých vzorků v rozporu s nalezenou strukturou, a proto bylo přistoupeno k vyhodnocení pomocí Metalografických tabulek Vladimíra Košeleva **[20]**.

3.2 Popis jednotlivých předmětů

Předmět číslo 1

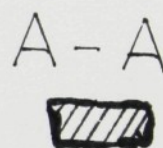
Název	Hřeb dlouhý	
Rozměry	tloušťka (mm)	4
	šířka (mm)	7
	délka (mm)	115
Hmotnost (g)	20,5	
Obrázek č.	10 ; 11	



Obr.č.: 10

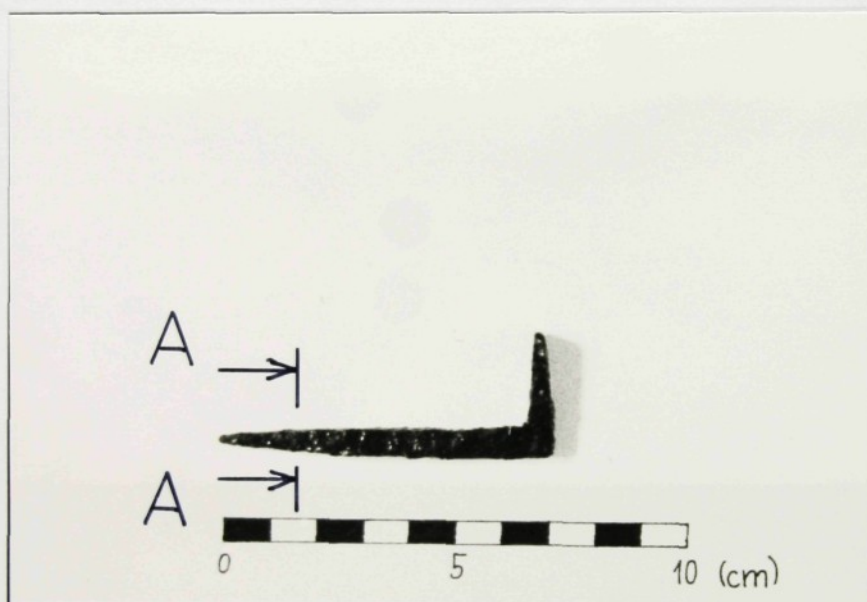


Obr.č.: 11



Předmět číslo 2

Název	Skoba krátká	
Rozměry	tloušťka (mm)	5
	šířka (mm)	6
	délka (mm)	70
Hmotnost (g)	13,9	
Obrázek č.	12	



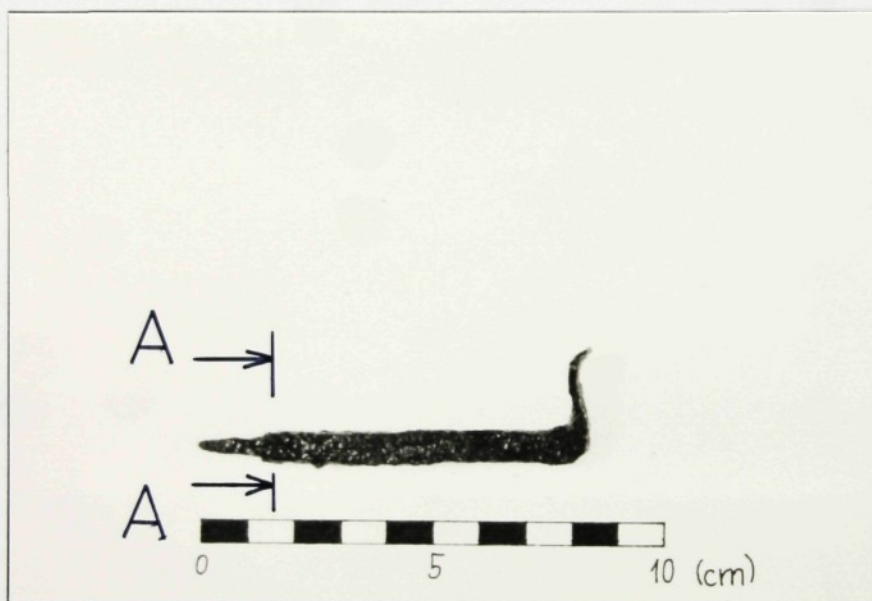
Obr.č.: 12

A-A



Předmět číslo 3

Název	Skoba dlouhá	
Rozměry	tloušťka (mm)	5
	šířka (mm)	7
	délka (mm)	85
Hmotnost (g)	17,35	
Obrázek č.	13	

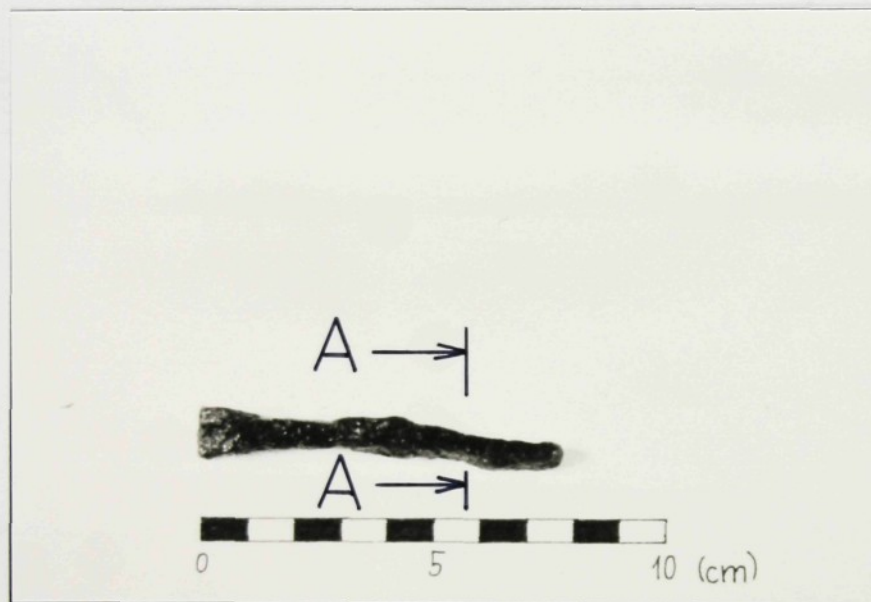


Obr.č.: 13

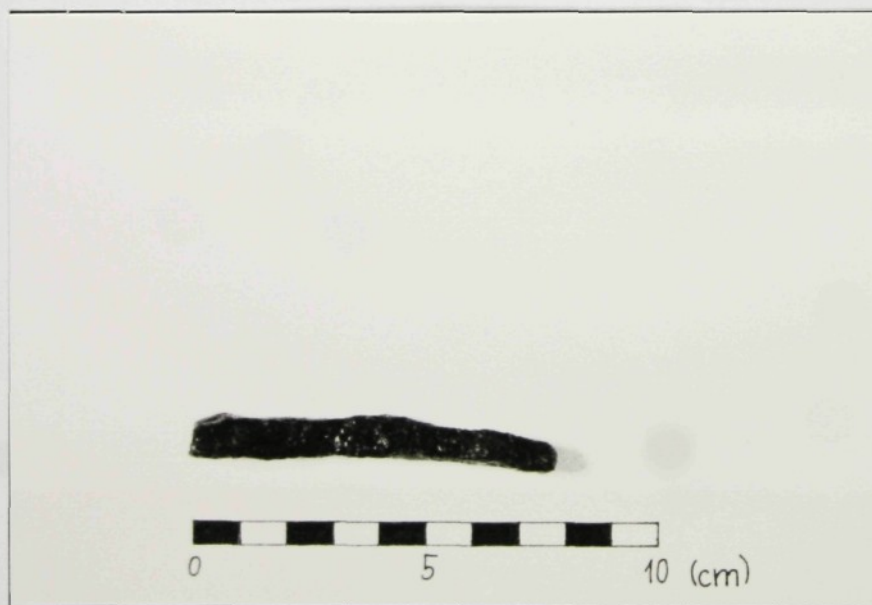


Předmět číslo 4

Název	Hřeb krátký	
Rozměry	tloušťka (mm)	7
	šířka (mm)	4
	délka (mm)	78
Hmotnost (g)	19,4	
Obrázek č.	14 ; 15	



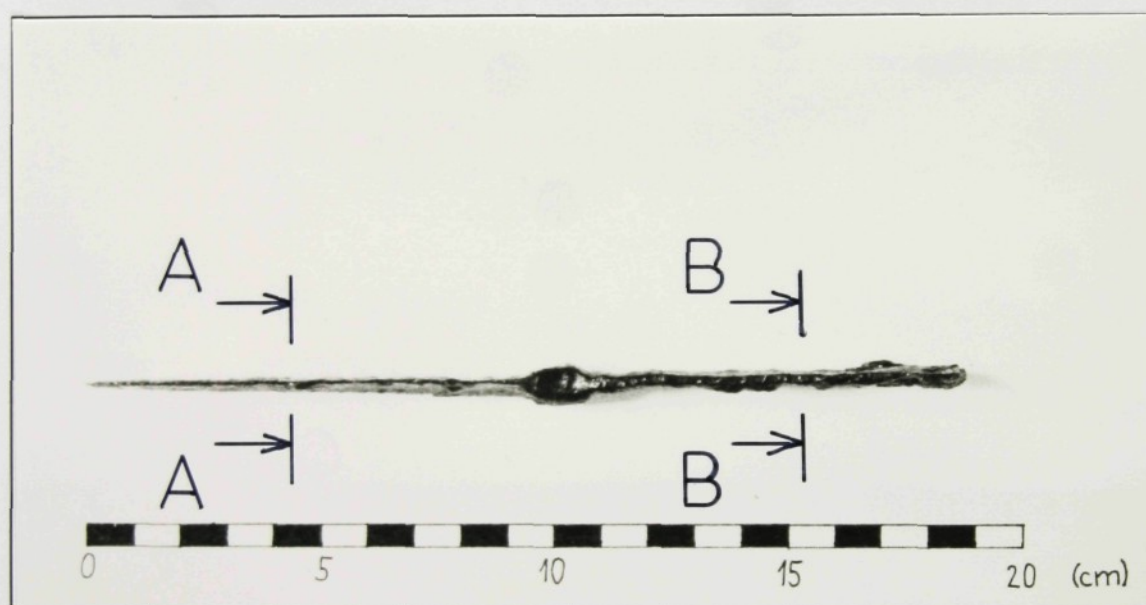
Obr.č.: 14



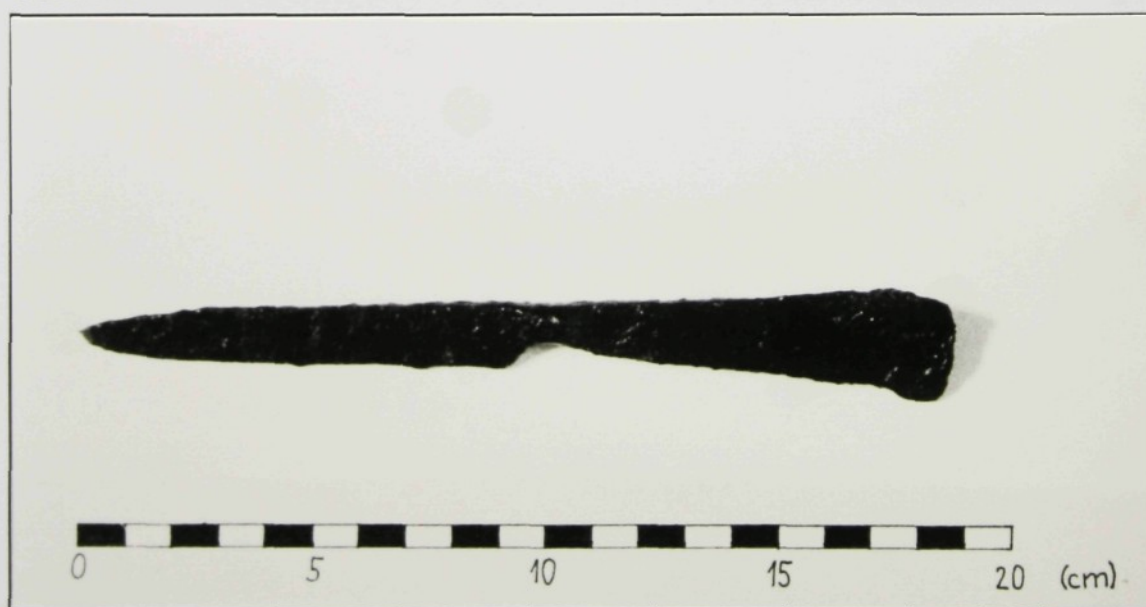
Obr.č.: 15

Předmět číslo 5

Název	Nůž		
Rozměry	Břit	tloušťka (mm)	14
		šířka (mm)	3,5
	Tulej	tloušťka (mm)	20
		šířka (mm)	2
	délka (mm)		187
Hmotnost (g)	38,3		
Obrázek č.	16 ; 17		

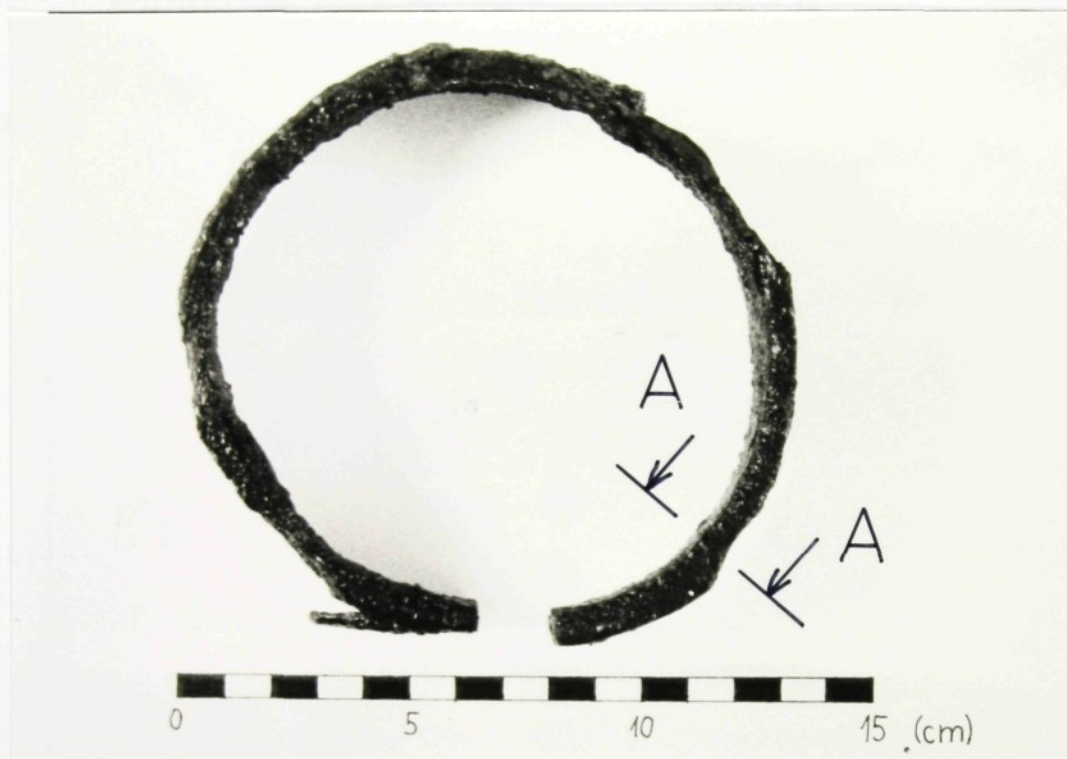


Obr.č.: 16

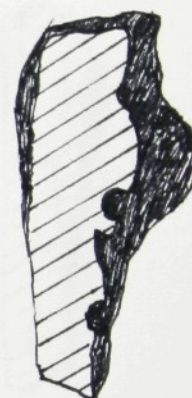


Obr.č.: 17

Název	Spojka vodovodu (velká)		
Rozměry	tloušťka (mm)		30
	Průměr	vnitřní (mm)	115
		vnější (mm)	130
Hmotnost (g)	290,9		
Obrázek č.	18 ; 19		



