

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ



KATEDRA MATERIÁLU

Obor: Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

Archeometalurgické hodnocení souboru vzorků
Archaemetallurgical classification of the set of samples

Iveta Třasáková
KMT – B –121

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.
Konzultant bakalářské práce: Ing. Vít Lehký

Rozsah: počet stran 36
počet obrázků 24

V Liberci dne 26. 5. 2006

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu doc. Ing. Karlu Daňourkovi, CSc. a svému konzultantu Ing. Vítu Lehkému za jejich rady při vypracování této bakalářské práce.

Iveta Třasáková

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:.....

Podpis:.....

Anotace

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Obor: Materiály a technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

Rok: 2005/2006

Název bakalářské práce: **Archeometalurgické hodnocení souboru vzorků**

Bachelor's Thesis name: **Archaeometallurgical classification of the set of samples**

Číslo bakalářské práce: KMT – B – 121

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Vít Lehký

Anotace

Bakalářská práce se zabývá metalografickým rozbořem středověkých železných předmětů zapůjčených z Vlastivědného muzea a galerie v České Lípě.

Z každého předmětu byl odebrán vzorek a proveden metalografický výbrus za účelem zjištění nečistot a struktury na vzorcích.

Klíčová slova: archeometalurgie, milíř, kováři,

Anotation

The subject of the Bachelor's Thesis is a metallographical analysis of the iron objects of the Middle Ages. The objects were borrowed in the Homeland studying muzeum and gallery in Česká Lípa. There was sampled a specimen of every object and made a metallographical scratch pattern to discover the structure and the temper in the specimens.

Keywords: archaeometallurgi, heap, smiths,

Obsah

1. Úvod [3].....	7
2. Rešerše	
2. 1. Dobývání rud a naleziště v Lužických horách [4]	8
2. 2. Výroba železa v pecích [5]	10
2. 3. Základní kovářské operace [1]	11
2. 4. Tepelné a chemicko tepelné zpracování [1].....	14
2. 5. Zpracování za studena [1]	15
3. Praktická část	
3. 1. Metodika rozboru	17
3. 2. Popis vzorku, metalografické rozborů	17
4. Diskuze výsledků	33
5. Závěr	35
Použitá literatura	

1. Úvod [3]

Archeologie, nebo **archæology** (od řeckých slov *αρχαίος* = starověký a *λόγος* = slovo/řeč/projev) je studium lidských kultur, dokumentace a analýzy pozůstatků materiálu, zahrnuje architekturu, artefakty, lidské ostatky a krajiny. Archeologie má dokumentovat a vysvětlovat původy a vývoj lidské kultury, rozumět historii kultury, zaznamenat kulturní evoluci a studijní lidské chování. Mezi nejvíce efektivní způsob hledání historických pozůstatků patří **geofyzikální průzkum**. Přístroj objeví odchylky v zemském magnetickém poli způsobeném artefakty železa, pecí, některými druhy struktury kamene. Zařízení, která změní elektrické resistivity půdy jsou také široce používána. V archeometalurgii mají také zásadní úlohu metalografické analýzy. Metalografie zkoumá někdejší, často dnes již nepoužívané hutnické a kovářské výrobní postupy a technologie. Svazek shrnuje současný stav a poznatky metalografického výzkumu železných archeologických nálezů, které byly doposud po této stránce prakticky neznámé.

V bakalářské práci se zabývám archeometalurgickým hodnocením vzorků zapůjčených z Vlastivědného muzea a galerie v České Lípě. Většina vzorků pochází z objevených pozůstatků po milířích na pálení dřevěného uhlí a výrobu kolomazi – dehtu v oblasti Českolipska.

Toto téma jsme si zvolila pro můj zájem o historii.

2. Rešerše

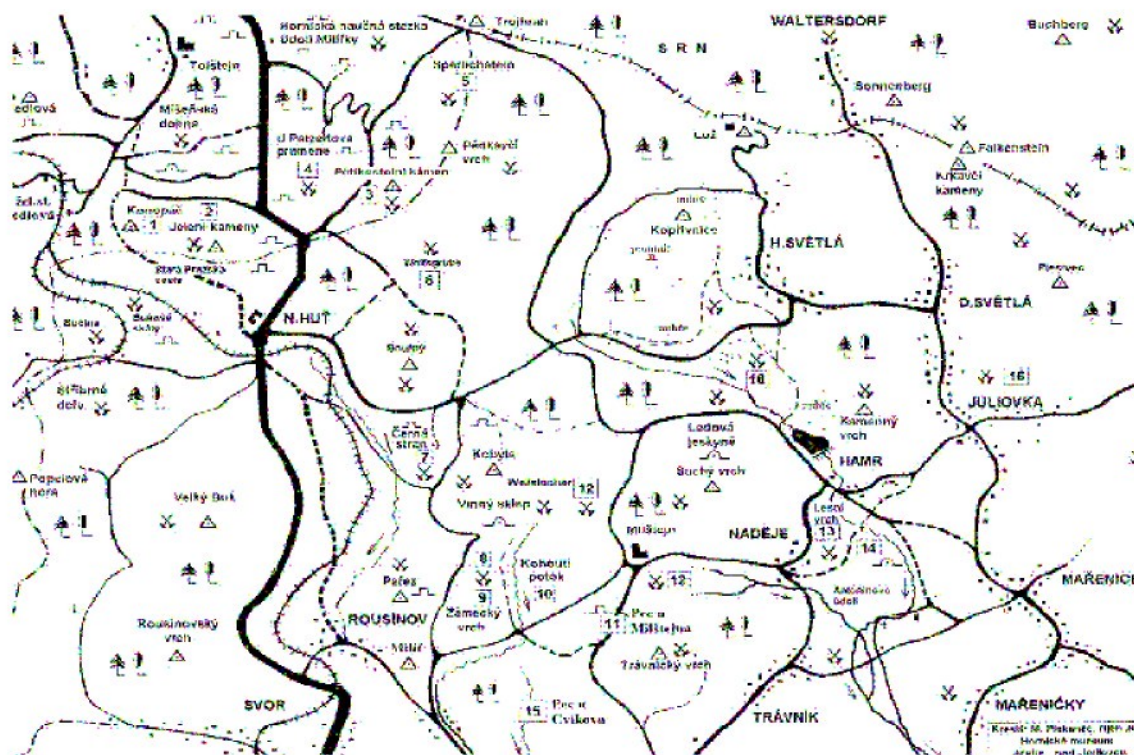
2. 1. Dobývání rud a naleziště v Lužických horách [4]

Těžba rud byla všeobecně nejstarší prvovýrobou k zajištění surovin. Nejprve byly exploatovány rudy potřebné na výrobu železa k zhotovení nástrojů a zbraní. Byly to železné rudy charakteru limonitů. Výhodou bylo, že jejich rozvětralé žilné struktury se vyskytovaly nehluboko pod povrchem a proto se na mnoha místech získávaly pouhým sběrem nebo nepatrným odklizem v místech, kde ložisko vycházelo na povrch. To dokazují i terénní pozůstatky po jejich těžbě, kterých je právě v Lužických horách nejvíce. V dobývce Pod Čerstvým pramenem, která se nachází asi 50 m od lesní komunikace do Rusínova bylo nalezeno několik vzorků. Jedním ze vzorků je i podkova patřící do souboru vzorků v této práci, nalezená v obvalu kolem dobývky.

Po objevech řady železorudných dobývek v roce 1999 – 2001, následovalo objevení na českolipské straně Lužických hor v okolí Světlé pod Luží a údolní nádrže Naděje, více jak padesáti pozůstatků po milířích na pálení dřevěného uhlí a výrobu kolomazi – dehtu, jako vedlejšího produktu. Z větší části se podařilo zachránit kovové nářadí a zdokumentovat alespoň nálezové situace, které po vykradačích ještě v lokalitách zbylo.



Obr. č.1 Mapa znázorňující naleziště zkoumaných vzorků.



Obr. č. 2 Mapa milířů v okolí Rusínova.

Zdejší milíře lze rozdělit :

1) Podle typu

- a) klasický typ pravidelného kulatého tvaru, bez jímky na jímání kolomazi (většina reliktů)
- b) s jímkou na jímání kolomazi a to buď kulatou nebo oválnou, ohraničenou kameny anebo neohraničenou kameny, popřípadě se zbytky kamenné podezdívky (tři relikty)
- c) se sníženou jímkou těsně asi metr pod obvodem milíře, což je oválná nebo kulatá jáma (tři relikty)
- d) s podélným příkopem různé délky (až 5 m) , vedeným široko od milíře buď z prudkého svahu dolů nebo z mírného svahu (podle terénu), kde na konci je teprve jímka (dva relikty)

2) Podle velikosti

Zpravidla od průměru 4 až 10 m, i více. Místy 12 až 15 m.

3) Podle umístění v terénu

- a) na rovné plošině
- b) na mírném svahu
- c) na prudkém svahu

4) Přimo u zdroje vody

Obvykle přímo u pramene nebo potoka, popřípadě co nejbliže, odkud se mohla přinášet ve džberech.

5) U vzdáleného zdroje vody

Voda byla přiváděna ze vzdálených míst umělými vodními příkopy – koryty, někdy jich je několik vedle sebe a vedou i k několika milířům. Některé příkopy jsou dodnes zavodněny protékajícími potoky od pramenů.

6) Bez zdroje vody

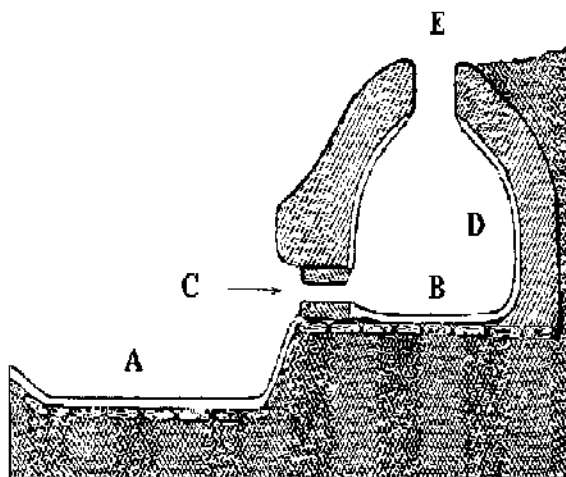
Dešťová voda byla jímána do nádrží – vykopaných jam, kterých je v terénu kolem milířů zpravidla vždy několik a v době sucha byla rozvážena na voznicích.

