

# Archeometalurgické štúdium stredovekej výroby železa a železných predmetov zo Svinice

Ľubomír Mihok, Dušan Čaplovič

Systematický archeologický výskum stredovekej dediny Svinica, okr. Košice, priniesol medzi inými nálezmi aj mnohé nálezy železných predmetov väčšinou hospodárskeho charakteru. Veľký počet týchto predmetov bol zistený v zahĺbených obydliach, najmä v tých, ktoré boli datované od 13. storočia. Ďalšie železné predmety boli nájdené na mieste feudálneho sídla, resp. hospodárskych objektov k nemu patriacich, datovaných do polovice 14. st. Archeologickým výskumom neboli zistené zbytky hutníckych a kováčskych dielní. Táto činnosť je však na lokalite doložená nálezmi trosky, odpadného produktu pri výrobe železa z rúd. Typickým znakom hutníckej produkcie v období existencie osady bola malovýroba, keď drobné hutnícke a kováčske dielne mala väčšina významnejších sídiel. Výraznejšia koncentrácia hutníckej výroby začína až ku koncu obdobia, ktoré je skúmané v tomto príspevku, a je charakteristická začiatkom využívania tzv. slovenských pecí.

Archeometalurgické štúdium výroby železa a železných predmetov v stredovekej osade v Svinici je na základe nálezov rozdelené do dvoch skupín. V prvej skupine je na základe nálezov a štruktúry rozbor trosiek z výroby železa, v druhej skupine je robená metalografická analýza železných predmetov.

## Trosky z výroby železa

Súbor nálezov obsahoval štyri kusy trosky. Označenie nálezov je v tabuľke II spolu s výsledkami štruktúrnej analýzy. Jednalo sa o menšie úlomky, väčšinou hranaté, zo spodu oblé. Najväčší kus, označený číslom 1, mal okrúhly tvar, priemer 70 mm a hmotnosť okolo 600 g. Trosky mali šedú až hrdzavú farbu, na lome boli kompaktné, s veľkými pórami. Vzorky trosiek boli delené diamantovou pílou, vždy jedna časť bola použitá na chemickú a druhá na mikroskopickú štruktúrnu analýzu. Výsledky chemickej analýzy trosiek sú v tabuľke I, výsledky mikroskopickej štruktúrnej analýzy, robenej na kvantitatívnom mikroskope, sú v tabuľke II.

Z tabuľky I je zrejmé, že analyzované trosky mali vysoký obsah železa, jeho podstatná časť bola prítomná v dvojmocnej forme. Trosky 1 a 3 mali vyšší obsah železa než trosky 2 a 4, tomu odpovedal aj obsah oxidu kremičitého v oboch druhoch trosiek. Obsahy oxidu vápenatého boli nízke a prakticky vylučovali možnosť použitia vápenatých prísad do vsádzky. Z rozdielného obsahu oxidu horečnatého v troskách a z podstatne vyššieho obsahu oxidu mangánu v troske 3 než v ostatných troskách je možné uvažovať o rozdielnych druhoch použitých rúd, obecné závery z tak malého počtu analýz nie je možné urobiť. Železná ruda pre tavby mohla pochádzať z neďalekých ložísk na druhej strane Slánskych vrchov v oblasti Banského a Zamutova, ktoré boli intenzívne využívané v neskorších obdobiach.

Štruktúrne zloženie trosiek, tabuľka II, úplne odpovedalo chemickému zloženiu, keď trosky 1 a 3 mali vyššie obsahy wüstitu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , trosky 2 a 4 mali olivínový charakter. Železovápenný olivín, vzhľadom k nízkemu obsahu oxidu vápenatého, mal zloženie blízke fajalitu  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ . Štruktúra trosky 1 na obr. 1 je charakteristická tým, že sú v ní vylúčené jemné dendrity wüstitu, hlavnou zložkou štruktúry bola matrica z olivínu a skla. Iný obraz poskytla štruktúra trosky 3, v ktorej sa striedali miesta s vysokým a nízkym obsahom wüstitu. V štruktúre trosky 4, obr. 2, bolo najmenej wüstitu, troska bola tvorená železovápenným olivínom a železnatým

sklom. Typické pre túto štruktúru boli jemné pásy skla.