A - A

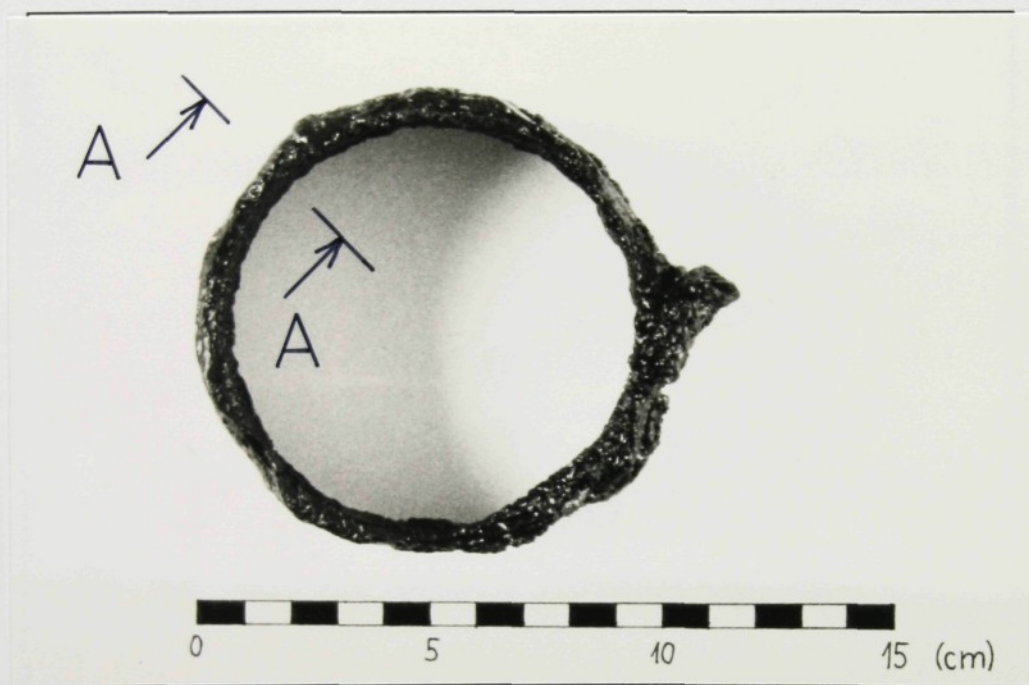


Obr.č.: 18



Obr.č.: 19

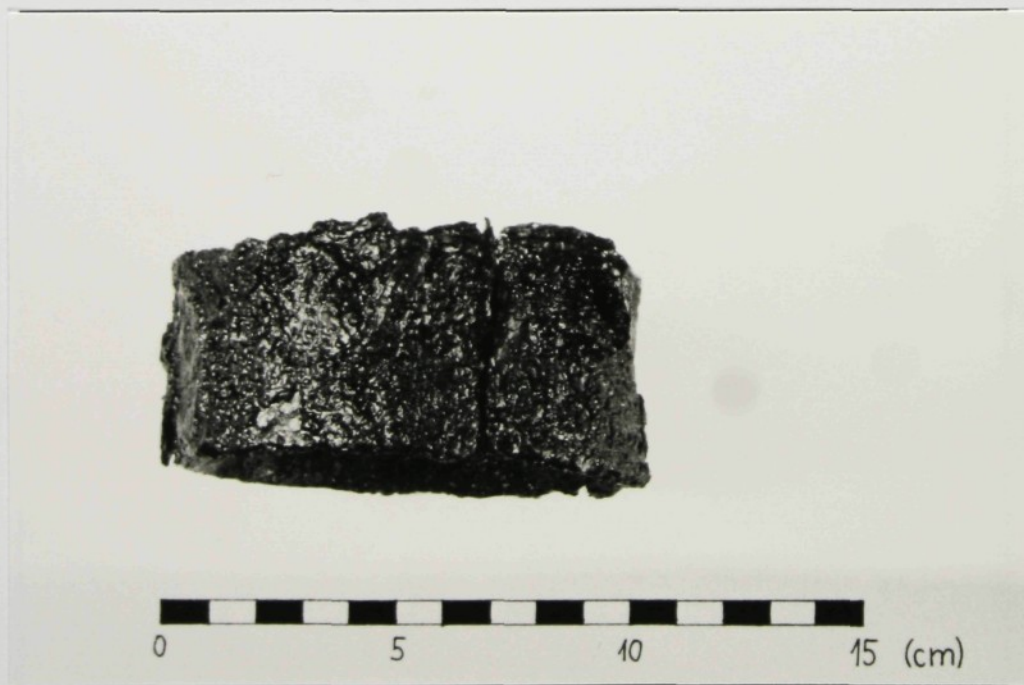
Název	Spojka vodovodu (malá)		
Rozměry	tloušťka (mm)		42
	Průměr	vnitřní (mm)	86
		vnější (mm)	100
Hmotnost (g)	325,3		
Obrázek č.	20 ; 21		



A - A

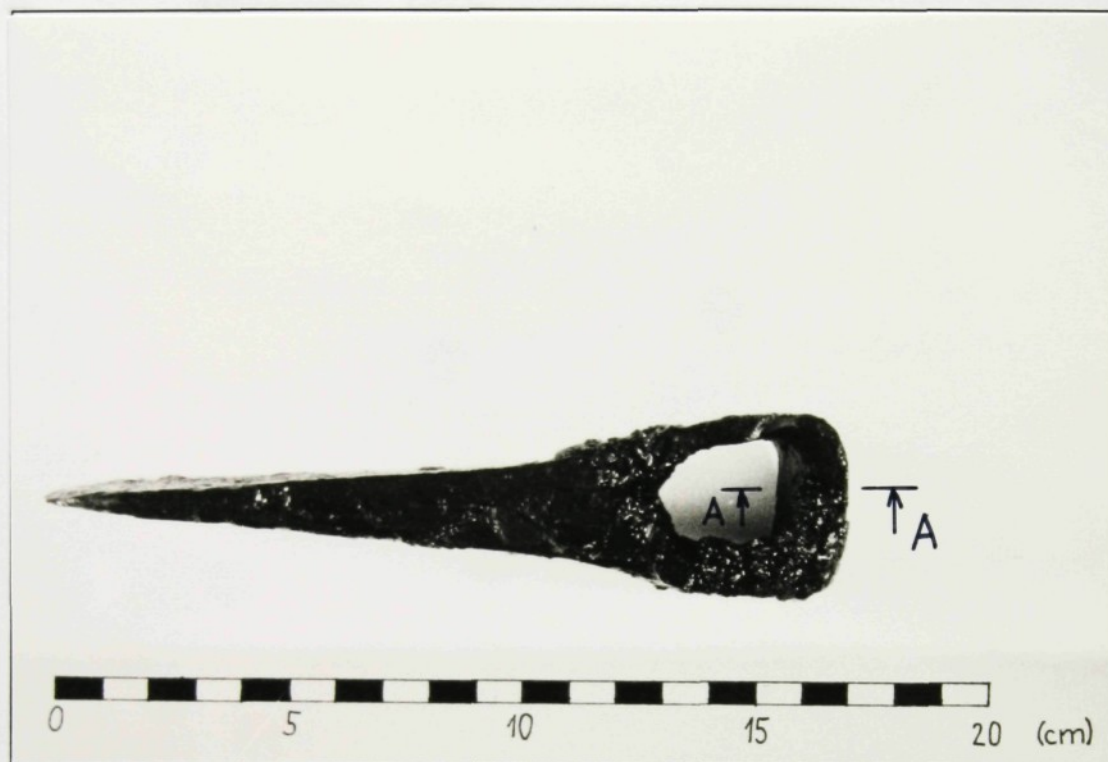


Obr.č.: 20



Obr.č.: 21

Název	Sekera		
Rozměry	Břit	tloušťka (mm)	4
		délka (mm)	57
	Tulej	dutina (mm)	26 x 33
		vnější část (mm)	38 x 42
	délka (mm)		170
Hmotnost (g)	414,4		
Obrázek č.	22 ; 23		



A - A



Obr.č.: 22



B - B



Obr.č.: 23

3.3 Výsledky rozboru

Předmět č.1 - Hřeb "dlouhý"

1. Metalografický rozbor

Předmět č. 1				
Vměstky				
Výbrus	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.:
Příčný	Nepravidelný	Střední		
	Nitkovitý	Střední	V pásech - kolmo ke směru tváření	24
	Globulární	Malá	Sporadický výskyt	

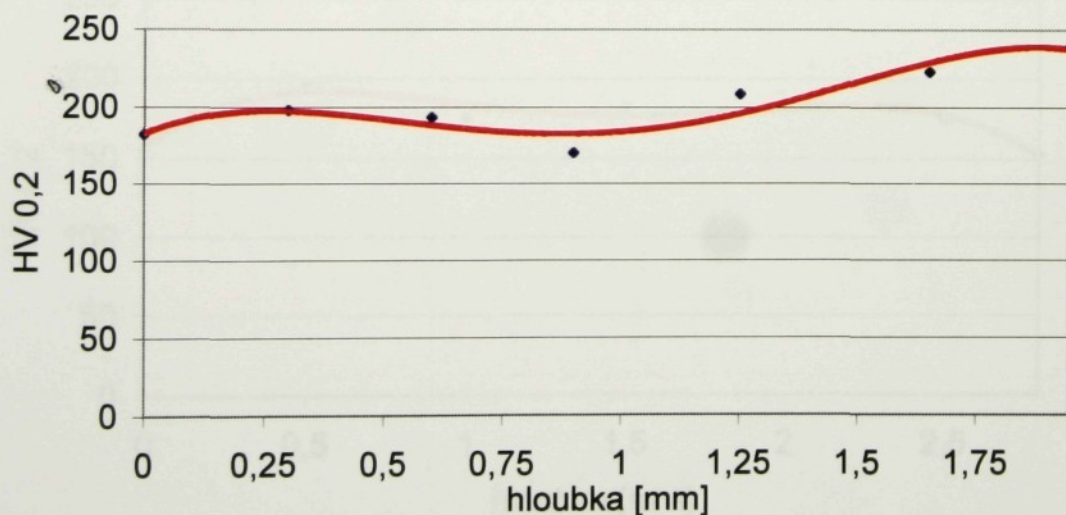
Předmět č. 1						
Základní matrice						
Výbrus	Struktura	Zastoupení v %	% Perlitu	Velikost zrna	Poznámka	Obr.č.:
Příčný	Ferit.perlitická	1	90	8	Výskyt při okraji	
	Ferit	99		5	Uprostřed výbrusu perlit na hranicích zrn	34

2. Mechanické vlastnosti

Tvrdość (HV 0,2)							
Číslo měření		1	2	3	4	5	6
Měřená struktura	Ferit.perlitická	239,9					
	Feritická	182,4	198,4	193,5	170,2	208,8	223,2
Střední hodnota	Ferit.perlitická	239,9					
	Feritická	196,08					

3. Chemické složení pouze informativně (podle Košeleva)

Předmět č. 1	
Chemický prvek	zastoupení v %
Uhlík	pod cca 0,1



Předmět č.2 - Skoba "krátká"

1. Metalografický rozbor

Předmět č. 2		Vměstky		
Výbrus	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.:
Příčný	Nepravidelný	Střední	Výskyt nezávislý	25
	Nitkovitý	Malá	na směru tváření	
	Globulární	Velká		

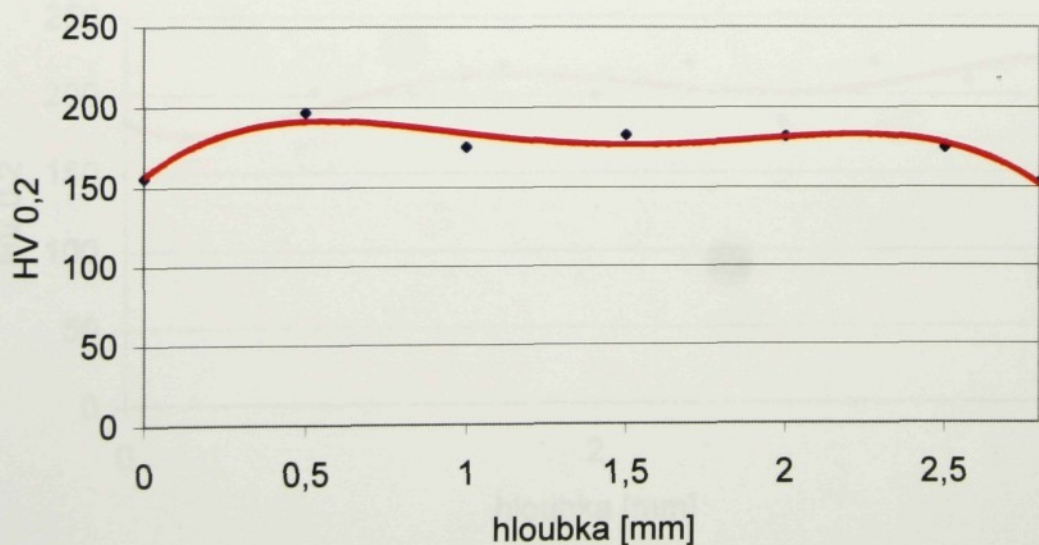
Předmět č. 2		Základní matrice				
Výbrus	Struktura	Zastoupení v %	% Perlitu	Velikost zrna	Poznámka	Obr.č.:
Příčný	rozpadlá	100	40	10	Výskyt v celém průřezu vzorku	35
	Ferit.perlitická					

2. Mechanické vlastnosti

		Tvrdost (HV 0,2)						
Číslo měření		1	2	3	4	5	6	7
Měřená struktura	Ferit.perlitická	155,9	197,4	175,8	183,2	182	175,4	153,2
Střední hodnota	Ferit.perlitická	152,81						

3. Chemické složení pouze informativně (LECO 244 CS)

Předmět č. 2	
Chemický prvek	zastoupení v %
Uhlík	0,57
Síra	0,021



Předmět č.3 - Skoba "dlouhá"

1. Metalografický rozbor

Předmět č. 3				
Vměstky				
Výbrus	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.:
Příčný	Nepravidelný	Velká	Výskyt náhodný	26
	Globulární	Velká	Ve shlucích prostupuje materiál příčně i podélně	

Předmět č. 3						
Základní matrice						
Výbrus	Struktura	Zastoupení v %	% Perlitu	Velikost zrna	Poznámka	Obr.č.:
Příčný	rozpadlá Ferit.perlitická	100	30	9 - 10	Při okrajích jsou zrna jemnější	36 ; 37

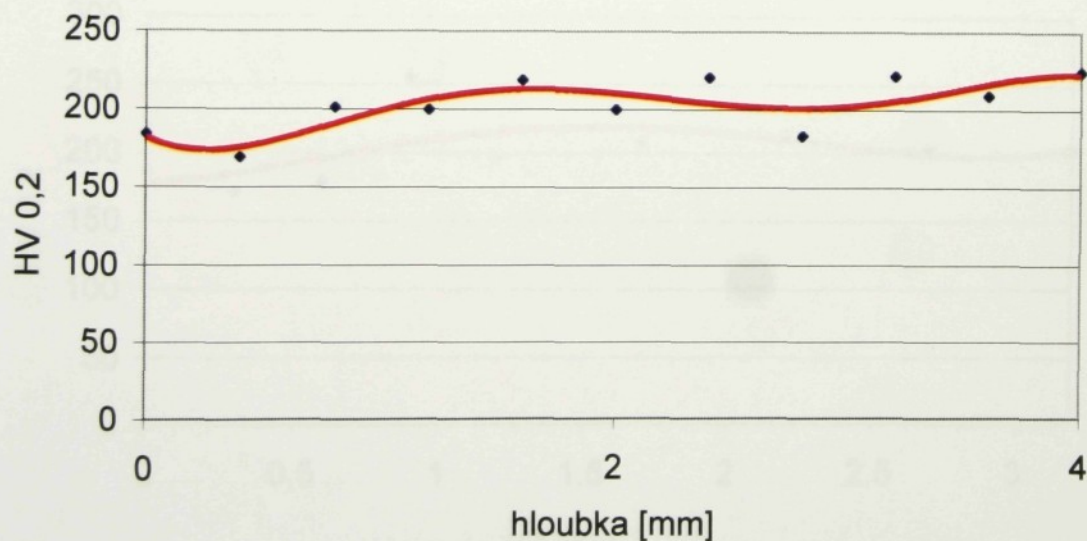
2. Mechanické vlastnosti

Tvrdost (HV 0,2)							
Číslo měření		1	2	3	4	5	6
Měřená struktura	Ferit.perlitická	184,8	169,5	201,2	199,8	218,7	199,9