7) U cest

Podél starých místních nebo důležitých obchodních komunikací, byly některé sotva patrné zaniklé lesní cesty, které milíře v lese spojují (ke svážení dřeva k milířům a pak z něho vyrobeného uhlí), na důležité komunikace se posléze napojují. Některé tyto cesty jsou používány doposud. V několika případech vedou přes milíře nové cesty. Některé milíře jsou cestami „rozpuřeny“ tak, že po obou stranách cest se v těchto místech z břehů sype dřevěné uhlí.

2. 2. Výroba železa v pecích [5]

Pec se vyplnila klestím a přikryla struskou, na níž se zapálilo dříví a od něj dřevěné uhlí (nikoliv kamenné). Po rozpálení pece se do šachty vrstвило dřevěné uhlí a drobná železná ruda v poměru 3:1. Ruda se vytrídila a někdy i pražila nebo nechala delší dobu zvětrat. Do pece se zdola dmýchal vzduch. Až se asi po deseti hodinách dosáhlo teploty 1300°C , kdy působením žaru a uhlíku vznikalo redukci oxidů železa těstovité a houbovitě železo – lupa a tekutá struska, která stekla do nístěje, kde spálila výplň a ztuhla. Ještě žhavá houba se z pece vylomila a na plochem kameni se palicemi hutnila, aby se vymačkal zbytek strusky a odpadly okuje.



Obr. č. 3 Boční řez redukcí šachtovou železářskou pecí: A- předpecní jáma, B – nístěj, C – větrný tunel s odpichem (výpustí), D – šachta, E – kychta otvor k vybírání železné lupy

2. 3. Základní kovářské operace [1]

K základním operacím volného kování patří utínání, pēchování, vytahování, rozkování, ostření či hrocení, osazování, ohýbání, svinování, zkrucování, rozštěpování, probíjení, prořezávání, kovářské svařování a rovnání. Vedle volného kování existuje kování zápustkové, při němž se využívá různých matric a zápustek. Mezi zápustkové kování patří ražení.

Utínání

Utínání je nejrychlejší a nejběžnější způsob dělení materiálu. Odsekávat lze za studena, ale jen u tenčích prutů nebo plechů. K tomu jsou určeny sekáče s ostřím asi 60°. Při sekání za tepla se sekáče kladou na místa ohřátá do červeného žáru a úderem kladiva se zatnou do děleného kusu. Lze odsekávat ze shora, ale i zespodu pomocí utínek. Silnější kusy se nasekávají z obou stran (utínkou i sekáčem).

Pēchování

K pēchování žhavého kovu dojde při úderu ve směru podélné osy předmětu. Výsledkem je zmenšující se délka a zvětšující se průměr. Pēchováním za studena se docílí také zvýšení pevnosti materiálu. Napēchování se využívá pro tváření hlav čepů, hřebíků a nýtů.

Prodlužování neboli vytahování

Vytahování je pravým opakem pēchování, tzn. že výrobek se prodlužuje a ztenčuje. Při této operaci je důležitá teplota předmětu. Jakmile teplota přejde do tmavě červeného žáru musí se s kovářím přestat a znovu ohřívát, jinak by vznikly trhlinky. Technika vytahování může být jednostranná prováděná nosem kladiva nebo oboustranná, kdy se pracuje nosem kladiva shora a oblou utínkou na kovářině zdola. Tyč se obrací o 90°, aby se udržoval tvar průřezu.

Rozkování

Při rozkování neboli rozšiřování se klade nos kladiva rovnoběžně s osou předmětu. Stejně naopak při vytahování se začíná od prostředku ohřátého místa. Rozšiřováním se zhotovují břitové části čepelí a seker.

Ostření a hrocení

Ostření a hrocení patří také mezi druh vytahování a jeho cílem je dát hranám předmětu tvar břitu nebo hrotu různého průřezu. Při hrocení se musí předmět neustále otáčet, aby hrot byl rovný a souměrný.

Osazování

Osazování je táhlé zúžení a změna průřezu výkovku, čímž vzniká stupňovitý útvar, odsazení. Osazují se konce tyčí a hranolů a to jednostranně nebo ve všech stranách a přitom tenčí konec může být hranatý, oblý nebo fasetovaný. Při osazování se ocel ohřívá do jasně červeného žáru a kove se až do temně červeného žáru, kdy je nutno opakovat ohřev není-li práce dokončena.

Rozštěpování

Často je potřeba výrobek naseknout, aby se konce mohly ohýbat do různých směrů. Rozštěpování se provádí drobnými nástroji jako při sekání (sekáči nebo speciálními prořezávacími kladivy). Rozštěpování se děje za tepla, neboť neohřáté konce by se snadno mohli odlomit. Aby se případná trhлина dále nerozšiřovala namáháním v procesu probíje se předem malý otvor v konci rozštěpu. Nejvíce se rozštěpování užívá v uměleckém kovářství.

Probíjení, prorážení, děrování

Probíjení, prorážení, děrování je nejrychlejší a nejvýhodnější způsob jak opatřit ocelové nástroje různými otvory. Probíjení má proti vrtání tu výhodu, že do značné míry respektuje vlákna, která roztahuje. Jako nástroje se používá kladivo a průbojníky nebo probíjecí kladiva.

Zkrucování čili tordování

V moderním strojírenství se zkrucování nedoporučuje, neboť materiál zkrucovaný podél osy se dostává do nepříznivých pnutí, kdy povrchová vlákna kovu jsou namáhána tahem a vnitřní partie tlakem. Zkrucování se provádí v světle červeném žáru tak že se jeden konec upne a druhým se otáčí pomocí kovářských kleští. Odstraněním vnitřních pnutí se dosáhne novým ohřevem a velmi opatrným chlazením. Nejčastěji se tato operace využívá v uměleckém kovářství.

Ohýbání

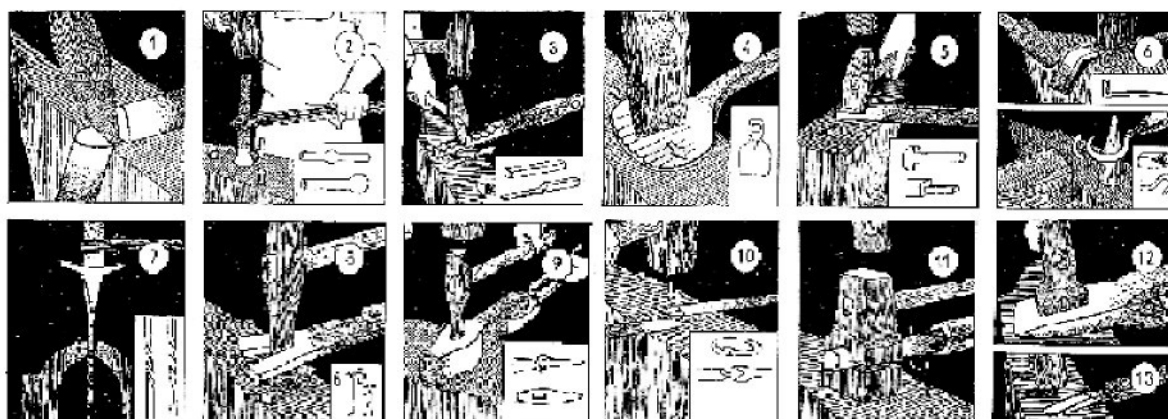
Ohýbání je velmi častá kovářská operace, při níž se uděluje ose předmětu jiný směr. Rozlišuje se ohýbání do úhlu, do oblouku a svinování. Tenčí dráty ze železa nebo měkkých ocelí se ohýbají za studena, silnější průřezy se musí ohřívat na žlutý žár. Touto technikou se zhotovují háky, očka, články řetězů atd..

Kovářské svařování

Svařitelnost železa je jednou nejdůležitějších vlastností, která dovoluje trvalé pevné spojení dvou částí v jeden kus. Pro kovářské svařování platí zásada: *Čím méně má ocel uhlíku, tím lépe se spojuje*. Při svařování železa se musí oba kusy opatrně zahřát na 850 °C a pak rychleji co možná do nejvyššího žáru (který ten či onen druh snese). Při tom se kov spaluje, oduhličuje a okysličuje, tvoří se vrstvy okují. Aby se zabránilo vzniku okují na ohřátá místa, která začínají jiskřit se nasype svařovací prášek (křemičitý písek, prášková jíl, borax a jiné).

Rovnění čili hlazení

Ke konečným pracem při výrobě železných předmětů patří urovnávání a hlazení povrchu. Práce se provádí při nízkých teplotách (temně červený nebo červený žár). K tomu je třeba užít plošky kladiva nebo zvláštního širokého kladiva hladícího.



Obr. č. 4 Základní kovářské operace: 1 utínání, 2 pýchování, 3 vytahování, 4 rozšiřování, 5 osazování, 6 ohýbání do úhlů a do oblouku, 7 zkrucování (tordování), 8 štěpení, 9 probíjení, 10 kovářské svařování, 11 kování v zápustku, 12 rovnání (hlazení), 13 ostření.

Nasazování za tepla

Nasazování za tepla je jiný způsob spojování. Je založen na skutečnosti, že chladnoucí ocel se smršťuje. Tento princip využíval venkovský kolář pro nasazení obruče na kolo nebo bednář při nasazování obručí na sudy.

2. 4. Tepelné a chemicko tepelné zpracování [1]

Když kovář dokoval tvar předmětu, nebyl zpravidla ještě s prací hotov, zbývala mu choulostivá práce, která se musela provádět po opětovném a velmi opatrném zahřátí. Počítá se k němu žihání, cementace, kalení, popouštění a nitridace.

Žihání

Žiháním se označuje takové tepelné zpracování, jehož cílem je dosažení nebo přiblížení se k rovnovážnému stavu oceli. Účelem žihání bývá nejčastěji zmenšení strukturní nebo chemické heterogenity výrobku, snížení tvrdosti, zlepšení obrobitelnosti, tváritelnosti za studena a snížení vnitřního pnutí. Proto není vyloučeno, že již v staří kováři žihali opatrně ocelové kusy před vlastním plastickým zpracováním za studena. K neúmyslnému vyžihání předmětů nedocházelo po skončení výroby, ale při požáru budov nebo když byly spalovány spolu s mrtvým na pohřební hranici.