Štruktúrne rozborov ukázali, že trosky 1 a 3 mali štruktúru typickú pre trosky, ktoré vznikli pri výrobe železa redukciou železnej rudy v malej šachtovej peci, keď redukčné činidlo a zdroj tepla v peci zabezpečilo drevené uhlie vo vsádzke. Do vsádzky neboli pridané žiadne zásadité prísady. Druhé dve trosky, 2 a 4, mali prevažne olivinický charakter a naznačili dokonalejší priebeh redukcie a dobrú separáciu vytaveného železa. Takéto trosky sa tiež dosť často vyskytovali v spomínaných pecných jednotkách už od ranného stredoveku, keď sa lepšou konštrukciou a intenzívnejším dúchaním vzduchu dosiahli vyššie teploty v procese. Takýto druh trosiek môže byť charakteristický aj pre slovenskú pec, ktorá sa začína používať koncom popisovaného obdobia, no nemožno ani vylúčiť, že sa jedná o trosku, ktorá sa oddelila od vytavenej hrudy, konglomerátu železa a trosky, vo vyhrievacej kováčskej nísteji. Tomu by mohol nasvečovať aj fakt, že štruktúra týchto trosiek obsahovala malý podiel skla, vylúčeného v jemných útvaroch, čo mohlo byť spôsobené malým gradientom ochladzovania. Práve tento predpoklad je u ohrievacích kováčskych vyhní splnený.

### **Metalografický rozbor kovových predmetov**

Z rozsiahleho súboru kovových predmetov, obsiahnutých v nálezoch, bolo pre metalografické štúdium vybraných sedemnášť, z nich pätnásť železných. Zoznam predmetov, vybraných pre analýzu, je v tabuľke III. Vzorka 3 bola archeologicky charakterizovaná ako bronzový pliešok, vzorka 4 bola tvorená ozdobami z bronzového plechu. Vzorka 4 bola nakoniec z metalografických rozborov vynechaná, pretože nebol doporučený deštruktívny spôsob analýzy. Aby sa zmenšil počet analyzovaných predmetov, boli z analyzovaného súboru vynechané aj vzorky 9 - klinec s veľkou hlavou, 11 - zlomky kosáka a 15 - železné klince. Predmety 1 a 5 boli na povrchu plátované tenkou vrstvou neželezného kovu na báze medi.

Z všetkých analyzovaných predmetov boli diamantovou pílou vyrezané vzorky. Vzorky boli odobraté tak, aby pri rezaní došlo k minimálnej strate materiálu. Po ukončení analýz bolo možné vzorky znovu vrátiť a predmety rekonštruovať do pôvodného stavu. Spôsob vzorkovania a tvar vzorkovaného prierezu sú znázornené na obrázkoch, podávajúcich výsledky metalografických rozborov.

Na vzorkách boli bežným spôsobom, brúsením a leštením, pripravené metalografické výbrusy. Na nich v nenaleptanom stave boli pozorované a fotografované nekovové inklúzie, ktoré mohli podať informáciu o spôsobe výroby železa aj o spôsobe výroby predmetu. Hlavné informácie o kováčskych spôsoboch výroby boli získané pozorovaním štruktúrneho zloženia vzoriek po zviditeľnení štruktúr leptaním nitalom. Všetky štruktúry v leptanom aj neleptanom stave boli fotografované pri zväčšení 200 x.

Pri ukončení metalografických rozborov bola na jednotlivých vzorkovaných prierezoch urobená kvalitatívna spektrálna analýza. Pretože niektoré vzorkované prierezy boli veľmi tenké, pre spektrálnu analýzu bolo zvolené budenie laserom s veľmi malým priemerom exitovaného miesta. Tento spôsob analýzy umožnil analyzovať aj povrchové plátovanie na vzorkách 1 a 5. Spektrálna analýza poskytla veľmi dôležité informácie. Plech z neželezného kovu, vzorka 3, nebol z bronzu, ale z medi, ktorá bola vytavená z polymetalických rúd s vysokým obsahom sprievodných prvkov. Náleziská takýchto polymetalických rúd sú na území Slovenska bežné. Z analyzovaného medeného plechu bolo vyrobené plátovanie na vzorke 1, zámku. Tento údaj nasvedčuje tomu, že kováčska výroba bola robená na sídlisku. Plátovanie na ostrohe, vzorka 5, bolo vyrobené z cínovo - zinkového bronzu. Zloženie železného materiálu ostrohy sa odlišovalo od zloženia ostatných analyzovaných predmetov, preto je

možné predpokladať, že ostroha nebola vyrobená miestnymi kováčmi, ale mala pôvod z iného zdroja. Zo zloženia ostatných analyzovaných železných predmetov bolo možné urobiť záver, že železo pre výrobu predmetov bolo tavené z dvoch druhov rúd, ako už bolo zistené pri analýze trosiek. Jeden z používaných druhov rúd mal vysoký obsah sprievodných prvkov. Niektoré prvky sa do železa dostali z okolitého prostredia.