Tvrdost (HV 0,2)						
Číslo měření		7	8	9	10	11
Měřená struktura	Ferit.perlitická	220,5	183,4	221,6	209,2	224,6
Střední hodnota		203,02				

3. Chemické složení pouze informativně (LECO 244 CS)

Předmět č. 3	
Chemický prvek	zastoupení v %
Uhlík	0,41
Síra	0,051



Předmět č.4 - Hřeb "krátký"

1. Metalografický rozbor

Předmět č. 4		Vměstky		
Výbrus	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.:
Příčný	Nepravidelný	Střední	Výskyt ve shlucích	27
	Globulární	Malá		

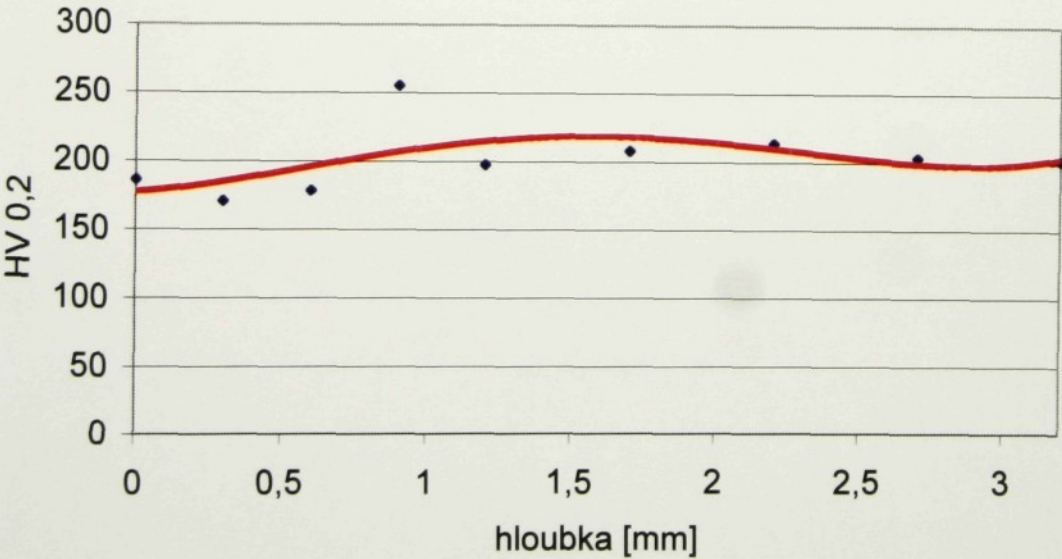
Předmět č. 4		Základní matrice				
Výbrus	Struktura	Zastoupení v %	% Perlitu	Velikost zrna	Poznámka	Obr.č.:
Příčný	rozpadlá	45	35	10	Uvnitř vzorku	38;39;40
	Ferit.perlitická					
	Feritická	55		4	Při vnějších hranách	

2. Mechanické vlastnosti

Tvrdość (HV 0,2)						
Číslo měření		1	2	3	4	5
Měřená struktura	Ferit.perlitická	186,2	170,8	255,2	208	213,8
	Feritická	178,5	197,7	203,6	202,1	
Střední hodnota	Ferit.perlitická	206,8				
	Feritická	130,32				

3. Chemické složení pouze informativně (LECO 244 CS)

Předmět č. 4	
Chemický prvek	zastoupení v %
Uhlík	/0,68/
Síra	0,021



Vzorek č.5 - Nůž

1. Metalografický rozbor

Předmět č. 5		Vměstky		
Výbrus	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.:
Břit	Nepravidelný	Malá	Výskyt v pásech	28
	Nitkovitý	Střední	kolmo ke směru tváření	
	Globulární	Malá	Ojedinelý výskyt u povrchu	
Tulej	Nepravidelný	Střední	Výskyt v pásech	29
	Nitkovitý	Střední	kolmo na směr tváření	

Předmět č. 5		Základní matrice				
Výbrus	Struktura	Zastoupení v %	% Perlitu	Velikost zrna	Poznámka	Obr.č.:
Břit	Perliticko-feritická	100	80	10	Směrem ke konci	41;42
Tulej	Feriticko-perlitická	100	15	9	Perlit po harnicích zrn	43

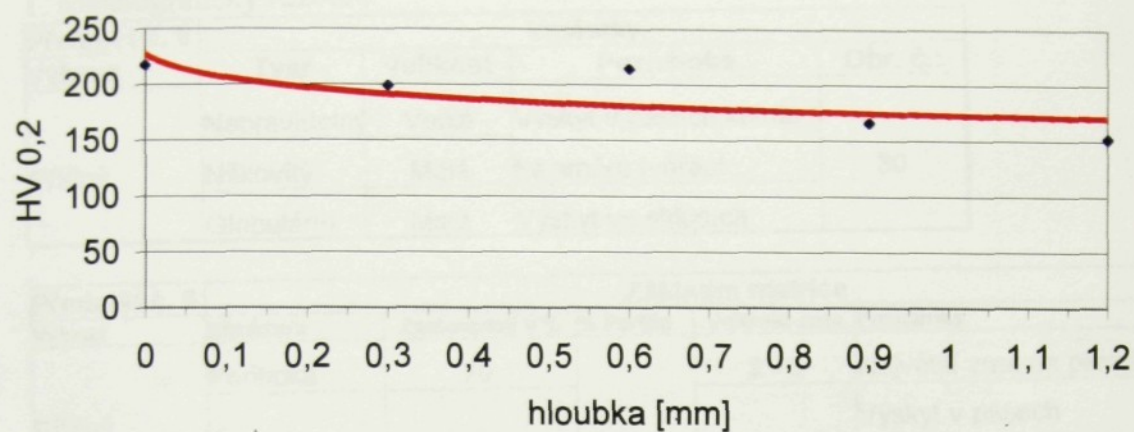
2. Mechanické vlastnosti

		Tvrdost (HV 0,2)						
Číslo měření		1	2	3	4	5	6	7
Měřená struktura	Příčně	Perlit.feritická	217,5	199	214,5	165	151,7	
	Podélně	Perliticko-feritická	177,7	170,2	157,3	151,4	144,8	149
			219,1	219,2	190,9	205	211,4	207,4
	Tulej	Ferit.perlitická	130,6	150,7	123,1	131,5	127	
Střední hodnota		Perlitická	183,71					
		Ferit.perlitická	132,58					

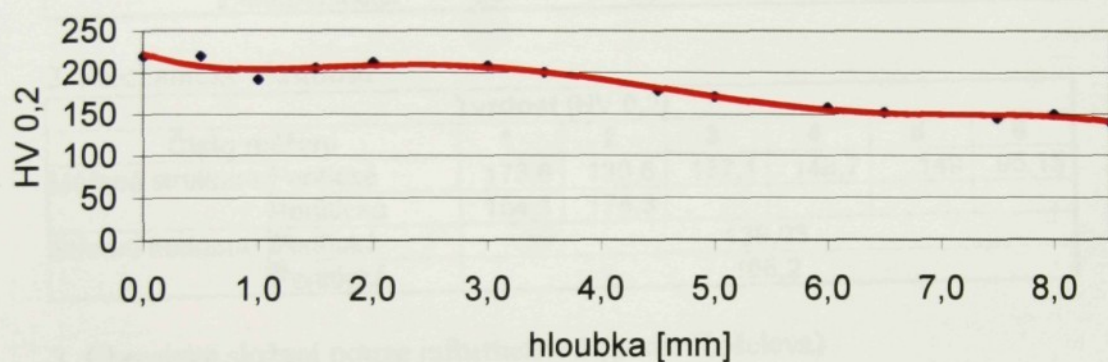
3. Chemické složení pouze informativně (podle Košeleva)

Předmět č. 5		
Výbrus	Chemický prvek	zastoupení v %
Břit	Uhlík	cca 0,5
Tulej	Uhlík	do cca 0,1

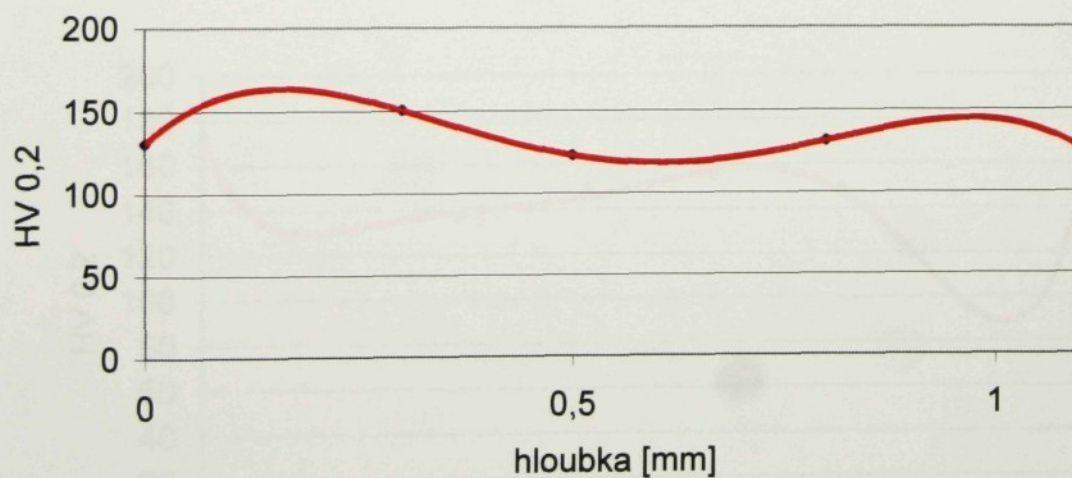
Příčný průběh tvrdosti předmětu č.5 - břit



Podélný průběh tvrdosti předmětu č.5 - břit



Průběh tvrdosti předmětu č.5 - tulej



Předmět č.6 - Spojka vodovodu "velká"

1. Metalografický rozbor

Předmět č. 6		Vměstky		
Výbrus	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.:
Příčný	Nepravidelný	Velká	Výskyt v pásech kolmo	30
	Nitkovitý	Malá	ke směru tváření	
	Globulární	Malá	Výskyt ve shlucích	

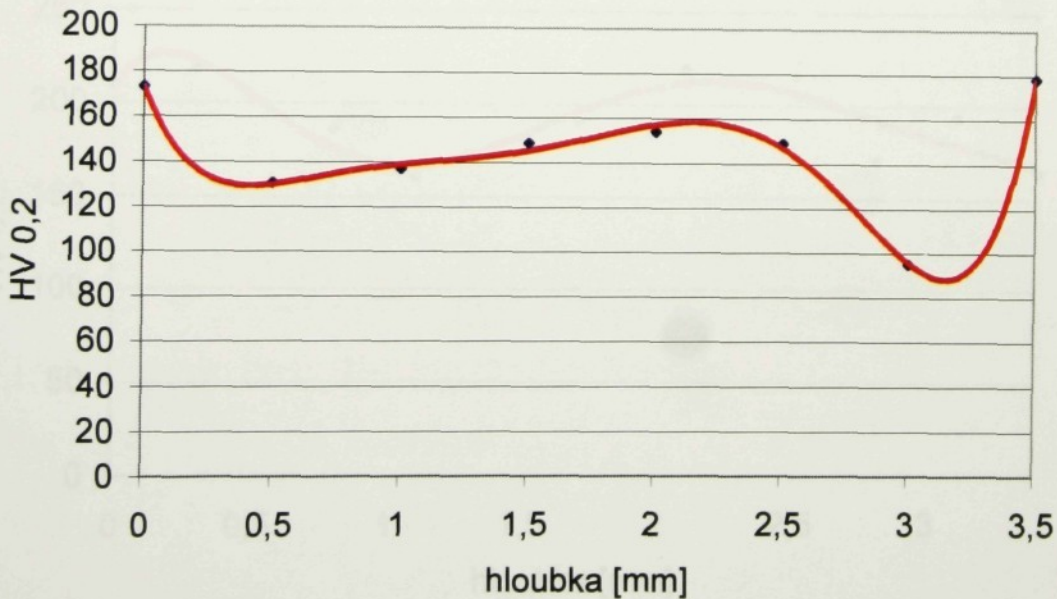
Předmět č. 6		Základní matrice				
Výbrus	Struktura	Zastoupení v %	% Perlitu	Velikost zrna	Poznámka	Obr.č.:
Příčný	Feritická	70		2 - 5	Největší zrna na okrajích	44;45
	Perlitická	10		10	Výskyt v pásech uprostřed vzorku, kolmo ke směru tváření	
	Ferit.perlitická	20		7	Výsky podél pásů	

2. Mechanické vlastnosti

		Tvrdost (HV 0,2)					
Číslo měření		1	2	3	4	5	6
Měřená struktura	Feritická	173,6	130,6	137,1	148,7	149	95,15
	Perlitická	154,1	178,3				
Střední hodnota	Feritická	139,03					
	Perlitická	166,2					

3. Chemické složení pouze informativně (podle Košeleva)

Předmět č. 6	
Chemický prvek	zastoupení v %
Uhlík	cca 0,2



Předmět č.7 - Spojka vodovodu "malá"

1. Metalografický rozbor

Předmět č. 7		Vměstky		
Výbrus	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.:
Příčný	Nepravidelný	Velká	Výskyt v pásech kolmo	31
	Nitkovitý	Střední	ke směru tváření	
	Globulární	Střední	Výskyt v pásech se směrovou orientací kolmo na směr tváření	

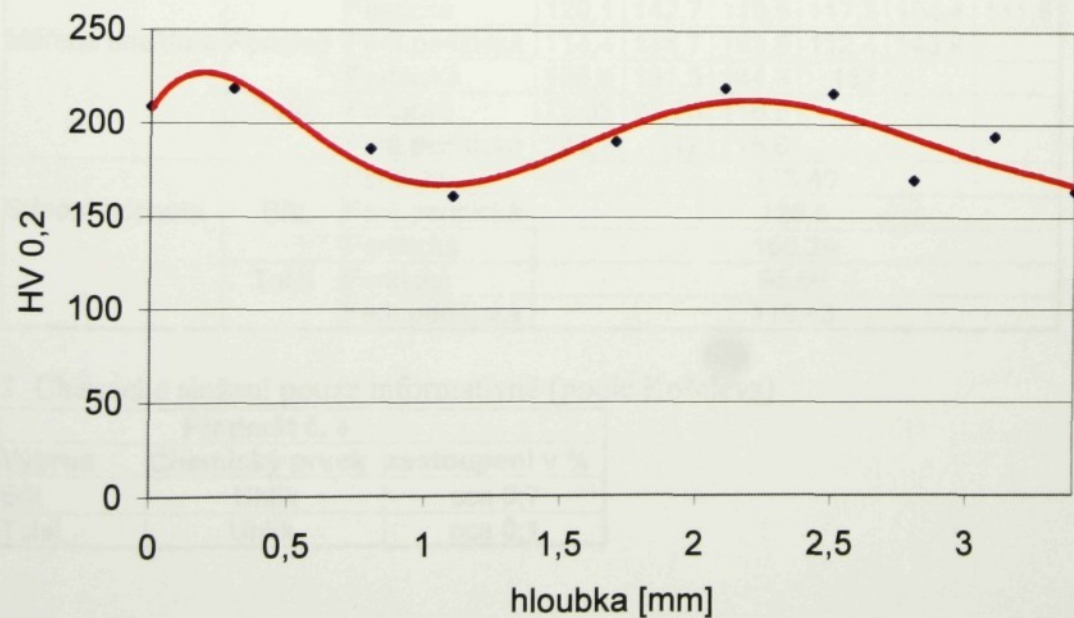
Předmět č. 7		Základní matrice				
Výbrus	Struktura	Zastoupení v %	% Perlitu	Velikost zrna	Poznámka	Obr.č.:
Příčný	Feritická	70		4	Nevýrazné hranice zrn	46;47
	Perliticko-feritická	30	20	10	Pás při jedné straně	