Kalení

Jestliže, ocel obsahuje alespoň 0,4% C je možné její tvrdost ještě podstatně zvýšit zakalením, tj. prudkým ochlazením po předešlém ohřevu. Při této operaci vznikají velká vnitřní pnutí, proto je nutno zacházet s kaleným předmětem opatrně, neboť by se mohl znetvořit či popraskat. Povrch předmětu se nesmí oduhličít, proto musí být dokonale obklopen palivem a chráněn před dmýchaným vzduchem. Rozžhavený kus se ponoří do kalici tekutiny (voda, slaná voda, olej, atd.) vždy svisle. Má se jím pohybovat nahoru a dolů, aby na jeho povrchu neulpěly bublinky plynů, neboť tato místa by se neprokalila.

Popouštění

Brzy po tom, co vešla ve známost výhoda místního kalení, byla objevena metoda popouštění, to je opětovné ohřátí celého kaleného místa. Tvrdost se tím zmenšila jen málo, zato houževnatost velice vzrostla. Při popouštění byl důležitý odhad teploty, kovář ji určoval

tak jako dnes podle barvy náletu na obroušených kalených místech, která byla ohřívána na teploty:

° C	barva náletu	užití
210	běložlutá	
220	světle žlutá	sekáče, nože, hoblíky
230	žlutá	
240	tmavožlutá	
250	hnědožlutá	kladiva, vrtáky, pily na kov
260	hnědočervená	
270	purpurová	průbojníky, kovářské sekáče
280	fialová	
290	tmavomodrá	pružiny
300	chrpově modrá	
310	světle modrá	nýtovačky, sekery, kosy
320	šedozelená	

Cementování

Železo má schopnost nasycovat se za určité teploty uhlíkem z vnějšku. K prvotnímu nauhličování docházelo v malé míře – někdy jen náhodně, jindy úmyslnou regulací pochodu – již v první tavící peci. Lupa mohla být nauhličena jen na povrchu, jestliže se k ní uhlík dostal. Metalografie nás zpravuje o tom, že umění nauhličovat břit je právě tak staré, jako kovářství železa samo. Bez této znalosti by patrně nebyl rozvoj železářství ani možný.

Kromě nauhličování musíme rozlišovat cementaci v dnešním slova smyslu, což znamená sycení hotových výrobků uhlíkem v uzavřených a nahříváných schránkách. Archeologických nálezů cementovaných po celém povrchu bylo dosud objeveno málo.

2. 5. Zpracování za studena [1]

Některé z kovářských operací jako ohýbání, sekání, probíjení, štěpení se mohou provádět i za studena, ovšem jen u malých částí. Mezi důležité způsoby staré kovářské praxe bylo kování za studena, nýtování, výroba plechů, ostření a broušení.

Kování za studena

Kromě formování se užívalo i kování za studena, používané hlavně k ostření, které mělo zároveň zvýšit tvrdost břitu i u výrobků železných patří sem i známé naklepávání. Věci kované za studena pokud nebyly později znovu ohřány a překovány, mají zrna zdeformovaná, zploštělá.

Nýtování

Nýty jsou známy v kultuře od doby, kdy člověk poznal kov. O nýtovacím umění lze mluvit při zmínkách o práci časně středověkých dílen na kroužkovou zbroj, kde bylo potřeba snýtovat desetitisíce malých drátěných kroužků.

Výroba plechu

Kování železného plechu bylo obtížné, takže nejstarší plechové výrobky nejsou příliš hojné. Keltové ovládli výrobu plechu dokonale a vyráběli z něho krásně zdobené pochvy k mečům a puklice různých tvarů. Slované a možná i Avaři zase vynikli ve výrobě železného plechového nádobí. Ze železného plechu byla i šupinatá brnění a hlavně přilby. Plech se patrně rozkovával za tepla a za studena se pak vytepával a vyhlazoval.

Výroba drátu

Dávno před rozšířením kovářství už byla známa technika zhotovení drátu, což je vidět na špercích, sponách a jehlicích z doby bronzové.

Broušení

Operace ostření dalo sice noži či sekerě tvar břitu, ale k vlastní práci se musel hotový nástroj nabrousit a to nejen po dokončení, ale i během provozu, když se ostří otupilo. Brousit se mohlo nahrubo pilníkem a potom brouskem. Častým nálezem na sídlištích doby železné jsou bulžňíkové nebo jiné kamenné brousky.

K ostatním úpravám povrchu patřilo hlavně ve zbrojířství leštění (dřevo, jíl, tuk) a leptání dosažitelnými činidly (damask, ornamenty, nápisy).

3. Praktická část

3. 1. Metodika rozboru

Popisy a obrysy předmětů poskytnutých od Vlastivědného muzea a galerie v České Lípě jsou převzaty z archeologické zprávy „Nové poznatky o dobývání a zpracování rud v Lužických horách“ od Petra Havránka, Miroslava Plekance, Jana Štíky. Vzorky byly připraveny podle standardních postupů pro metalografické výbrusy a metalografické rozboru. Vzorky byly vypreparovány pilkou na železo a posléze zalisovány na stroji SIMPLINET 1000. Broušeny na kotoučích a poté leštěny a leptány. Nejprve leptány dle Oberhoffera pro zjištění obsahu fosforu ve vzorcích a poté Nitalem a pozorovány v leptaném stavu na optickém mikroskopu Nikon (model Epiphot 200). Posléze přeneseny do počítačového programu LUCIA a hodnoceny dle normy ČSN 42 0462. Dále byla změřena mikrotvrdost na přístroji BUEHLER Micronet 2100 Series a obsah uhlíku na každém vzorku pomocí Metalografické tabulky od V. Košeleva.

3. 2. Popis vzorku, metalografické rozboru

I)

Vzorek: **Podkova**

Naleziště: **Pod Čerstvým pramenem**

Popis: Podkova je vykována ze železného pásu. Úzká ramena vytvářejí parabolický oblouk, na obou ramenech obdélníkové otvory pro hřeby (3 + 3). Délka - 156 mm, šířka - 90 mm, šířka konce ramene - 18 mm, obdélníkové otvory – 6.

Metalografický popis: Podkova je vykována nejméně ze dvou plátů. Vměstkovitost je řádkovitá dle kování s většími plochými vměstky i malými kulovitými vměstky. V oblasti I je struktura perlitickoferitická s obsahem uhlíku 0,6 % a velikostí zrn 9 dle ČSN. V oblasti II je struktura feritickoperlitická s obsahem uhlíku 0,2 % a velikostí zrn 4 dle ČSN. V oblasti III je struktura perlitickoferitická s obsahem uhlíku 0,6 % a velikostí zrn 9 dle ČSN. V oblasti IV je struktura feritickoperlitická s obsahem uhlíku 0,2 % a velikostí zrn 7-8 dle ČSN.



Obr. č. 5 Podkova s označeným odběrem vzorku.

Vzorek: **Klín 2**

Naleziště: **jeskyně pod Strážištem**

Popis: Klín č. 2 je vykován z jednoho kusu kovu, délka 119 mm, šířka hlavy 26 mm, šířka plosky 35 mm, tloušťka se pohybuje od hlavy 20 mm až na konec klínu 2 mm.

Metalografický popis: Klín č. 2 je vykován z jednoho kusu, vměstkovitost je řádkovitá s dlouhými plochými vměstky. Struktura je feritickoperlitická s obsahem uhlíku 0,2 % a velikostí zrn 5 dle ČSN.



Obr. č. 6 Klín č.2 s označeným odběrem vzorku.

Vzorek: **Klín 7**

Naleziště: **jeskyně pod Strážištem**

Popis: Klín č. 7 je vykován z jednoho kusu kovu, délka 118 mm, šířka hlavy 25 mm, šířka plosky 35 mm, tloušťka se pohybuje od hlavy 25 mm až na konec klínu 3 mm.

Metalografický popis: Klín č. 7 je vykován z jednoho kusu, vměstkovitost je řádkovitá s dlouhými plochými vměstky a místy i kulovitými. Struktura je feritickoperlitická s obsahem uhlíku 0,2 % a velikostí zrn 7 - 8 dle ČSN.



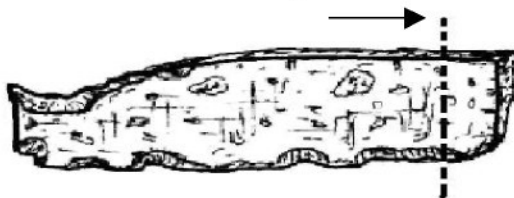
Obr. č. 7 Klín č. 7 s označeným odběrem vzorku.

Vzorek: **Klín**

Naleziště: **Milíř č. 3**

Popis: Klín délky 64 mm, šířky - 22 mm, tloušťky - 5 mm.

Metalografický popis: Klín je vykován z jednoho kusu, vměstkovitost je velmi malá, struktura je perlitickoferitická s obsahem uhlíku 0,45 % a velikostí zrn 7-8 dle ČSN.



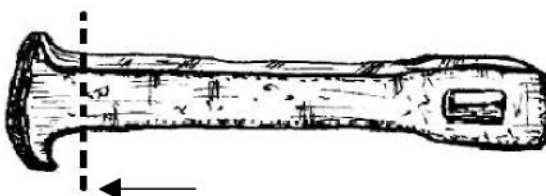
Obr. č. 8 Klín s naznačeným odběrem vzorku.

Vzorek: **Zákolník**

Naleziště: **Milíř č. 18**

Popis: Zákolník – délka - 91mm, šířka - 23 mm, tloušťka - 16 mm, na konci je vytvořen probíjecí technikou, otvor 11 x 5 mm, tělo je čtvercového průřezu 10 x 10 mm.

Metalografický popis: Zákolník je vykován z jednoho kusu, vměstky jsou neuspořádané různých velikostí a tvarů, struktura je feritickoperlitická s obsahem uhlíku 0,2 % a velikostí zrn 4 dle ČSN.



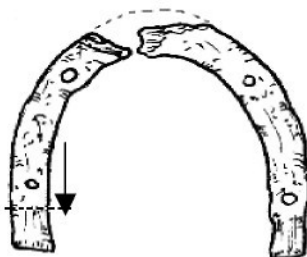
Obr. č. 9 Zákolník s naznačeným odběrem vzorku.

Vzorek: **Podkůvka z pracovní boty**

Naleziště: **Milíř č. 18**

Popis: Podkůvka z pracovní boty, zlomená na dvě části, délka – 60 mm, šířka – 65 mm,

Metalografický popis: Podkůvka z pracovní boty je vykována z jednoho kusu, vměstkovitost je velmi malá, struktura je feritická s obsahem uhlíku 0,1 % a velikostí zrn 8 - 9 dle ČSN.



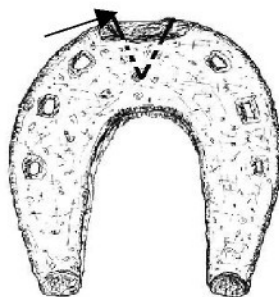
Obr. č. 10 Podkůvka z pracovní boty s naznačeným odběrem vzorku.

Vzorek: **Podkova**

Naleziště: **Milíř č. 22**

Popis: Podkova koňská je vykována ze železného pásu s rohlíkovitým tvarem, na obou ramenech obdélníkové otvory pro hřeby (3 + 3). Délka - 137 mm, šířka - 120 mm, tloušťka - 8 mm, šířka konce ramen - 95 mm, otvorů - 6.

Metalografický popis: Podkova je vykována z jednoho kusu, vměstkovitost je řádkovitá dle kování s většími plochými vměstky i malými kulovitými vměstky. V oblasti I je struktura feritickoperlitická s obsahem uhlíku 0,2 % a velikostí zrn 6 dle ČSN. V oblasti II je struktura perlitickoferitická s obsahem uhlíku 0,6 % a velikostí zrn 6 dle ČSN.



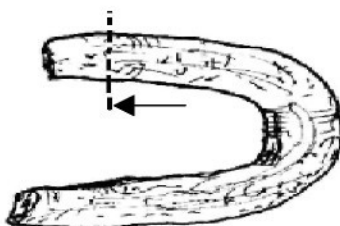
Obr. č. 11 Podkova s označeným odběrem vzorku.

Vzorek: **Řetězový článek**

Naleziště: **Milíř č. 22**

Popis: Řetězový článek, plochý, dlouhý, roztržený, délky - 50 mm, šířky - 42 mm, průměr článku - 10 mm.

Metalografický popis: Řetězový článek je vykován z jednoho kusu, vměstkovitost je řádkovitá s malými kulovitými vměstky, struktura feritickoperlitická s obsahem uhlíku 0,2% velikostí zrn 5 dle ČSN.



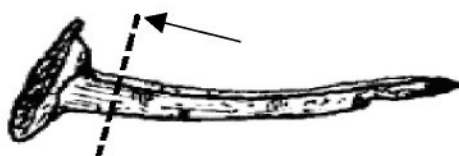
Obr. č. 12 Řetězový článek s označeným odběrem vzorku.

Vzorek: **Hřeb**

Naleziště: **Milíř č. 39**

Popis: Hřeb plochý, kovaný délky - 48 mm, šířky - 20 mm a průměru 10 mm.

Metalografický popis: Hřeb je vykován z jednoho kusu, vměstkovitost neuspořádaná s kulovitými vměstky, struktura feritickoperlitická s obsahem uhlíku 0,2 % a velikostí zrn 6 – 7 dle ČSN.



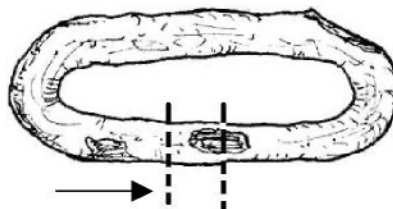
Obr. č. 13 Hřeb plochý s označeným odběrem vzorku.

Vzorek: **Řetězový článek**

Naleziště: **Milíř č. 39**

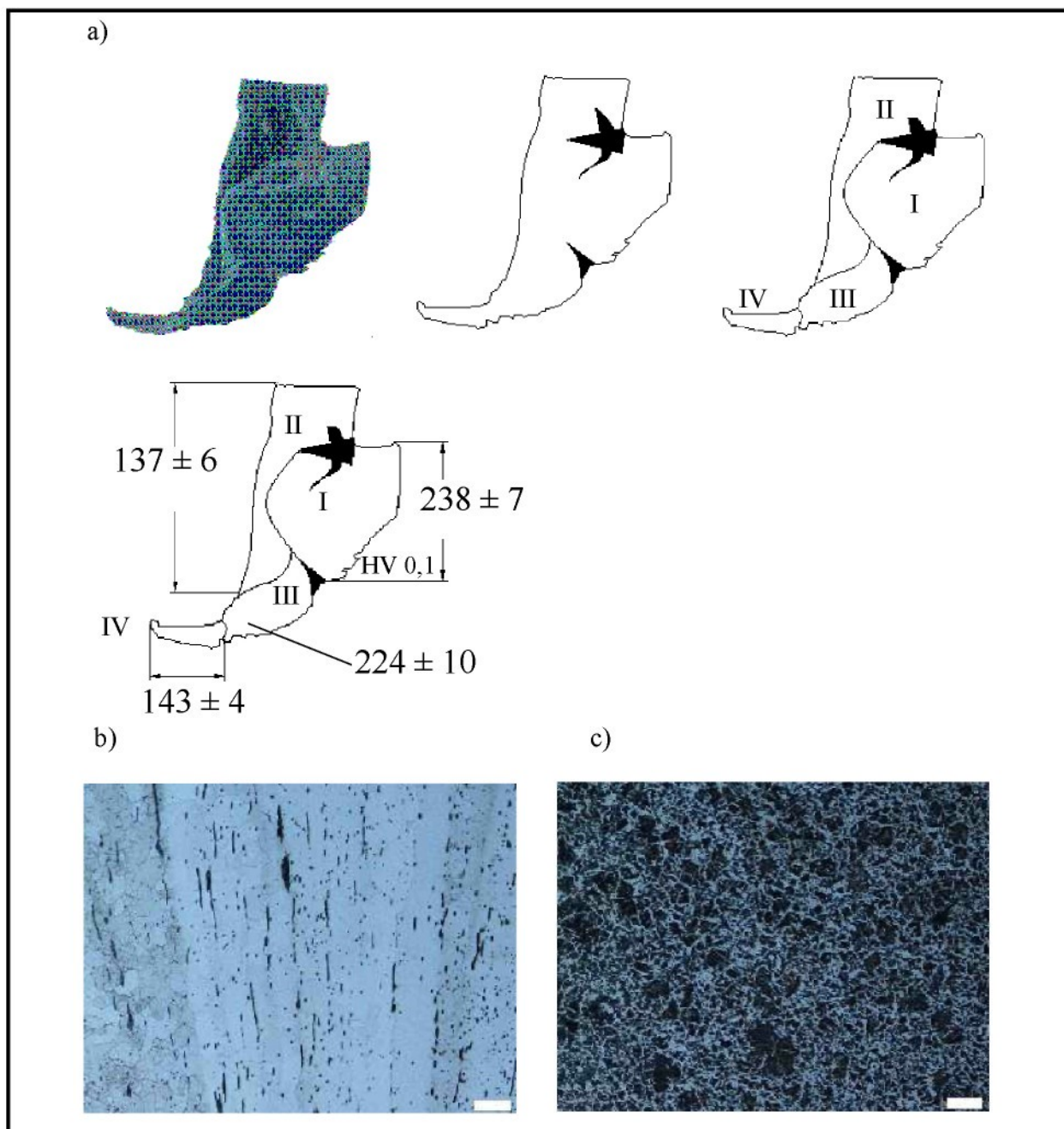
Popis: Řetězový článek plochý, dlouhý, celý, délky - 90 mm, šířky - 35 mm a průměr článku 10 mm.

Metalografický popis: Řetězový článek je vykována z jednoho kusu, vměstkovitost je neuspořádaná s plochými i kulovitými vměstkami, struktura feritickoperlitická s obsahem uhlíku 0,2 % a velikostí zrn 5 dle ČSN.