2. Mechanické vlastnosti

		Tvrdość (HV 0,2)							
Číslo měření		1	2	3	4	5	6	7	8
Měřená struktura	Feritická	186,5	161,1	190,6	219,5	216,8	170	193,8	163,9
	Perlit.feritická	209	218,5						
Střední hodnota	Feritická	187,78							
	Perlit.feritická	213,75							

3. Chemické složení pouze informativní (podle Košeleva)

Předmět č. 7	
Chemický prvek	zastoupení v %
Uhlík	cca 0,07



Předmět č.8 - Sekera

1. Metalografický rozbor

Předmět č. 8		Vměstky		
Výbrus	Tvar	Velikost	Poznámka	Obr. č.:
Břit	Nepravidelný	Malá	Výskyt v pásech	32
	Nitkovitý	Velká	kolmo ke směru tváření	
	Globulární	Velká	Výskyt ve shlucích	
Tulej	Nepravidelný	Velký	Výskyt v pásech	33
	Nitkovitý	Velký	kolmo na směr tváření	
	Globulární	Velký		

Předmět č. 8		Základní matrice				
Výbrus	Struktura	Zastoupení v %	% Perlitu	Velikost zrna	Poznámka	Obr.č.:
Tulej	Feritická	90		2	Nezřetelné hranice zrn	48;49;50
	rozpadlá Peliticko-feritická	10	40	10	Výskyt při okrajích vzorku	
Břit	Feritická	37		5	Na jedné straně břitu	51;52
	Feriticko-perlitická	28	40	7 - 9	Pruhy mezi Feritem a Perlitem	
	Perlitická	35		3	Jeden pás při kraji, druhý uprostřed	

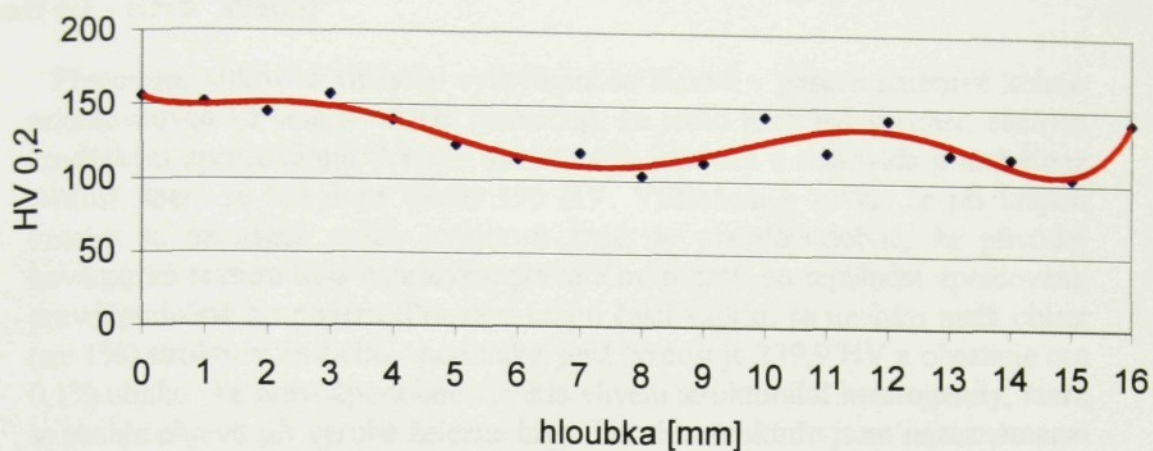
2. Mechanické vlastnosti

Tvrdost (HV 0,2)								
Číslo měření			1	2	3	4	5	6
Měřená struktura	Příčně	Feritická	107,3	108,4	104,4	100,9	101,4	94,02
		Ferit.perlitická	171,6	158	107	109		
		Perlitická	165,7	179,7	188,5	187		
	Podélně	Feritická	120,1	142,7	119,5	117,3	104,4	141,5
		Ferit.perlitická	114,4	118,7	103,5	112,4	143,9	
		Perlitická	155,6	151,5	144,9	157		
	Tulej	Feritická	72,63	97,75	116,6			
		Ferit.perlitická	129,7	112	116,6			
Střední hodnota	Břit	Feritická	113,49					
		Ferit.perlitická	126,5					
		Perlitická	166,24					
	Tulej	Feritická	95,66					
		Ferit.perlitická	119,43					

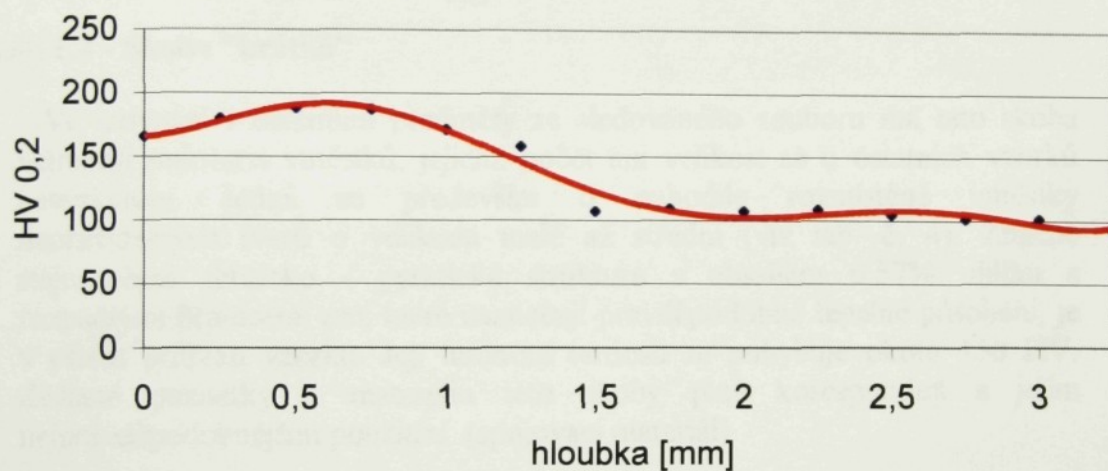
3. Chemické složení pouze informativně (podle Košeleva)

Předmět č. 8		
Výbrus	Chemický prvek	zastoupení v %
Břit	Uhlík	cca 0,7
Tulej	Uhlík	cca 0,1

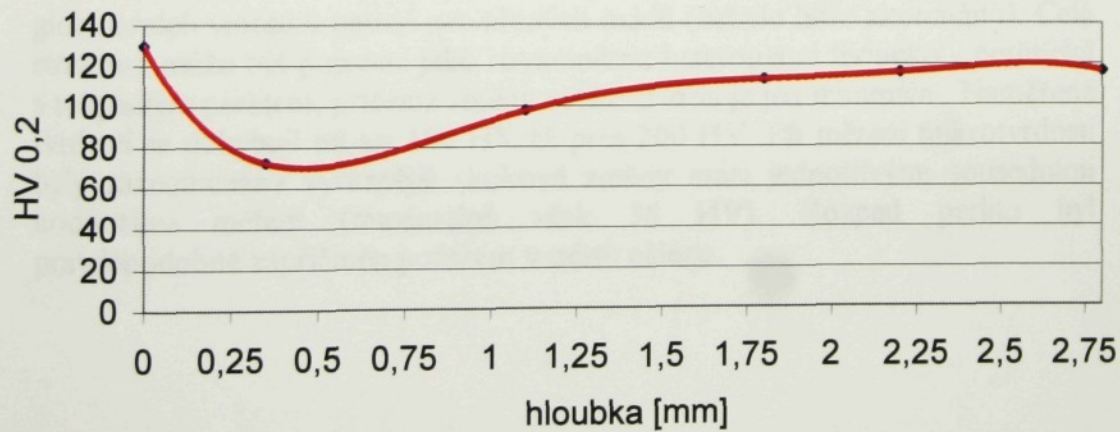
Podélný průběh tvrdosti předm. č.10 - břit



Příčný průběh tvrdosti předmětu č.10 - břit



Průběh tvrdosti předmětu č.10 - tulej



4. Diskuze výsledků

Předmět č.1 - Hřeb "dlouhý"

Především nitkovité vměstky vyskytující se hlavně v pásech směrově kolmo orientovaných ke směru tváření naznačují, že tento hřeb byl vyroben běžným kovářským zpracováním. Vnitřní struktura je feritická a odpovídá jí naměřená tvrdost, která se pohybuje okolo 190 HV. Vzhledem k tomu, že při krajích vzorku se nacházejí velká rovnoosá zrna, je pravděpodobné, že původní kovářenská textura byla nahrazena právě těmito zrny po tepelném zpracování, pravděpodobně po požáru. Pouze v krajní části vzorku se nachází malá oblast (asi 1%) struktury feriticko - perlitické, jejíž tvrdost je 239,9 HV a obsahuje cca 0,1% uhlíku. Ta pravděpodobně vznikla vlivem strukturální heterogenity, která se mohla objevit při výrobě železné lupy. Na této struktuře jsem nezaznamenal žádné stopy, které by naznačovaly úmyslné tepelné zpracování, což se ani u podobných předmětů vzhledem k jejich použití nepředpokládá.

Předmět č.2 - Skoba "krátká"

Ve srovnání s ostatními předměty ze sledovaného souboru má tato skoba nejmenší množství vměstků, jejichž počet ani velikost se u ostatních vzorků nevyskytuje. Jedná se především o nahodile rozmístěné vměstky nepravidelných tvarů o velikosti malé až střední (viz tab. č. 4). Značně stejnoměrná feriticko - perlitická struktura s obsahem 0,57% uhlíku s rozpadlými hranicemi zrn, které naznačují pravděpodobné tepelné působení, je v celém průřezu vzorku. Její hodnota tvrdosti se pohybuje okolo 150 HV. Získané poznatky o materiálu této skoby plně korespondují s jejím nejpravděpodobnějším použitím (spojovací materiál).

Předmět č.3 - Skoba "dlouhá"

Podle značného množství směrově neorientovaných vměstků lze jen stěží určit stupeň prokování. V celém průřezu se vyskytují různé velikostní varianty globulárních vměstků patrně netvářených oxidů (nebylo blíže zkoumáno). Celá struktura může být popsána jako rovnoměrná heterogenní feriticko - perlitická s rozpadlým perlitem, přičemž změna velikosti zrna je jen minimální. Naměřené tvrdosti se pohybují od asi 180 HV až přes 200 HV. Při měření mikrotvrdosti byly zaznamenány výraznější skokové změny mezi jednotlivými sousedními hodnotami měření (maximálně však 38 HV). Rozpad perlitu byl pravděpodobně zapříčiněn požárem v místě nálezů.

Předmět č.4 - Hřeb "krátký"

Tento předmět se vyznačuje silnou směrovou orientací hojného počtu vměstků, které mají většinou nepravidelný tvar. To svědčí o vysokém stupni prokování. Tento vměstky vysoce znečištěný artefakt má uprostřed a při jednom kraji metalografického výbrusu rozpadlou strukturu feriticko - perlitickou a při ostatních okrajích strukturu feritickou. To potvrzují měření tvrdosti, kdy se u feritické struktury tvrdosti pohybovaly okolo 180 HV a u feriticko - perlitické okolo 210 HV. Rozpad feriticko - perlitické struktury je v tomto případě dobře patrný, protože na výbrusu je vidět cementit v počáteční fázi globularizace. Tento hřeb byl pravděpodobně vyroben zkováním feritického pásu do výsledného tvaru hřebu s mírně rozšířenou hlavou, viz obr.č. 38.

Předmět č.5 - Nůž

U obou vzorků z tohoto předmětu (tulej, břit) je na orientaci hlavně nitkovitých pravděpodobně silikátových vměstků patrný vysoký stupeň prokování. V celém průřezu břitu je rozpadlá perliticko - feritická struktura s asi osmdesáti procenty perlitu. Tulej má strukturu feriticko - perlitickou s výraznými hranicemi zrn a přibližně s třemi procenty perlitu. Tulej nevykazuje žádné následné tepelné zpracování. Její tvrdost je přibližně 130 HV, maximálně však 150 HV, což potvrzuje feriticko - perlitickou strukturu. Poněkud složitější je to s břitem, kdy tvrdost směrem od špičky klesá z hodnot kolem 219 HV až na hodnoty blízké 150 HV. To může být pravděpodobně následkem vyššího stupně prokování v oblasti špičky břitu. Zjištěná rozpadlá perliticko - feritická struktura s obsahem uhlíku cca 0,5% mohla splňovat nároky na tento předmět, čemuž odpovídá pravděpodobně nakovaný materiál.

Předmět č.6 - Spojka vodovodu "velká"

Výrazná směrová orientace kolmá ke směru tváření u všech vměstků je patrná i u tohoto předmětu, viz obr.č. 30. Některé velké vměstky mají dobře patrnou vnitřní strukturu. Struktura vzorku je feritická s tenkými pásy perlitu uprostřed výbrusu, přičemž směrem od těchto pásů se feritická zrna k okrajům vzorku zvětšují. To by mohlo naznačovat pravděpodobné následné tepelné působení, např. při požáru. Zjištěné hodnoty tvrdosti, pohybující se u perlitu okolo 160 HV a u feritu okolo 140 HV, chemické složení s cca 0,07% uhlíku i zjištěné mechanické vlastnosti lze u podobným způsobem používaných předmětů předpokládat.

Předmět č.7 - Spojka vodovodu "malá"

Výrazné vměstky nepravidelného protáhlého tvaru se táhnou rovnoměrně rozmístěné v celé délce výbrusu. Některé nečistoty v materiálu jeví výrazné známky směrové orientace a mají spíše povahu heterogenních "puklin vyplněných korozi". Struktura je převážně feritická s velkými zrny feritu (tvrdost kolem 180 HV), jen při kraji vzorku se nachází feriticko - perlitický pás o tvrdosti nad 210 HV. Tento pás je jasně ohraničen, proto se domnívám, že byl k materiálu s feritickou strukturou nakován.

Předmět č.8 - Sekera

U obou výbrusů (břit, tulej) je opět patrná výrazná kolmá orientace vměstků ke směru tváření. Množství i velikost vměstků se u obou výbrusů výrazně liší. U tuleje je toto množství i velikost větší než u břitu. Vnitřní struktura tuleje je převážně feritická s tvrdostí kolem 95 HV. Pouze při jednom kraji výbrusu se nachází atypická značně rozpadlá struktura feriticko - perlitická, jejíž tvrdost se pohybuje kolem 120 HV. Jejím nejvýznamějším znakem jsou špatně znatelné rozpadlé hranice zrn, vytvářející globule. Ze všech vzorků je nejzajímavější vzorek břitu sekery, na kterém je patrné několik pásů skovaných kovářským spojem do sebe. Přibližně uprostřed výbrusu je pás perlitický, jehož tvrdost se směrem od špičky snižuje z hodnot okolo jen 155 HV až na hodnoty tvrdosti kolem 100 HV. Při měření tvrdosti byly však zaznamenány jisté skokové změny mezi jednotlivými sousedními hodnotami. Podél jedné ze stěn břitu se táhne pás čistě feritický, čemuž také odpovídají tvrdosti pohybující se kolem 100HV. Tento feritický pás navazuje na již zmiňovaný pás perlitický, který přechází přes feriticko - perlitický pás v další čistě perlitický. Ten podobným způsobem přechází v poslední čistě perlitický pás při protilehlé stěně k feritickému pásu. S tímto popisem úzce koresponduje měření tvrdosti v příčném směru, kdy tvrdost klesala z hodnot okolo 180 HV v perlitickém pásu až na hodnoty kolem 100 HV v čistě feritické struktuře. Nízké hodnoty tvrdosti jsou způsobené rozpadem perlitu, z čehož vyplývá, že daný předmět pravděpodobně prošel požárem v místě nálezu. Způsob výroby této sekery, zejména jejího břitu, je příkladem kovářova dokonalého zvládnutí kovářské technologie.