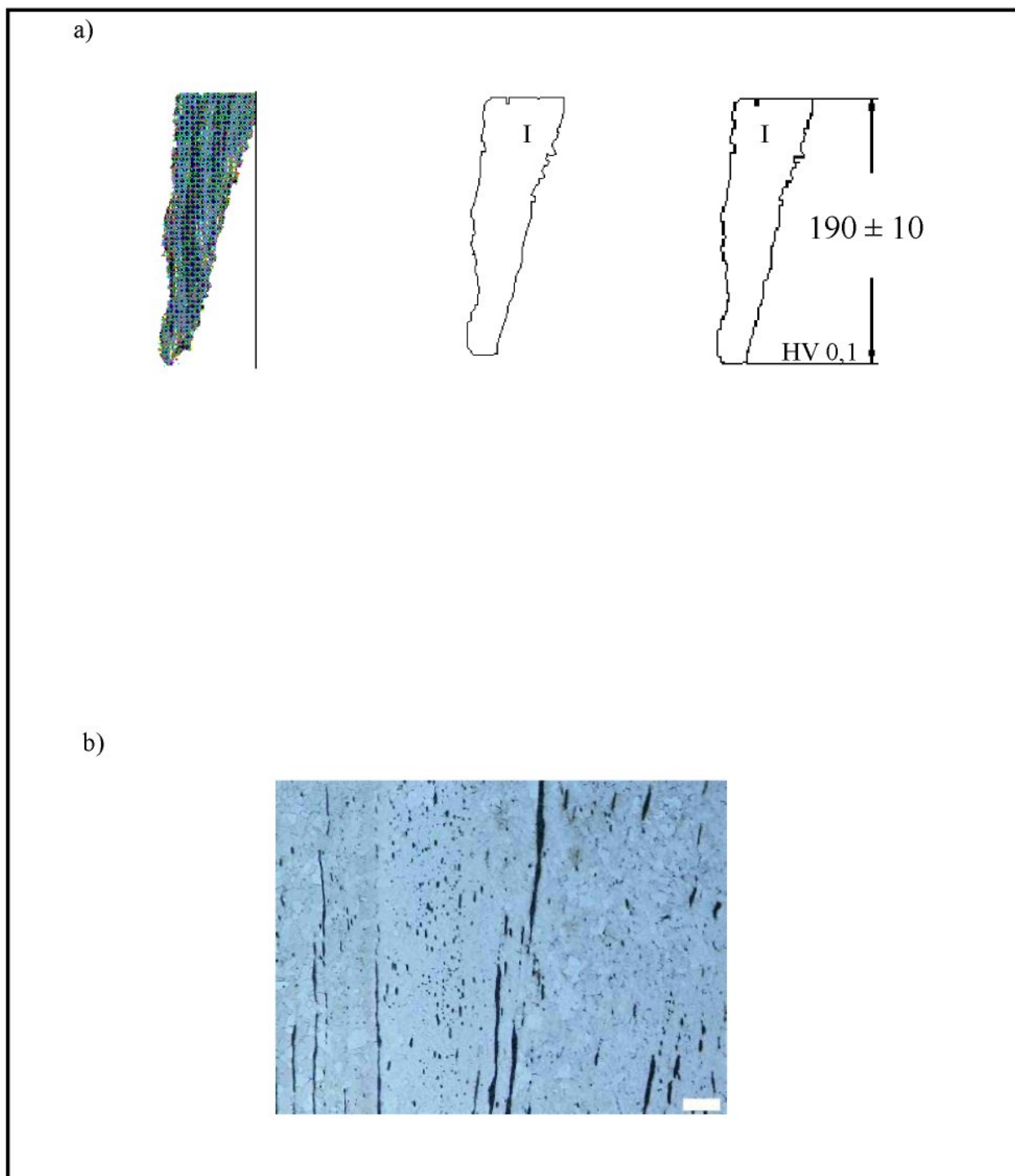
Obr. č. 14 Řetězový článek s označeným odběrem vzorku.

II)



Obr. č. 15 Podkova - Pod Čerstvým pramenem

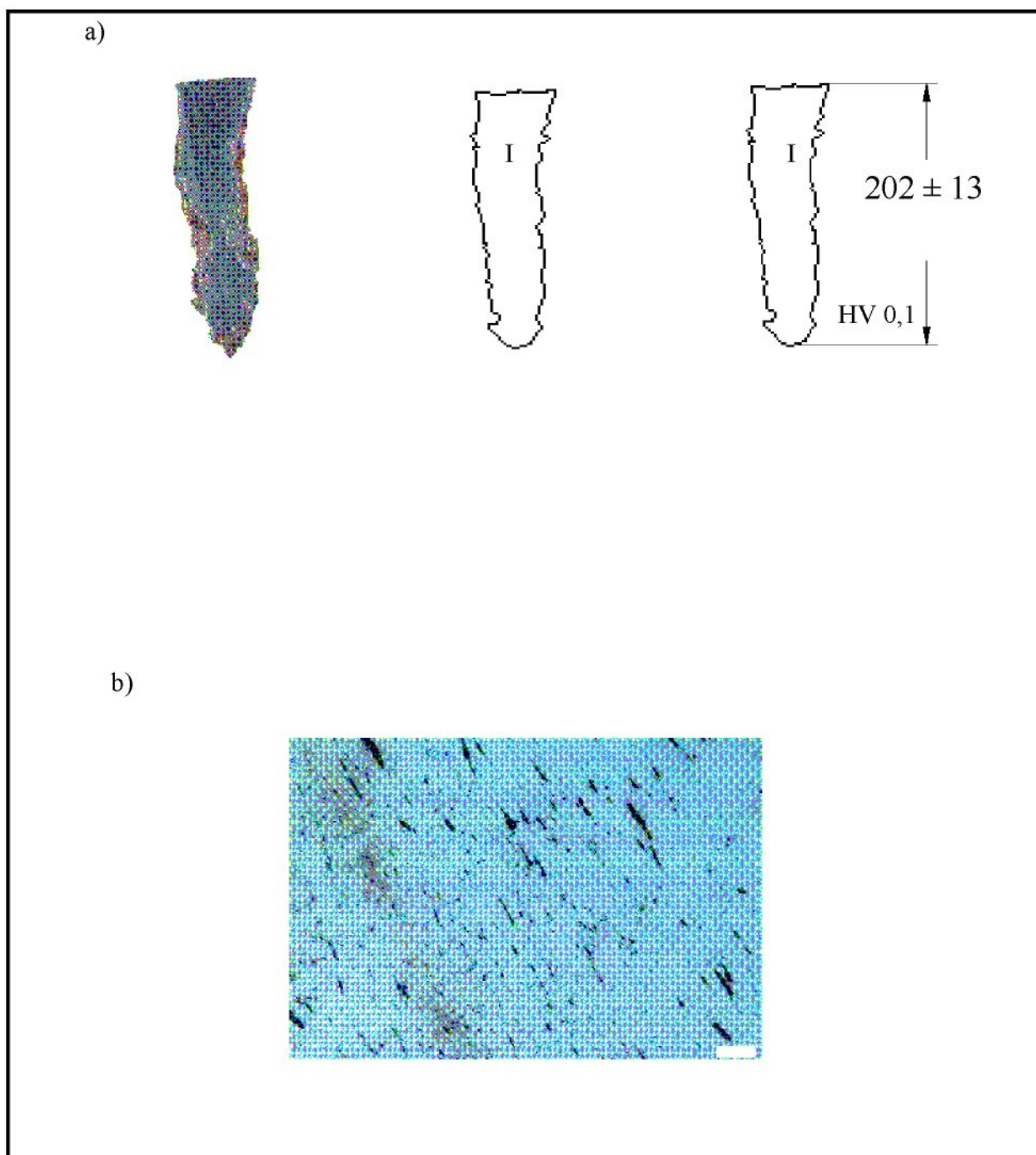
- a) schématický náčrt vzorku (leptáno dle Oberhoffer, neleptaný stav, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)
- b) feritickoperlitická oblast II (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm
- c) perlitickoferitická oblast I (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm



Obr. č. 16 Klín 2 - jeskyně pod Strážišťem

a) schématický nákres vzorku (leptáno dle Oberhoffer, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)

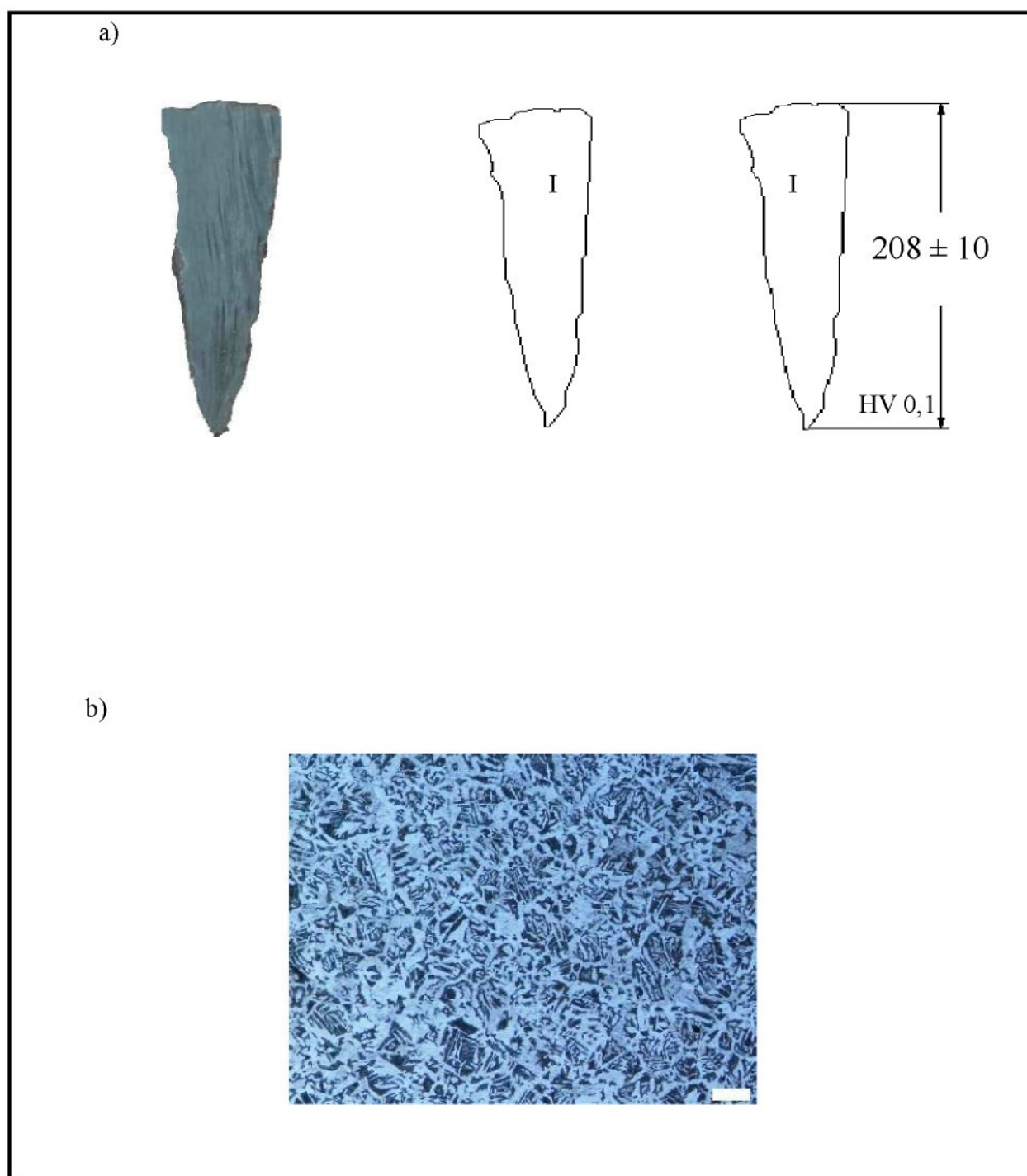
b) feritickoperlitická oblast I (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm



Obr. č. 17 Klín 7 - jeskyně pod Strážištem

a) schématický náčrt vzorku (leptáno dle Oberhoffer, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)

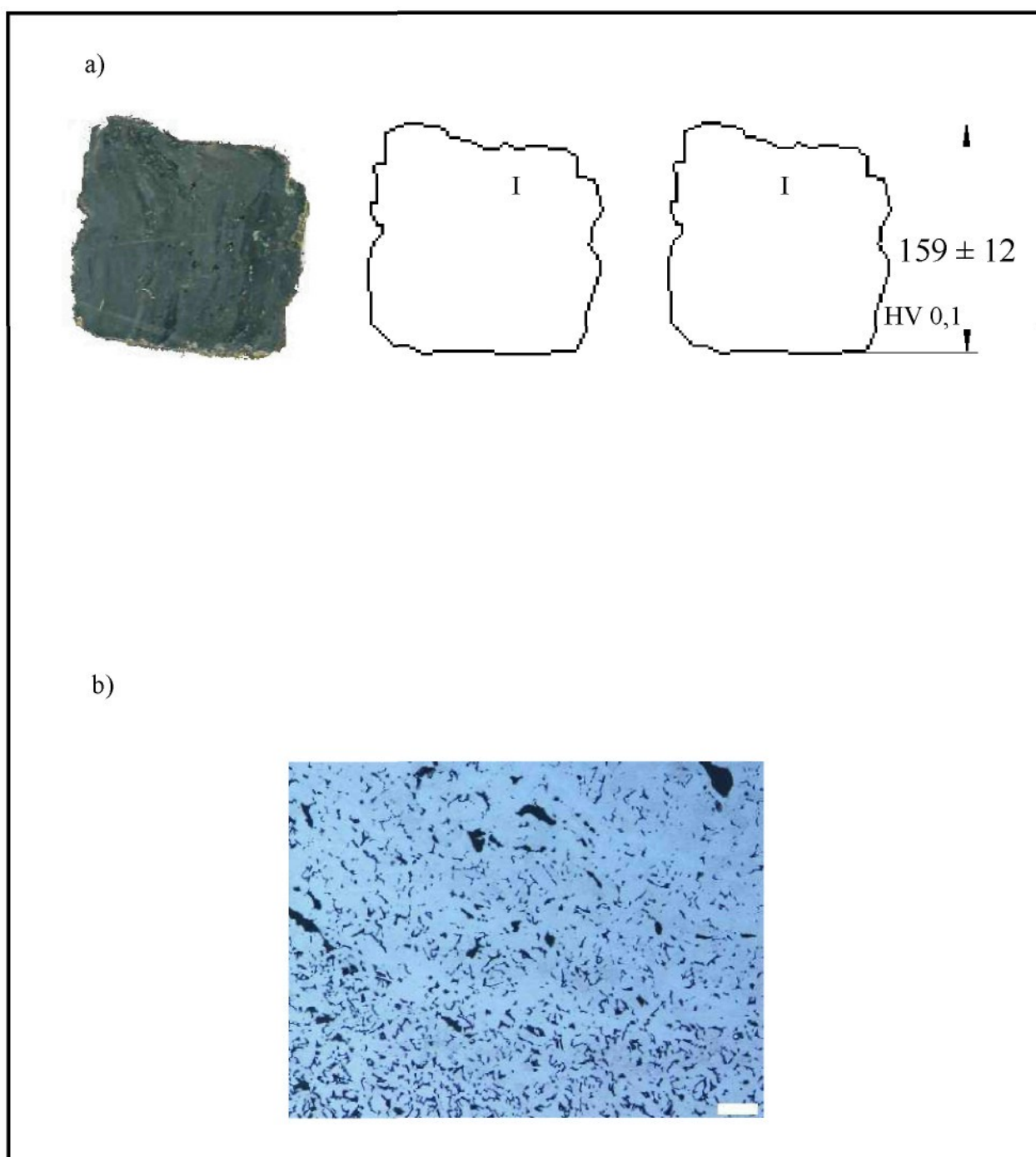
b) feritickoperlitická oblast I (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm



Obr. č. 18 Klín - Milíř č. 3

a) schématický náčrt vzorku (leptáno dle Oberhoffer, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)

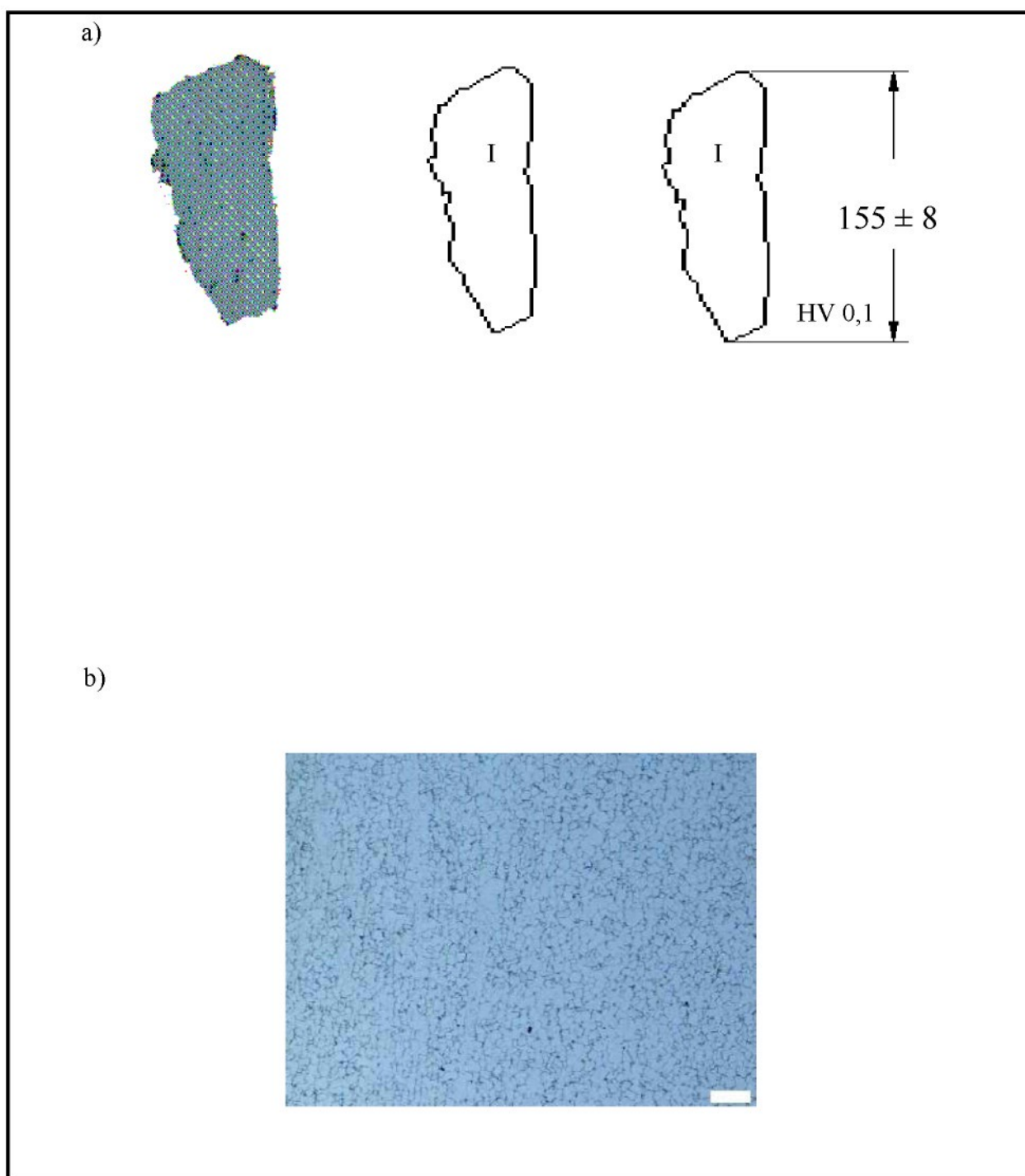
b) perlitickoferitická oblast I (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm



Obr. č. 19 Zákolník - Milíř č. 18

a) schématický náčrt vzorku (leptáno dle Oberhofferu, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)

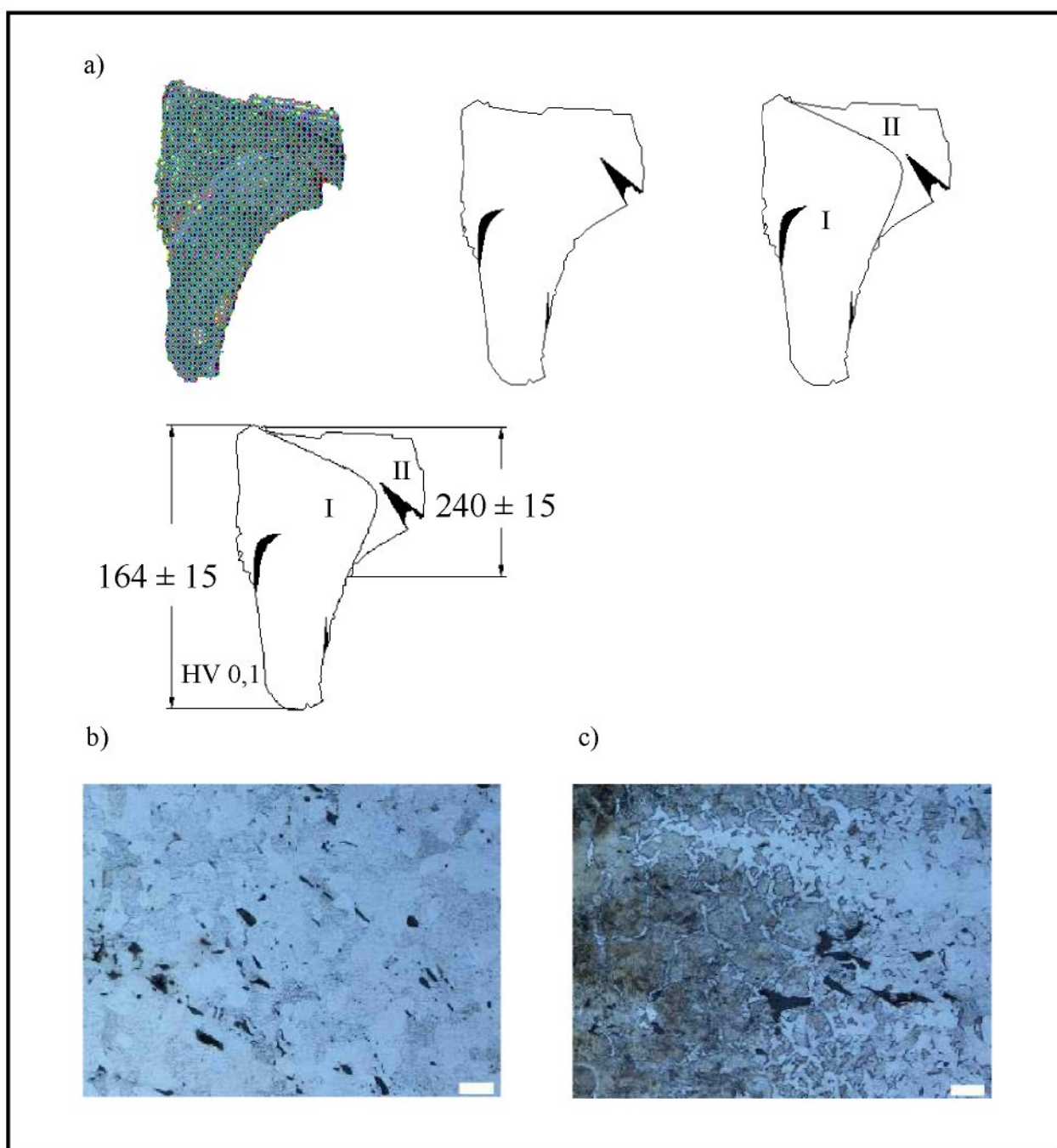
b) feritickoperlitická oblast I (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm



Obr. č. 20 Podkůvka z pracovní boty - Milíř č. 18

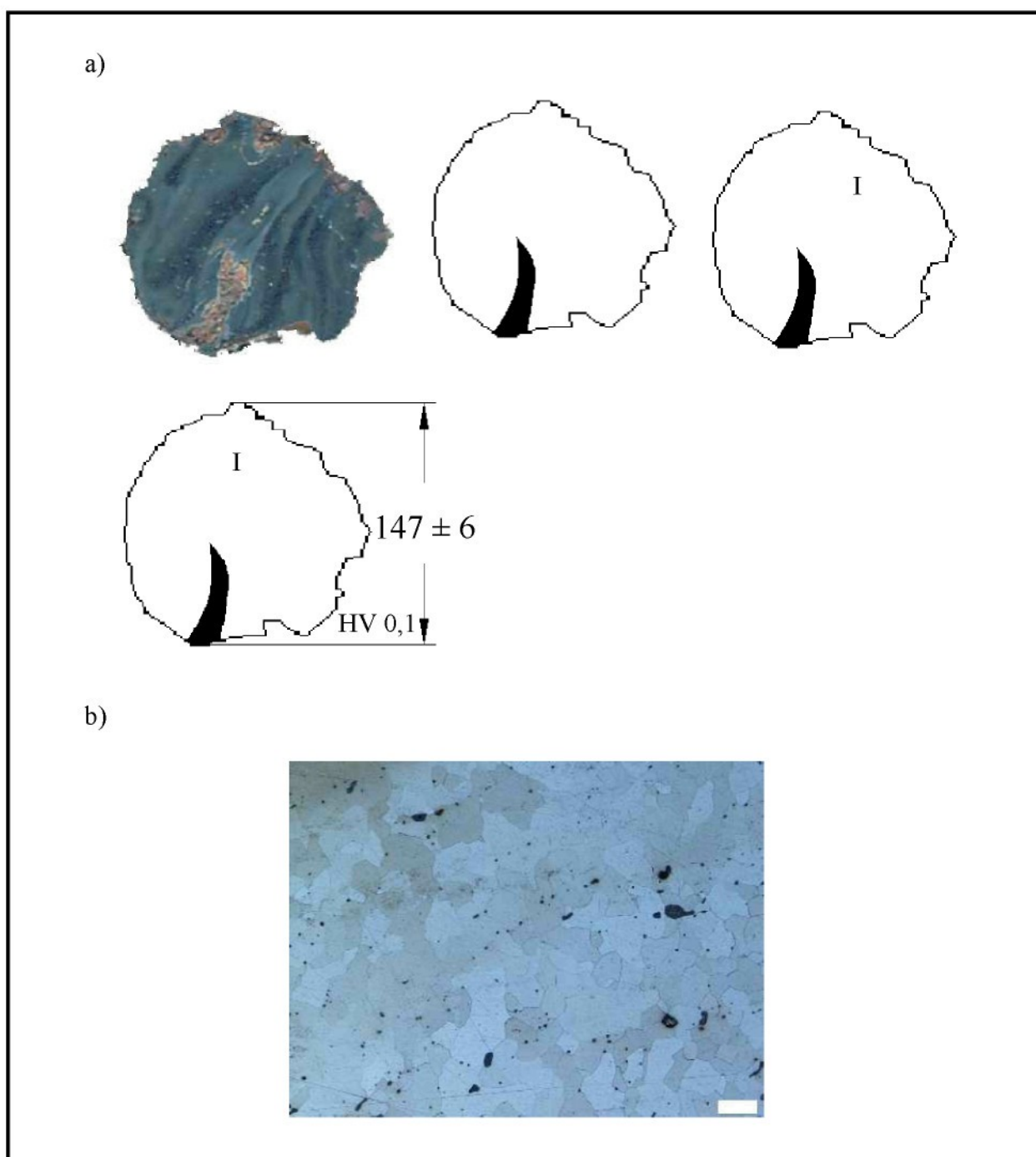
a) schématický náčrt vzorku (leptáno dle Oberhoffer, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)

b) feritická oblast I (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm



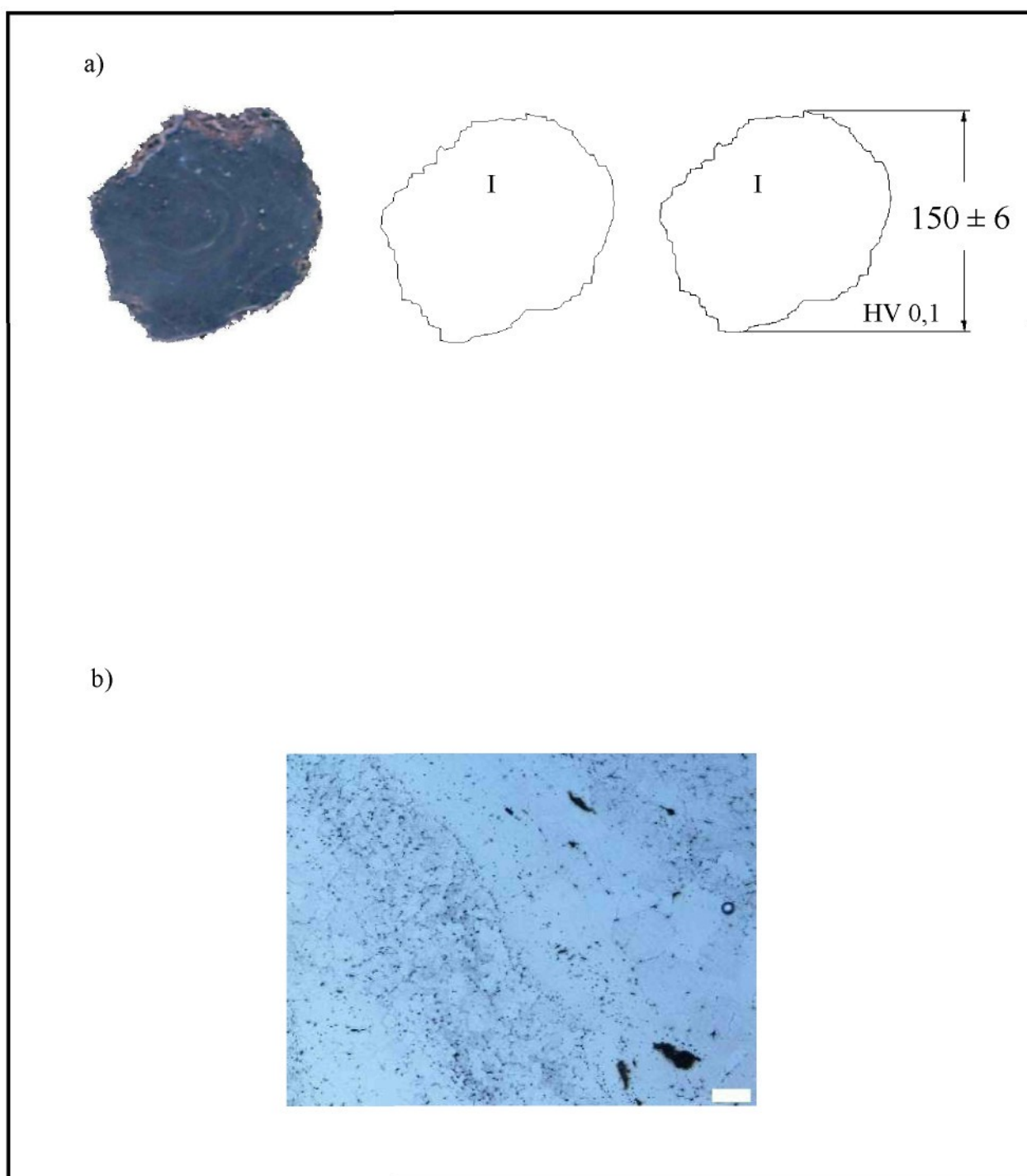
Obr. č. 21 Podkova - Milíř č. 22

- a) schématický náčrt vzorku (leptáno dle Oberhoffera, neleptaný stav, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)
- b) feritickoperlitická oblast I (Nital) délka bílého pruhu odpovídá $100 \mu\text{m}$
- c) perlitickoferitická oblast II (Nital) délka bílého pruhu odpovídá $100 \mu\text{m}$



Obr. č. 22 Řetězový článek - Milir č. 22

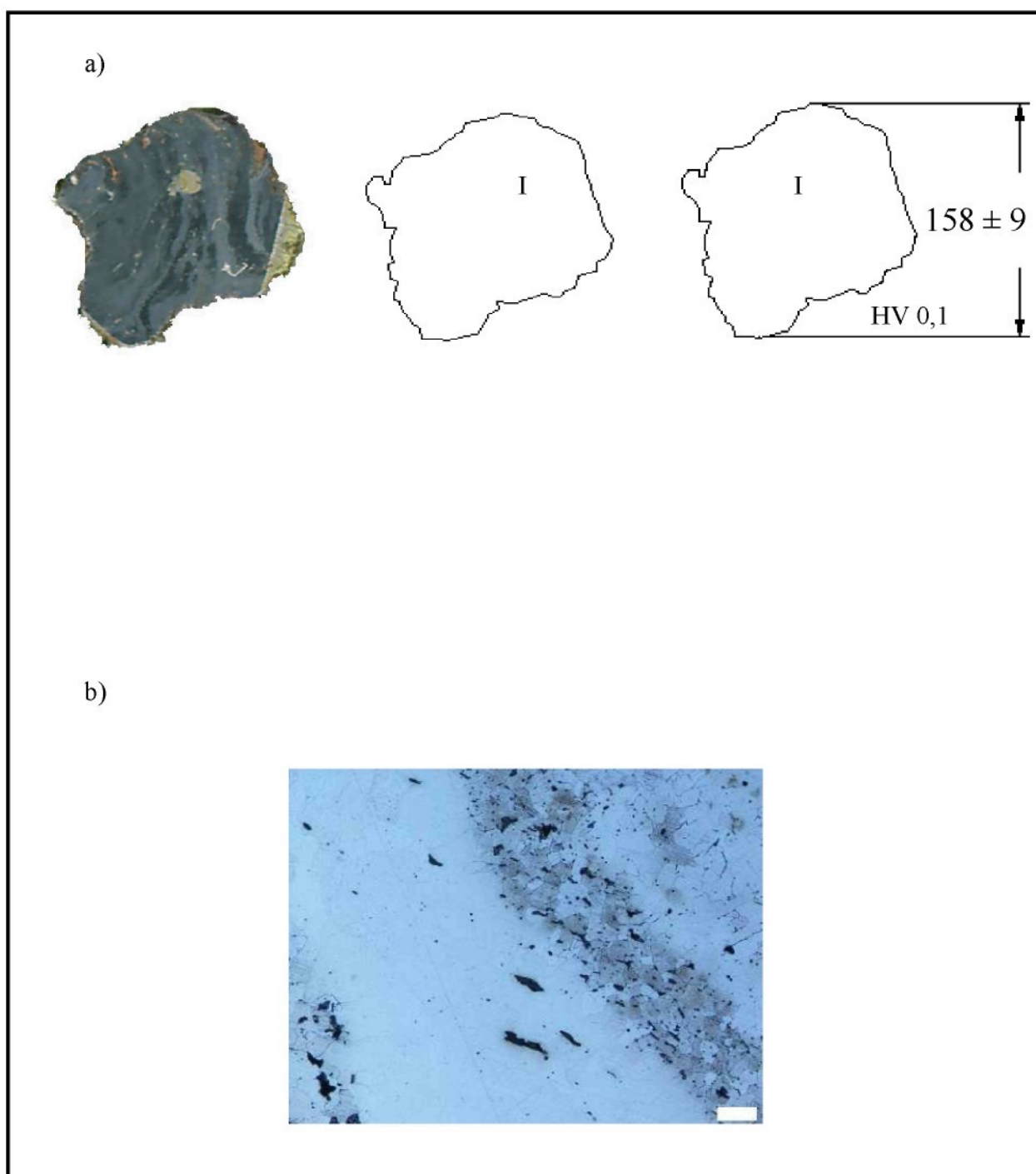
- a) schématický náčrt vzorku (leptáno dle Oberhoffer, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)
- b) feritickoperlitická oblast I (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm



Obr. č. 23 Hřeb - Milíř č. 39

a) schématický nákres vzorku (leptáno dle Oberhofferů, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)

b) feritickoperlitická oblast (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm



Obr. č. 24 Řetězový článek - Milir č. 39

a) schématický náčrt vzorku (leptáno dle Oberhoffer, popisované oblasti struktury, tvrdost dle Vickerse)

b) feritickoperlitická oblast (Nital) délka bílého pruhu odpovídá 100 μm

4. Diskuze výsledků

Podkova nalezená pod Čerstvým pramenem

Podkova je vykována ze dvou druhů oceli. Nejlépe je to vidět na obrázku č. 15, (leptáno Oberhoffrem). Každá z těchto ocelí má jinou strukturu. Samotná podkova má feritickoperlitickou strukturu a navařená ocel strukturu perlitickoferitickou. Na vzorku nebyly nalezeny stopy po tepelném zpracování.

Klín č. 2 nalezený v jeskyni pod Strážišťem

Klín je vykován z jednoho kusu oceli. Vzorek byl odebrán z plošky klínu, kde jsem předpokládala tepelné zpracování (kalení). Po naleptání byla zjištěna feritickoperlitická struktura. Tepelné zpracování na tomto vzorku nebylo prokázáno.

Klín č. 7 nalezený v jeskyni pod Strážišťem

Klín je vykován z jednoho kusu oceli. Vzorek byl odebrán ze zúžené části klínu, kde jsem předpokládala tepelné zpracování (kalení). Po naleptání byla zjištěna feritickoperlitická struktura. Tepelné zpracování na tomto vzorku nebylo prokázáno.

Klín, milíř č. 3

Klín je vykován z jednoho kusu oceli. Vzorek byl odebrán z místa, kde jsem předpokládala tepelné zpracování (kalení). Po naleptání byla zjištěna perlitickoferitická struktura. Tepelné zpracování na tomto vzorku nebylo prokázáno.

Zákolník, milíř č. 18

Zákolník je vykován z jednoho kusu oceli. Zákolník nebyl tepelně zpracován. Nalezená struktura je feritickoperlitická.

Podkůvka pracovní boty, milíř č. 18

Vzhledem k tomu že, podkůvka je rozlomena na dvě části, se domnívám, že byla vykována z jednoho kusu oceli. Na vzorku je feritická struktura, stopy po tepelném zpracování jsem nenalezla.

Podkova, milíř č. 22

Podkova je vykována ze dvou druhů železa. Nejlépe je to vidět na obrázku č. 21 (leptáno Oberhoffrem). Každá z těchto ocelí má jinou strukturu. Samotná podkova má feritickoperlitickou strukturu a navařená ocel strukturu perlitickoferitickou. Na vzorku nebyly nalezeny stopy po tepelném zpracování.

Řetězový článek, milíř č. 22

Řetězy se vyráběly z hranolu železa, které se za tepla ohýbalo, kroutilo a nakonec se oba konce svařili. Po naleptání byla zjištěna feritickoperlitická struktura. Ani u tohoto vzorku nebyly nalezeny stopy po tepelném zpracování.

Hřeb, milíř č. 39

Z jednoho prutu měkkého železa byl osazen dřík a vytažen do hrotu a v otvoru kovadliny nebo jiné podložky se pak osazená hlava napěchovala. Na tyto operace postačily dva ohřevy, z čehož se dá přepokládat, že tento předmět nebude mít tepelné zpracování. Po naleptání Nitalem byla zjištěna feritickoperlitická struktura.

Řetězový článek, milíř č. 39

Řetězy se vyráběly z hranolu železa, které se vytáhlo do vyměřené délky a na koncích se klínovitě zaostřili a ohnuli. Ani při těchto operacích nebylo zapotřebí tepelného zpracování. Po naleptání byla zjištěna feritickoperlitická struktura.

5. Závěr

Na základě dosažených poznatků je možno konstatovat, že bylo dosaženo těchto výsledků:

Podkova nalezená pod Čerstvým pramenem

Podkova má navařený plát oceli s vyšším obsahem uhlíku do spodní plochy přední části podkovy.

Klín č. 2 nalezený v jeskyni pod Strážišťem

Klín je vykován z jednoho plátu nízkouhlíkové oceli.

Klín č. 7 nalezený v jeskyni pod Strážišťem

Klín je vykován z jednoho plátu nízkouhlíkové oceli.

Klín, milíř č. 3

Vzorek je vykován z jednoho druhu oceli s vyšším obsahem uhlíku.

Zákolník, milíř č. 18

Zákolník je vykován z jednoho druhu oceli a jsou na něm prováděny tyto operace, přechování hlavy a probíjení obdélníkového otvoru.

Podkůvka pracovní boty, milíř č. 18

Vzhledem k tomu, že podkůvka je rozlomena na dvě části se můžeme domnívat, že je vykována z jednoho plátu nízkouhlíkové oceli.

Podkova, milíř č. 22

Podkova má navařený plát nízkouhlíkové oceli do horní části podkovy.

Řetězový článek, milíř č. 22

Řetězový článek je vykován z nízkouhlíkové oceli.

Hřeb, milíř č. 39

Hřeb je vykován z jednoho plátu oceli operacemi, přechováním hlavy a hrocením konce předmětu.

Řetězový článek, milíř č. 39

Řetězový článek je vykován z nízkouhlíkové oceli a spojen kovářským svařováním.

Všechny předměty odpovídají provedení středověké kovářské technice. Nástroje byli nalezeny v okolí milířů pro pálení dřevěného uhlí v Lužických horách. Na žádném odebraném vzorku nebyly nalezeny stopy po tepelném zpracování. Tepelné zpracování výkovků je přitom na jiných středověkých lokalitách zcela běžné.

Použitá literatura:

- [1] Pleiner R.: Staré evropské kovářství, ČSAV Praha 1962
- [2] Lehký V.: Diplomová práce, TU v Liberci, 2003
- [3] www.archeologie.navajo.cz/
- [4] Plekanec M., Štika J., Havránek P.: Nové poznatky o dobývání a zpracování rud v Lužických horách, 2002
- [5] www.volny.cz/lynxx/vyst.htm
- [6] Košelev V.: Metalografické tabulky, Technickovědecké vydavatelství Praha, 1952
- [7] Norma ČSN 42 0462