5. Závěr

Po provedení metalografického rozboru, měření mikrotvrdosti fází a chemického rozboru lze konstatovat:

1. U většiny vzorků byl zaznamenán velký počet vměstků a jiných nečistot. Této skutečnosti neodpovídá pouze vzorek č. 2, který se vyznačoval čistotou nevyskytující se u žádných dalších předmětů.

2. U vzorku č.1 jsou zrna rovnoosá bez náznaků textury, což svědčí o nízkém stupni prokování nebo o následném tepelném zpracování (např. požár). Kromě častých hrubozrných struktur se u některých vzorků objevují i struktury s poněkud menšími zrny, např. u předmětu č.7 - Spojka vodovodu "malá". Největší vliv na tuto skutečnost mohl mít různý stupeň prokování nebo přítomnost legur, které nebyly blíže zkoumány.

3. U feritických struktur se nejnížší hodnoty mikrotvrdosti pohybovaly kolem 90 HV, což je případ vzorku č.10 - břit sekery, kdy nejnížší zjištěná hodnota byla 94,02 HV. Maxima tvrdosti dosáhl ferit u vzorku č.1 - Hřeb "dlouhý". 190 HV. Z perlitických struktur je nejtvrdší perlit u vzorku č. 10 - břit sekery. Jeho tvrdost je jen 160 HV a to z důvodu jeho značného rozpadu. Nejvyšší hodnoty tvrdosti však byly zaznamenány u struktur feriticko - perlitických a perliticko - feritických a to konkrétně u předmětů č. 1,3,4,7. Jejich tvrdost téměř vždy překračovala 200 HV. Takovéto výrazné rozdíly lze vysvětlit různým stupněm prokování nebo místní přítomností některých chemických prvků, které mají vliv na zvýšení tvrdosti, nebylo blíže zkoumáno.

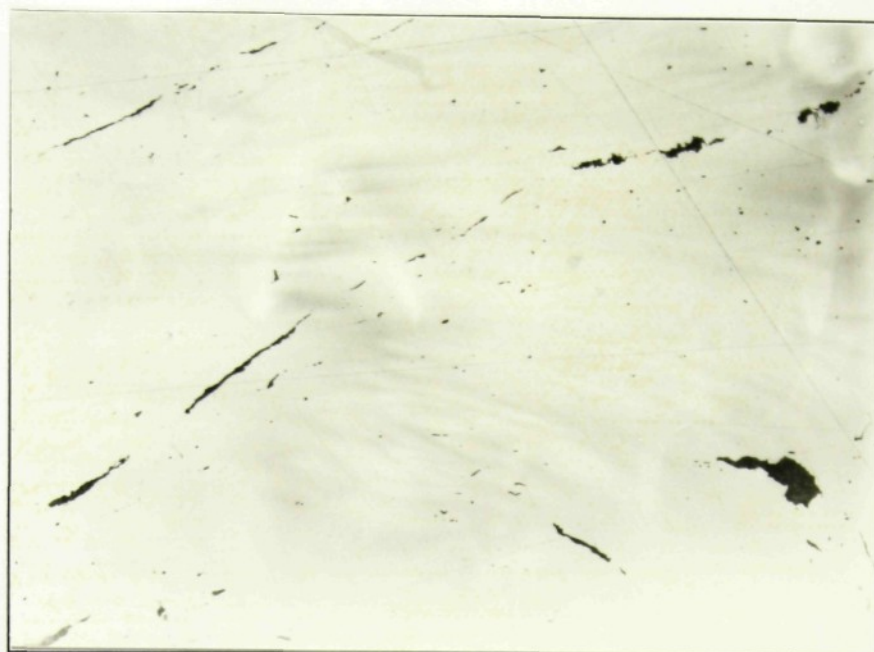
4. Nejtypičtějším příkladem mistrovského zvládnutí kovářské technologie jsou předměty číslo 5 a 8. Jedná se o Nůž a o Sekeru. U nože nese špička břitu známky intenzivnějšího prokování než tulej. Sekera je vyrobena plátováním, díky kterému je na výbrusu patrné několik různých pásů. Nejvýraznější z nich jsou perlitické.

5. Vzhledem ke zjištěným vlastnostem u předmětů ze zkoumaného souboru lze konstatovat, že výchozí materiál byl vyroben přímým způsobem, kterým nebylo bez použití kvalitní rudy možné zajistit vyšší mechanické ani užité vlastnosti.

Seznam použité literatury

- [1]** OERTWIG S.: Gang durch versunkene Sädte; Lipsko - 1964
- [2]** NOVOTNÝ B. a kol.: Encyklopédia archeologie;
Obzor, n.p. Bratislava 1986
- [3]** FILIP J.: Keltové ve střední Evropě; ČSAV Praha - 1956
- [4]** PLEINER R.: Staré evropské kovářství; ČSAV Praha - 1962
- [5]** BIALEKOVÁ D.: Dávne slovanské kováčstvo; Tarran Bratislava - 1981
- [6]** EGGER G.: Beschläge und Schlösser an alten Möbeln;
Verlag Georg D.W. Calwen München - 1973
- [7]** BRAUN W.: FELDWEIG: Metall werkformen und Arbeitsweissen;
O. Maier Verlag Ravensburg - 1968
- [8]** KUŽEL M.: Bakalářská práce na téma archeometalurgie; TU Liberec 1999
- [9]** UMLAUFOVÁ J.: Bakalářská práce na téma archeometalurgie;
TU Liberec 1997
- [10]** DOBRKOVSKÝ P.: Diplomová práce na téma archeometalografie;
TU Liberec 1997
- [11]** VOKALEK V.: Školní atlas světových dějin; ÚZGK Praha - 1962
- [12]** AGRICOLA G.: Dvanáct knih o hornictví a hutnictví;
NTM Praha 1976
- [13]** MAJER J.: Po kovových stezkách dějin Československa; Komitét symposia
Hornická Příbram ve vědě a technice - 1991
- [14]** KREPS M.: Z dějin hutnictví a hornictví - Rozpravy NTM;
NTM Praha 1970
- [15]** PARMA J. B.: Z dějin hutnictví a hornictví - Rozpravy NTM; NTM Praha
1970
- [16]** PLEINER R.: Dějiny hutnictví železa v Československu;
Academia Praha 1984
- [17]** NEKUDA V.: Archeologia historica 13/88; Muzejní a vlastivědná
společnost v Brně 1987
- [18]** ČSN 42 0462 – Stanovení velikosti zrna ocelí a neželezných kovů
- [19]** ČSN 42 0471 – Metalografické stanovení nekovových vměstků v oceli
- [20]** KOŠELEV V.: Metalografické tabulky; Technicko-vědecké nakladatelství
Praha 1952

Přílohy



Obr.č.: 24 – neleptáno 100x



Obr.č.: 25 – neleptáno 100x



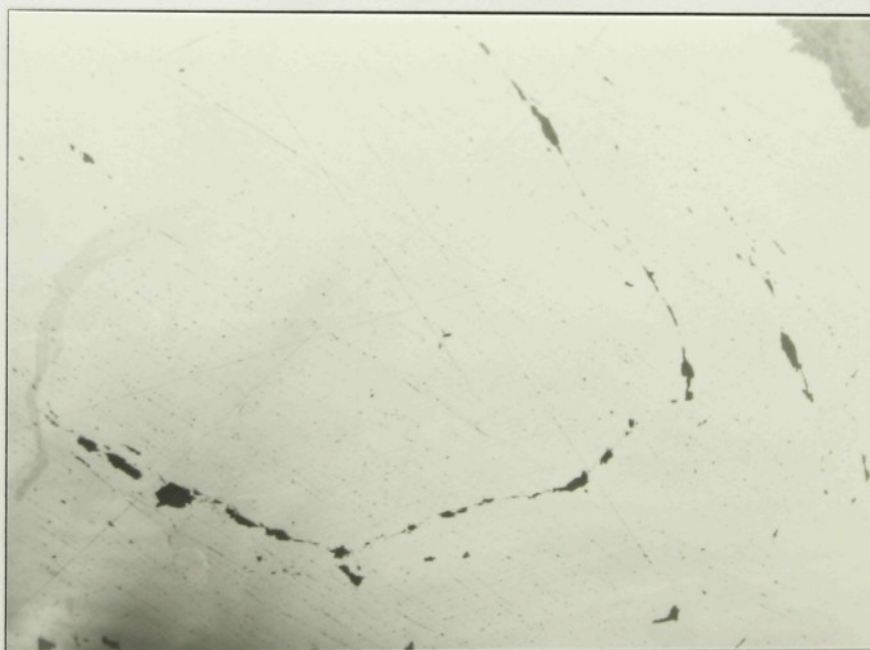
Obr.č.: 26 – neleptáno 100x



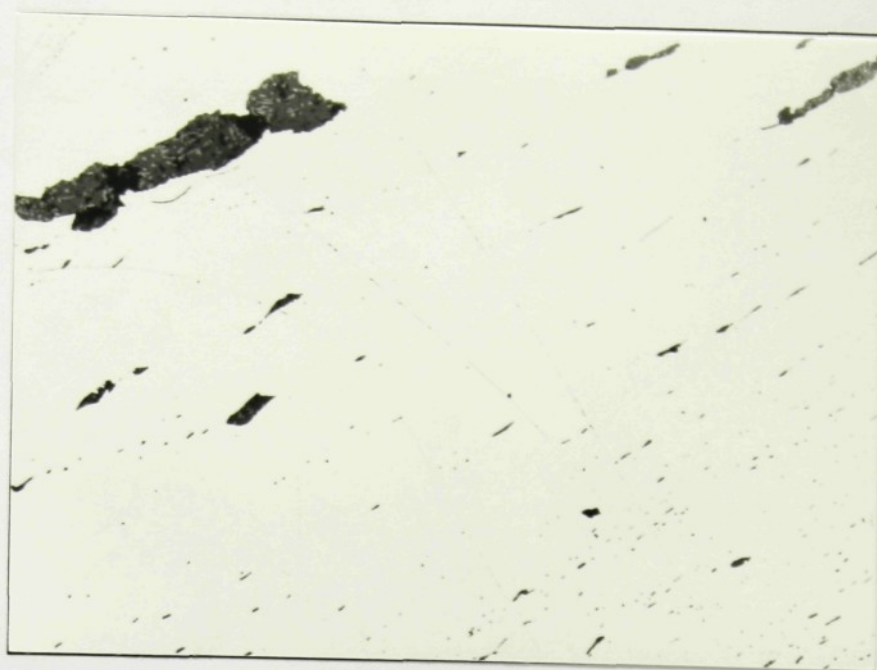
Obr.č.: 27 – neleptáno 100x



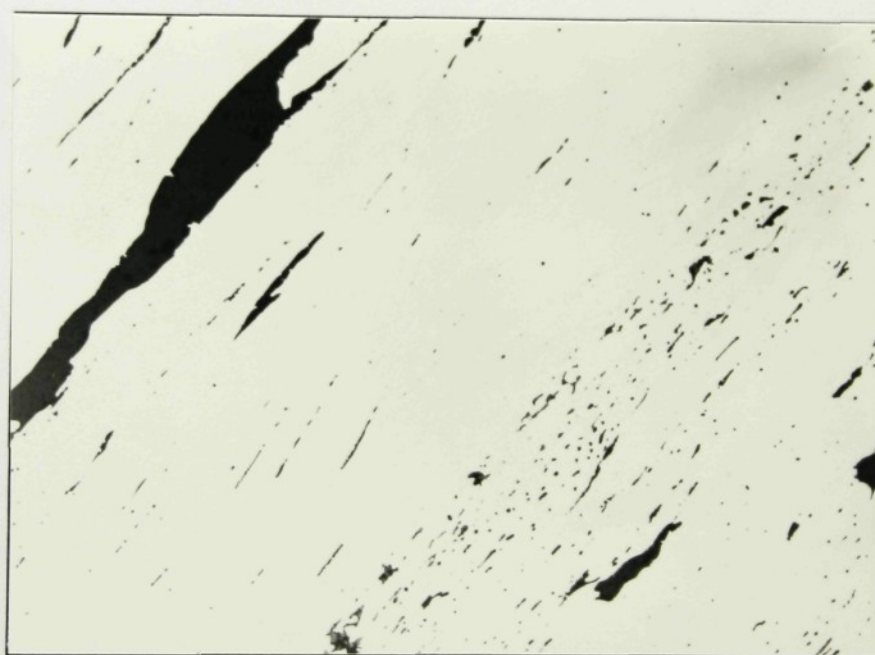
Obr.č.: 28 – neleptáno 100x



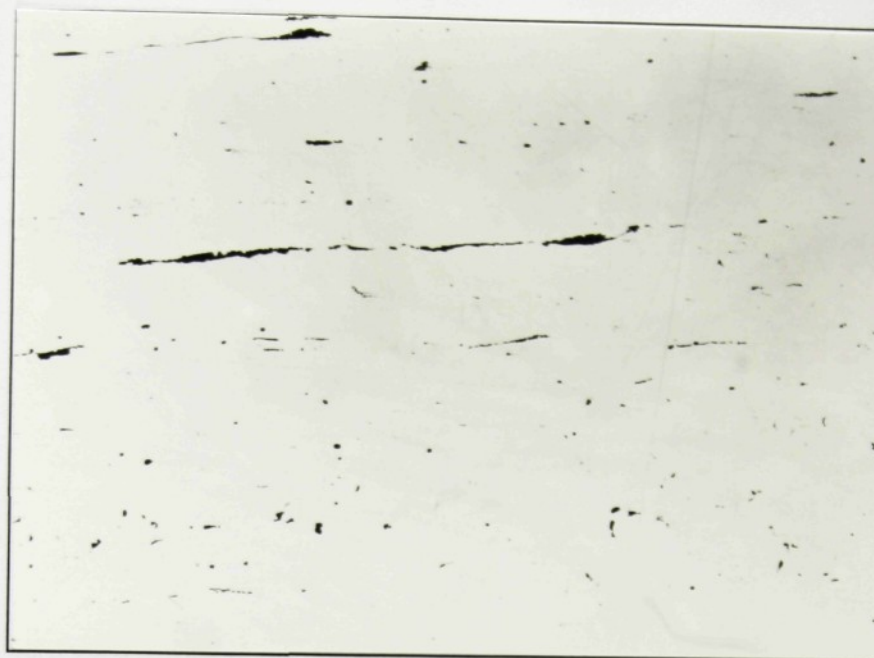
Obr.č.: 29 – neleptáno 100x



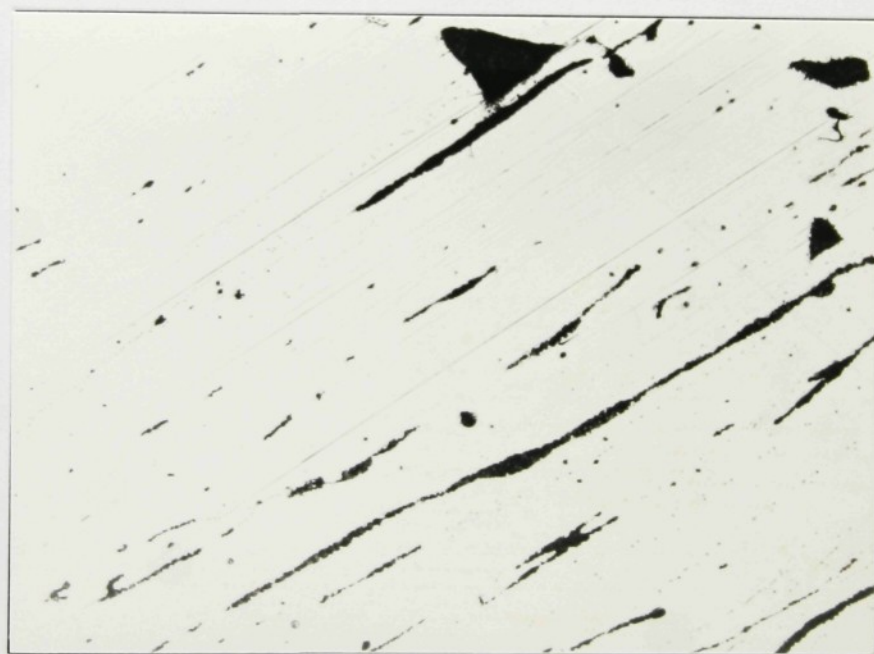
Obr.č.: 30 – neleptáno 100x



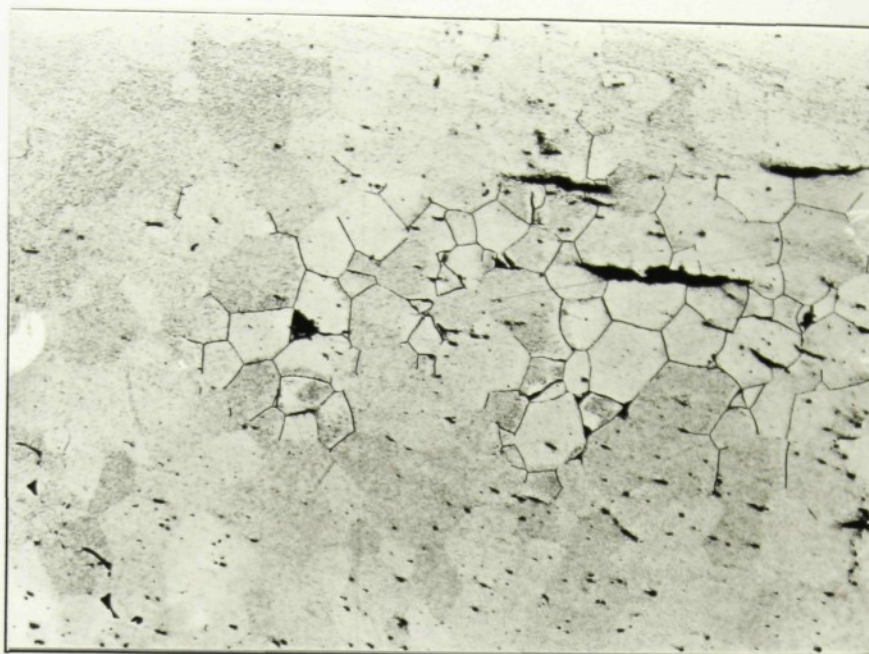
Obr.č.: 31 – neleptáno 100x



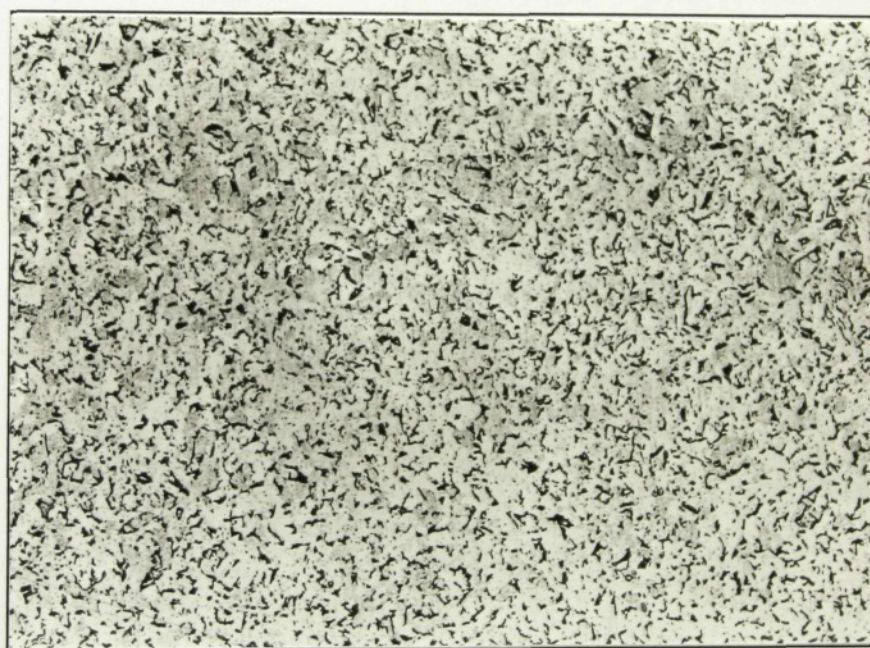
Obr.č.: 32 – neleptáno 100x



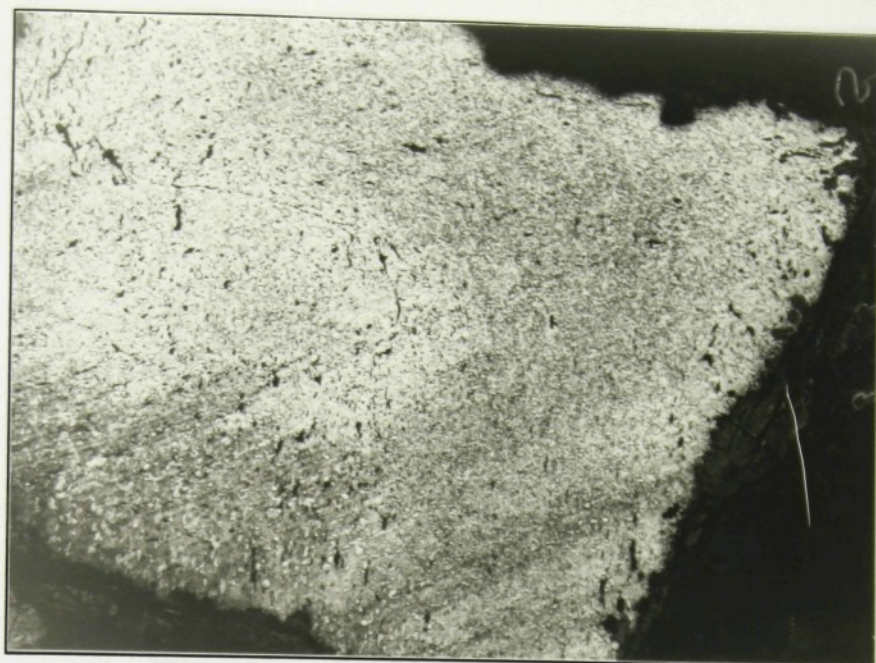
Obr.č.: 33 – neleptáno 100x



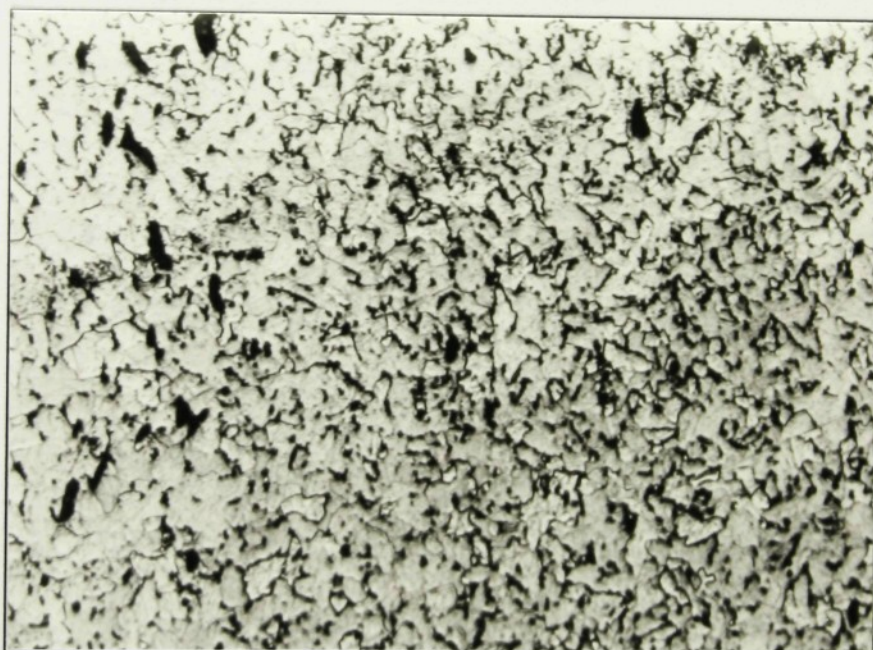
Obr.č.: 34 – nital 100x



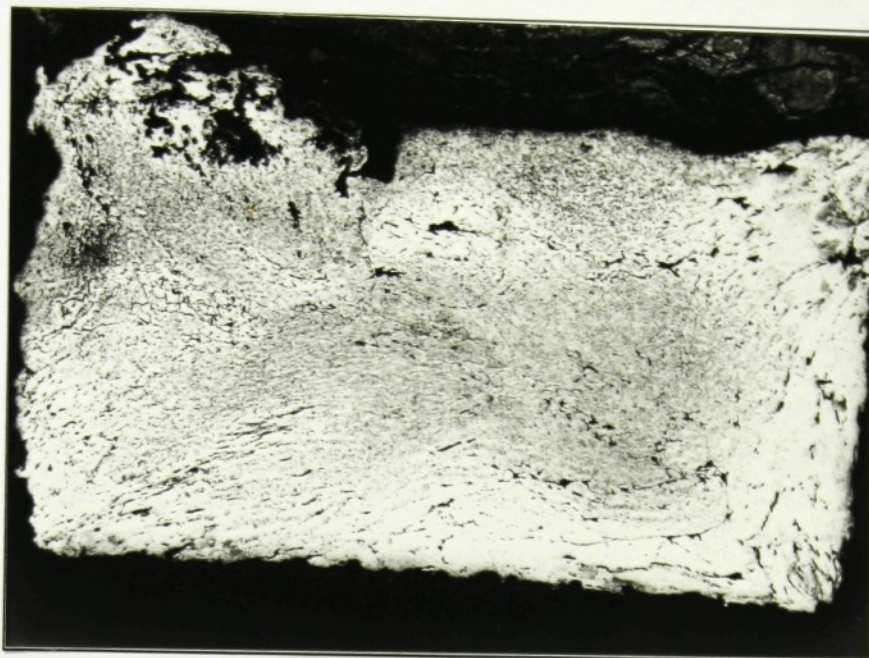
Obr.č.: 35 – nital 100x



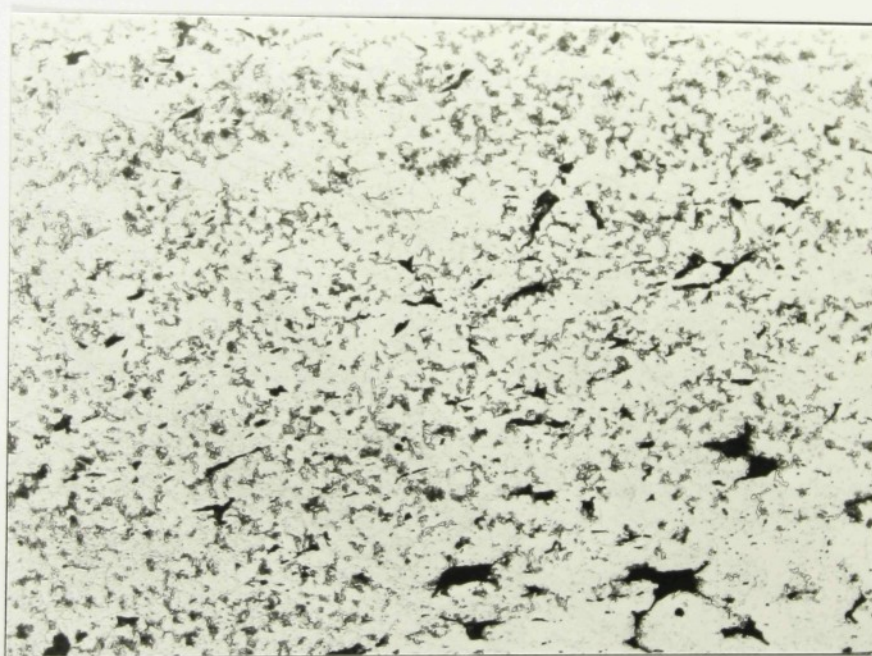
Obr.č.: 36 – nital 25x



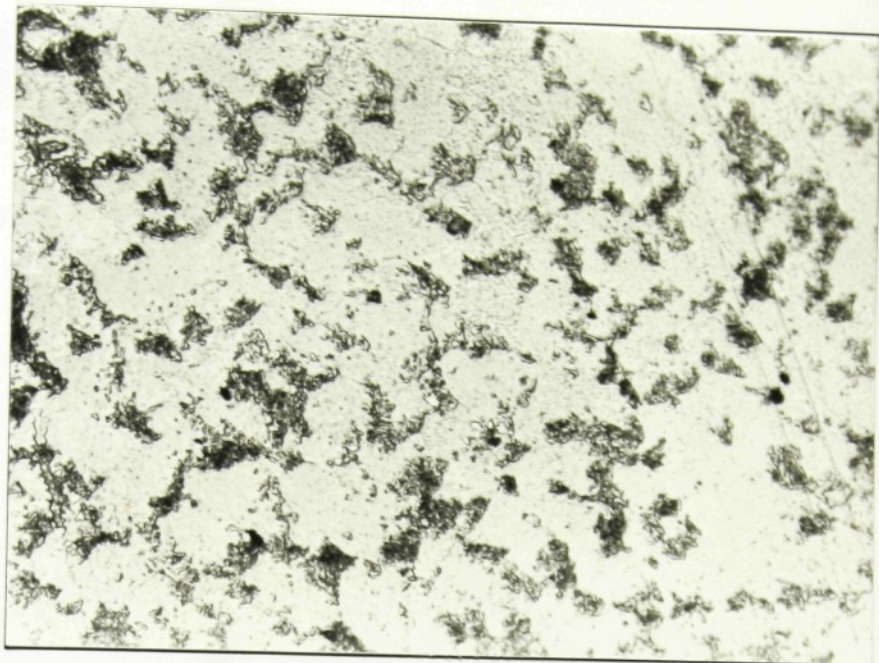
Obr.č.: 37 – nital 200x



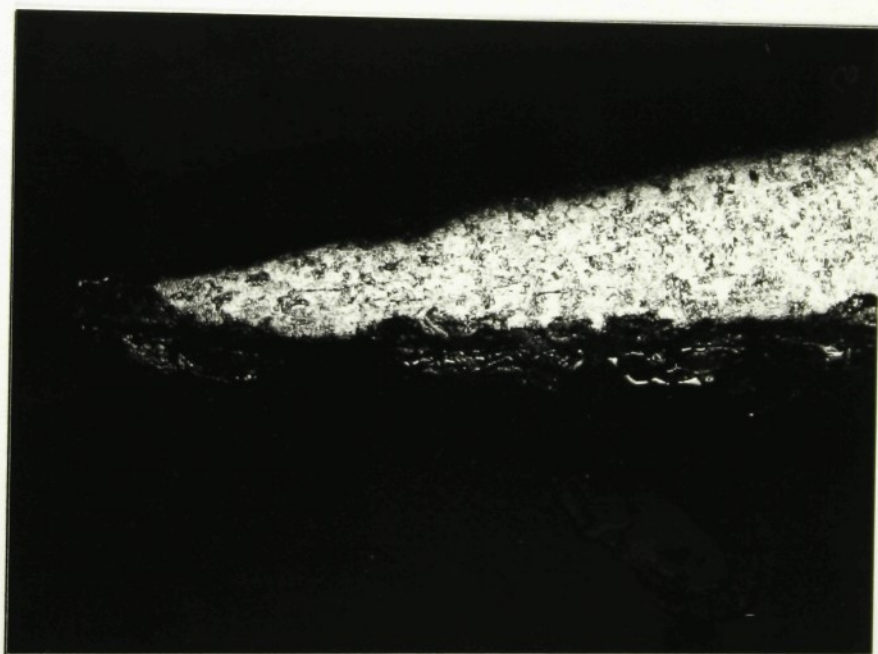
Obr.č.: 38 – nital 16x



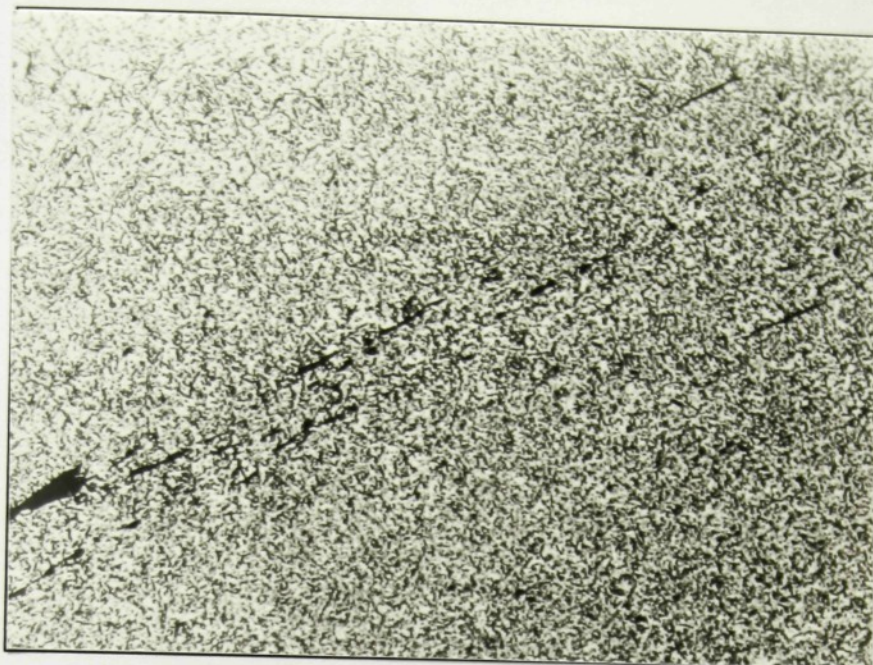
Obr.č.: 39 – nital 200x



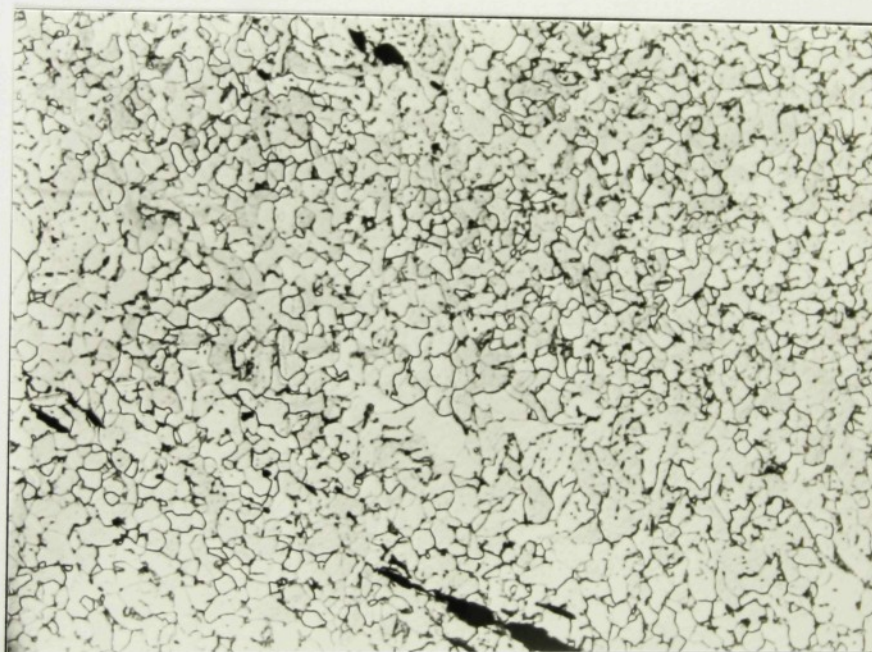
Obr.č.: 40 – nital 400x



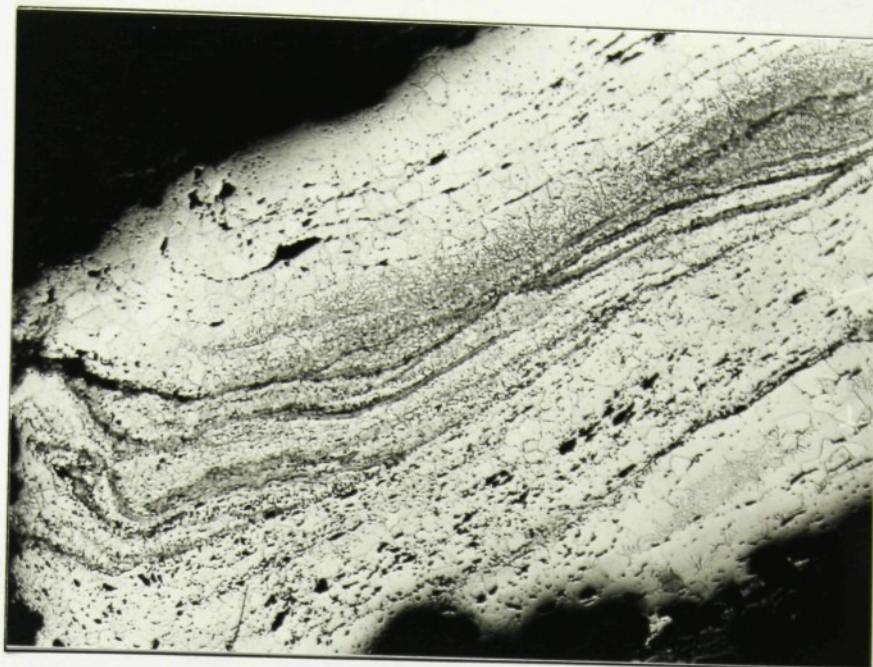
Obr.č.: 41 – nital 15x



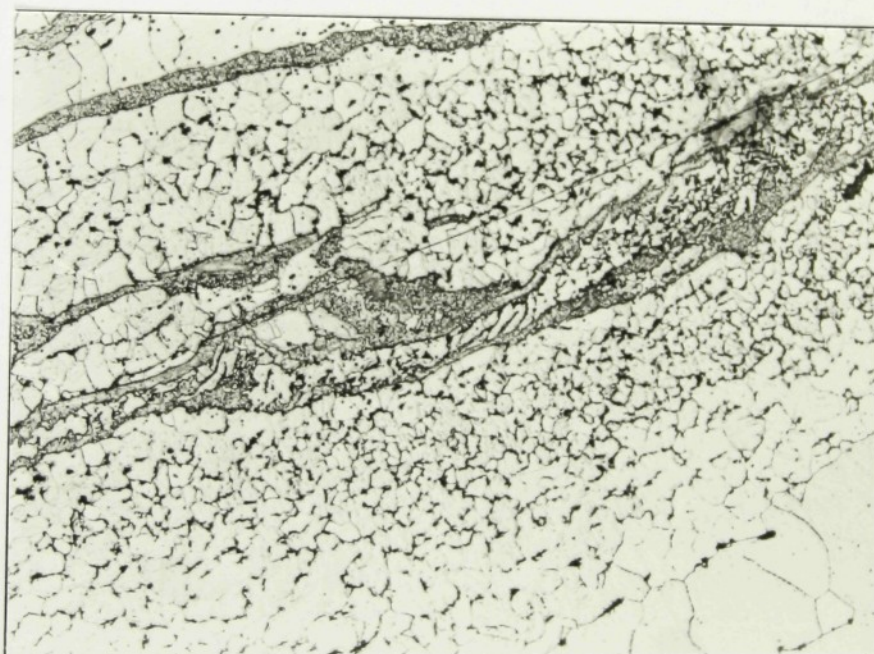
Obr.č.: 42 – nital 200x



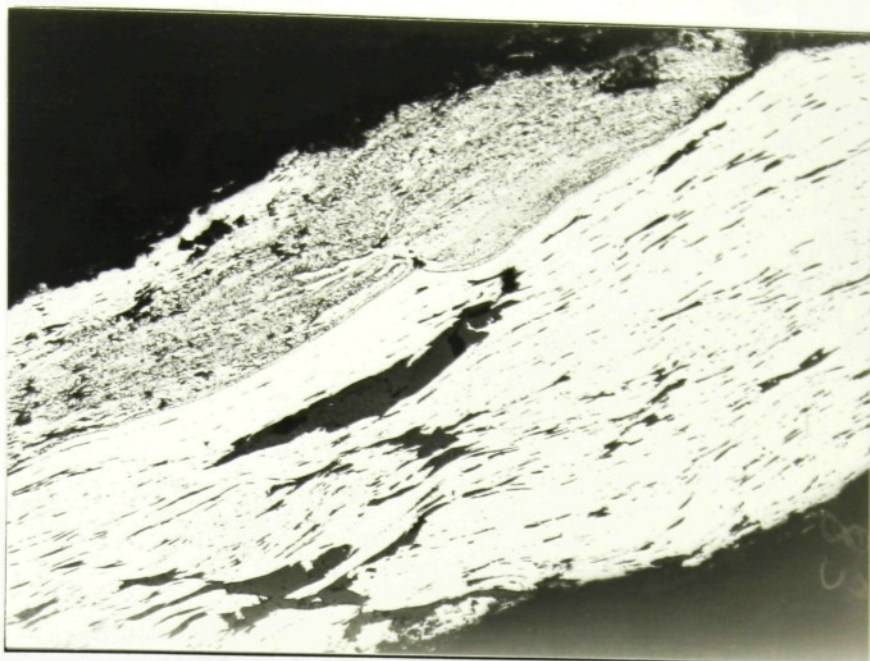
Obr.č.: 43 – nital 200x



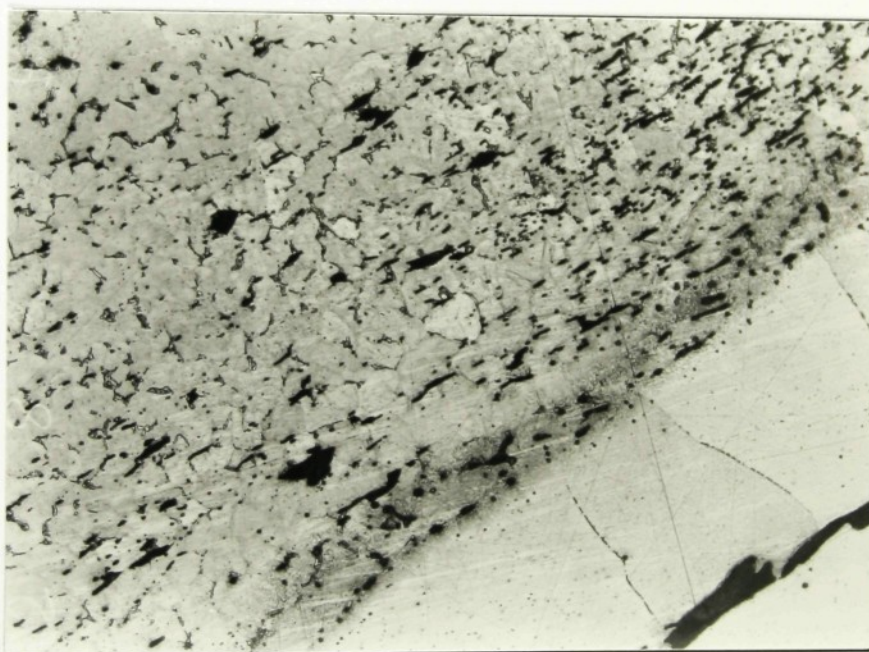
Obr.č.: 44 – nital 15x



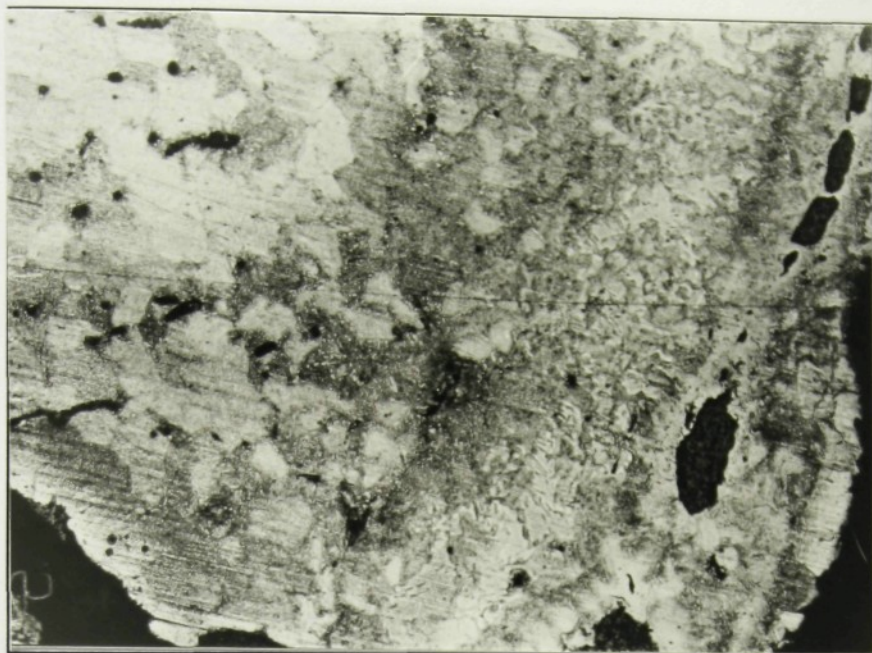
Obr.č.: 45 – nital 100x



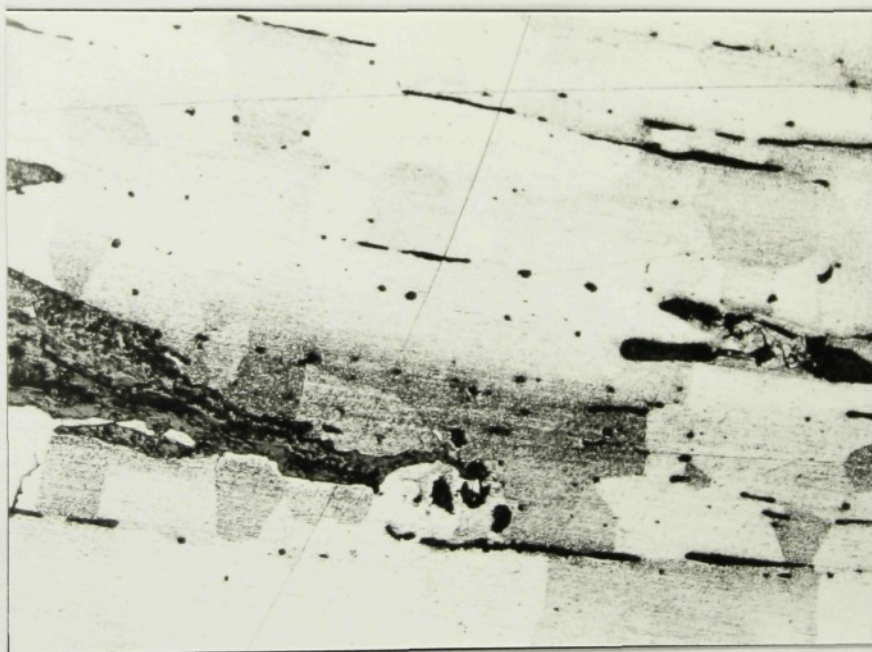
Obr.č.: 46 – nital 15x



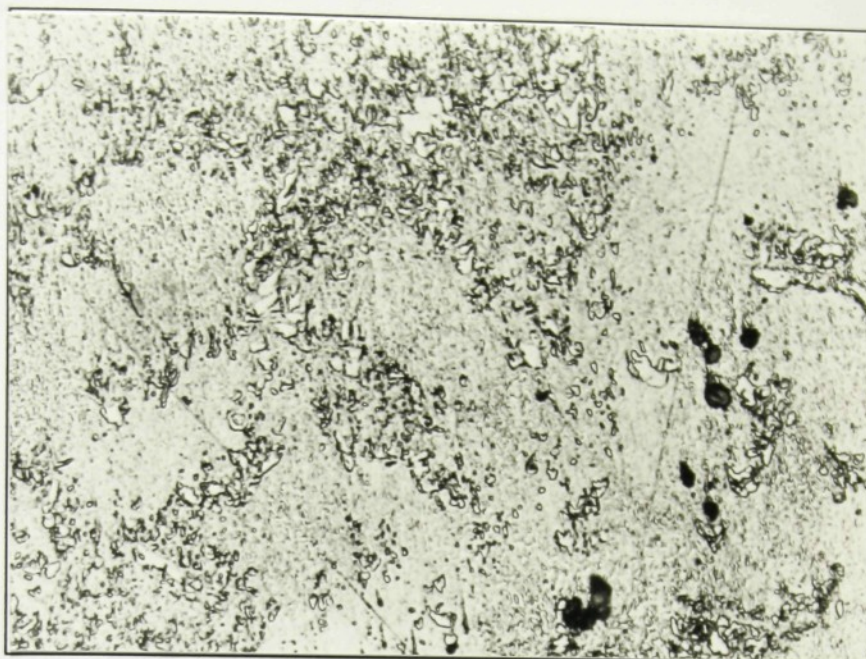
Obr.č.: 47 – nital 100x



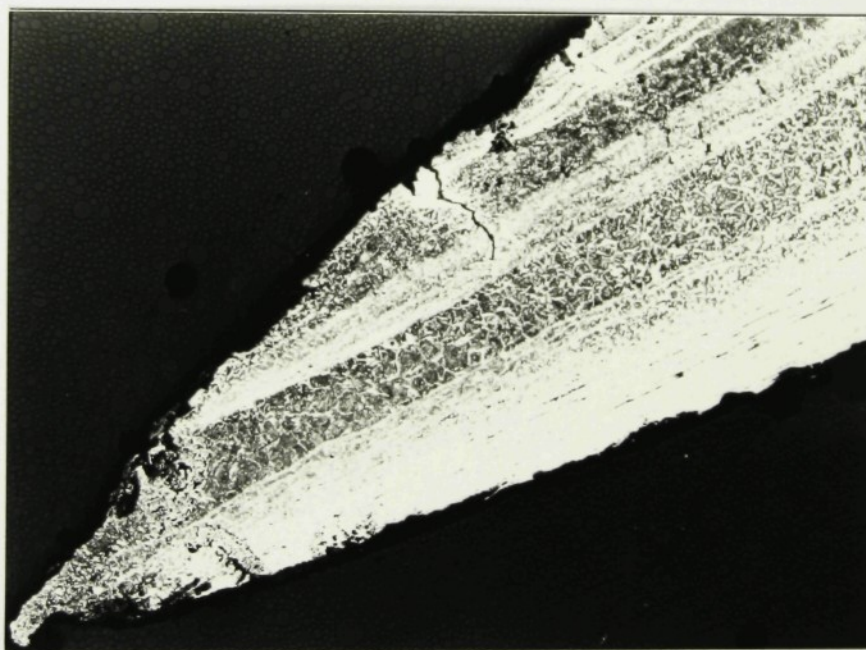
Obr.č.: 48 – nital 15x



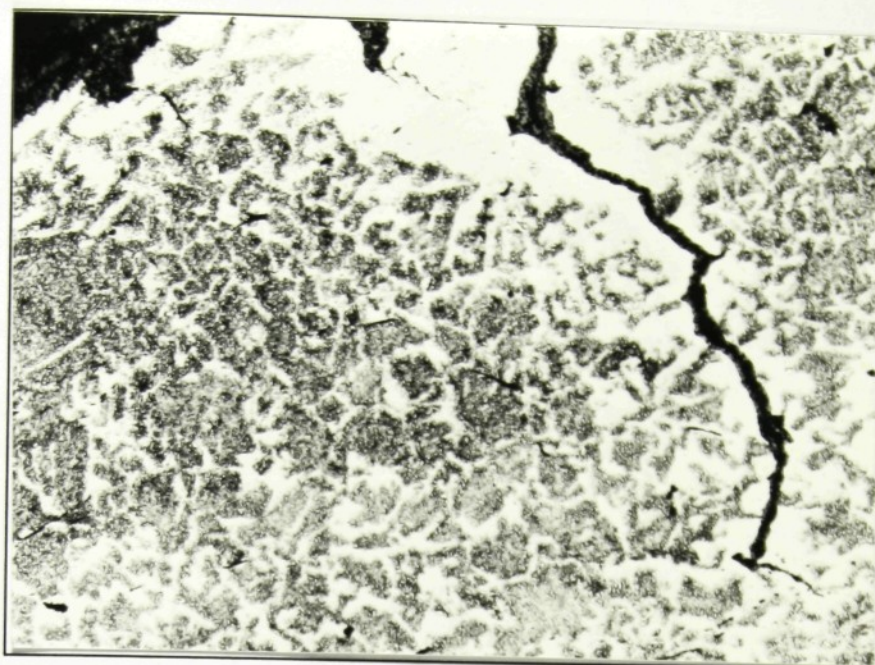
Obr.č.: 49 – nital 100x



Obr.č.: 50 – nital 500x



Obr.č.: 51 – nital 15x



Obr.č.: 52 – nital 100x

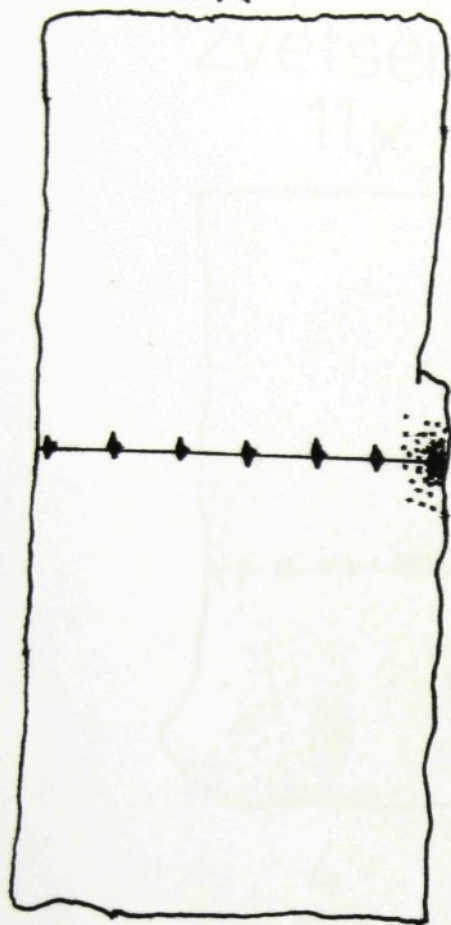
Vysvětlivky k následujícím čtyřem stranám:

1. Nad každým průřezem je vždy uvedeno zvětšení.
2. Pod každým průřezem je vždy uvedeno pořadové číslo přidělené jednotlivým výbrusům.

1	Hřeb "dlouhý"
2	Skoba "krátká"
3	Skoba "dlouhá"
4	Hřeb "krátký"
5	Nůž - břit
6	Nůž - tulej
7	Spojka vodovodu "velká"
8	Spojka vodovodu "malá"
9	Sekera - tulej
10	Sekera - břit

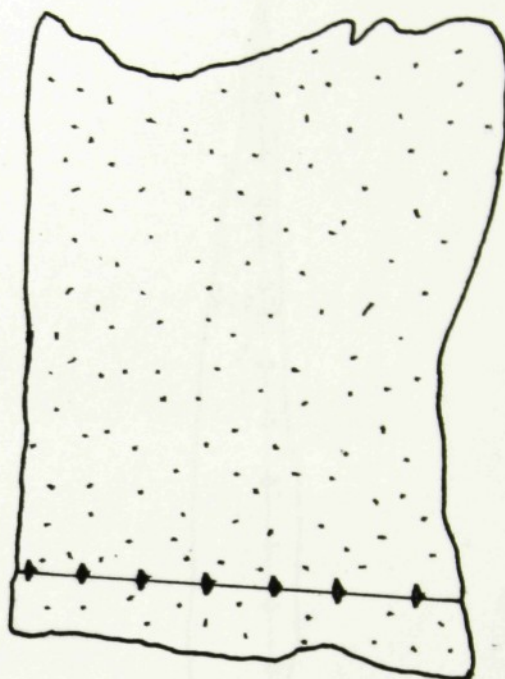
3. Dále je pod každým výbrusem uvedeno číslo obrázku.
4. Nevytečkovaná plocha značí feritickou strukturu.
5. Vytečkovaná plocha značí strukturu buď feriticko-perlitickou, nebo perliticko-feritickou.
6. Ohraničená vytečkovaná oblast značí perlitickou strukturu.
7. Černé pruhy značí heterogenity.

zvětšeno
17x



1
obr. 53

zvětšeno
20x



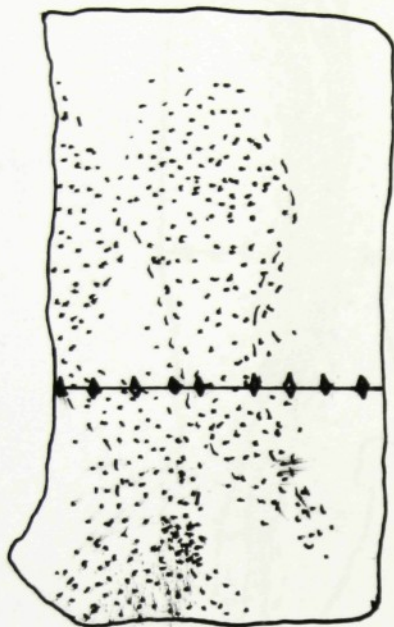
2
obr. 54

zvětšeno
8x



3
obr. 55

zvětšeno
11x



4

obr. 56

zvětšeno
7x



5

obr. 57

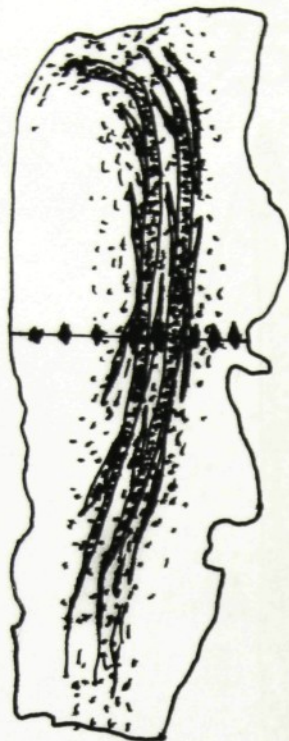
zvětšeno
8x



6

obr. 58

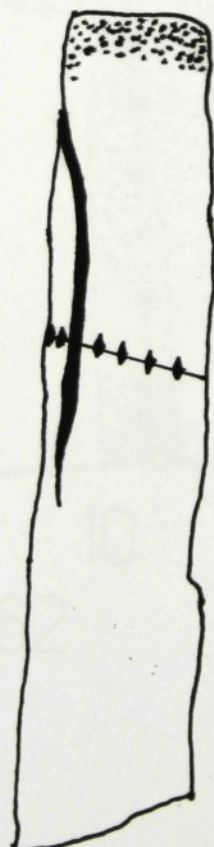
zvětšeno
4x



obr.59

7

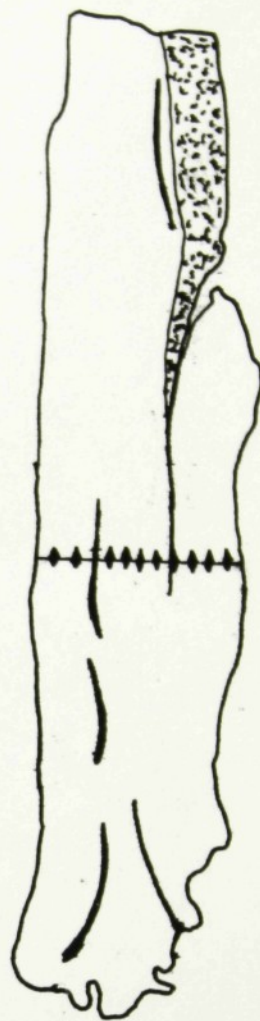
zvětšeno
6x



9

obr.61

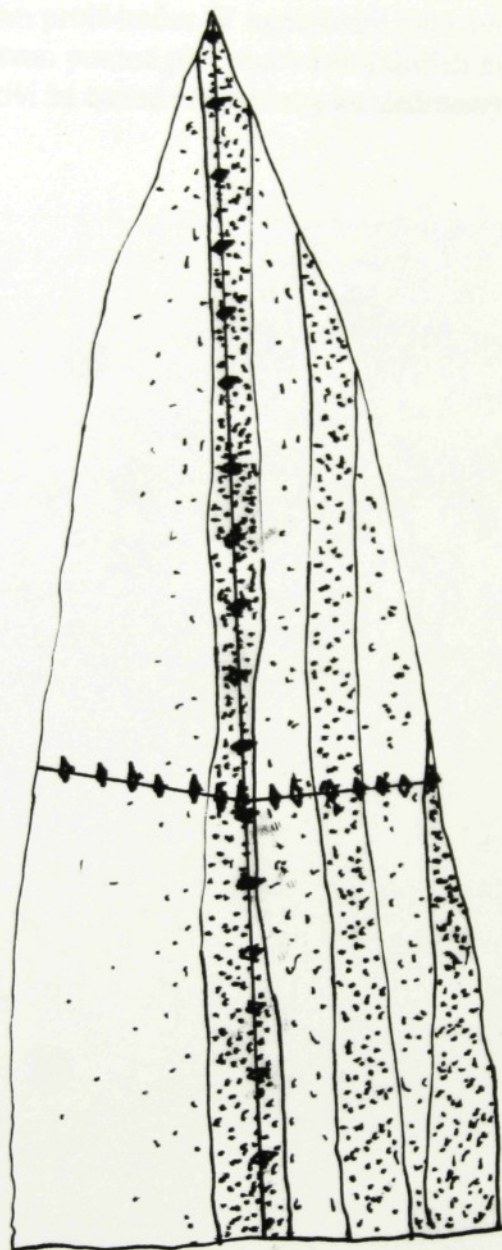
zvětšeno
6x



8

obr.60

zvětšeno
7,5x



10

obr. 62

Poděkování

Závěrem této práce bych rád poděkoval Ing. Petru Vodičkovi za příkladné vedení při vypracování práce, RNDr. Věře Vodičkové, za cenné rady a připomínky k řešeným problémům. V neposlední řadě mé poděkování též patří paní Čilové za obětavou pomoc při práci v laboratořích na katedře materiálů a dále také Ing. Hoškovi za cenné připomínky ke sledovaným strukturám.

J. Fouček

Jméno a příjmení: Svatopluk Fouček

Adresa: Skalsko 93

J. 294 26 Skalsko

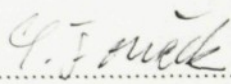
Prohlášení o využívání výsledků bakalářské práce

Jsem si vědom toho, že tato bakalářská práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám bez svolení školy disponovat. Bakalářská práce může být zapůjčena či objednána (kopie) za účelem využití jejího obsahu.

Beru na vědomí, že po pěti letech si mohu bakalářskou práci vyžádat v Univerzitní knihovně v Liberci, kde je archivována.

Jméno a příjmení: Svatopluk Fouček

Adresa: Skalsko 93
294 26 Skalsko

podpis.....

V Liberci, květen 2000.