Po ukončení spektrálnej analýzy bola robená analýza tvrdosti na zvolených miestach na výbrusoch vzoriek. Namerané hodnoty tvrdosti dopĺňali informácie metalografických rozborov o prítomnosti štruktúrnych zložiek na výbrusoch. Merania boli robené tvrdomerom Meopta, miesta meraní sú vyznačené na obrázkoch znázorňujúcich výsledky metalografických rozborov. Tvar niektorých vzoriek neumožnil meranie tvrdosti.

V tomto prízpevku sú prezentované metalografické rozborov niektorých železných predmetov zo súboru v tabuľke III, kompletne rozborov budú predmetom monografie o archeologickom výskume stredovekej dediny Svinica. Na základe metalografických rozborov bolo možné urobiť nasledujúce úvahy o spôsobe výroby jednotlivých predmetov.

### **Vzorka 1 - železný zámok**

Náčrt vzorky s vyznačeným miestom vzorkovania, typické štruktúry, zistené na výbruse a miesta merania tvrdosti sú na obr. 3. Na výbruse bol veľmi dobre viditeľný medený povlak, ktorý je znázornený na obrázku. Zaujímavý je výskyt drobných granúl železa v medenej vrstve, ktorý svedčí o vysokej teplote vyhriatia kovu pred nanosením medeného povlaku. Tomu nasvedčuje aj prienik medi prasklinou hlboko do vnútra železného materiálu, ktorý je tiež znázornený na obrázku. Na nenaleptanom výbruse boli zistené troskové inklúzie, potvrdzujúce priamu výrobu kujného železa vyššie popísaným spôsobom. Troskové inklúzie v pomerne veľkom množstve boli zistené len na jednej strane výbrusu, druhá strana bola veľmi čistá.

Po naleptaní vzorky nitalom bolo zistené, že prevažná časť štruktúry bola tvorená hrubozrnným feritom, hlavne v stredovej časti výbrusu. Po oboch dlhších stranách výbrusu (vyznačené šrafovaním na obrázku) bol zistený hrubozrnný ferit s veľmi malým obsahom perlitu. Podobne malý obsah perlitu bol zistený aj v hornej časti výbrusu, ako je znázornené na obrázku, zrna feritickej štruktúry bolo v tomto mieste jemnejšie. Prevažne feritické štruktúry v materiále boli potvrdené aj nízkymi hodnotami tvrdosti.

Z metalografických rozborov vyplýva, že pre výrobu zámky bol použitý mäkkší a húževnatý feritický materiál, ktorý nebol ďalej upravený. Zámka vo vzorkovanom mieste mala masívny prierez, napriek tomu analýzou neboli zistené v tejto časti známky zvarovania z dvoch alebo viacerých kusov. Železo, použité pre výrobu zámky, nebolo hlboko prekované, čomu nasvedčujú aj väčšie nedeformované troskové inklúzie a ich relatívne vysoké množstvo. Hlbšie prekovanie bolo zistené len vo vrchnej časti prierezu. Malý obsah perlitu v oblastiach blízko povrchu naznačuje mierne nauhličenie, ktoré vzniklo pravdepodobne pri ohreve zámky pred nanosením medeného povlaku.

Použitie mäkkšieho a húževnatejšieho nízkouhlíkatého železného materiálu pre výrobu zámky je plne odôvodnené, nauhličenie a prípadné tepelné spracovanie celej zámky alebo jej častí by neprineslo zvláštny úžitok. Medený povlak mal účel ochranný aj ozdobný.

### **Vzorka 2 - časť zubadla**

Schématické znázornenie vzorkovania zubadla, nekovové inklúzie a štruktúry, zistené na vzorkovanom priereze, sú na obr. 4. Na nenaleptanom výbruse vzorkovaného prierezu boli

zistené obidva druhy inklúzií; prvotné, pochádzajúce z pecnej trosky a druhotné, ktoré vznikly z kremičitého piesku, pridávaného kováčmi pri zvarovaní kovaním na rozpustenie okovín. Na výbruse boli zistené veľké sklovité inklúzie oxidu kremičitého, ktoré niesly len malé známky pôsobenia deformácie.

Toto zistenie je podporené štruktúrami, zistenými po naleptaní výbrusu. Na väčšine prierezu bol zistený hrubozrnný ferit, vykazujúci malé stopy deformácie. Z výbrusu je zjavná výroba zubadla vo vzorkovanom mieste z dvoch kusov, miesto zvaru je vyznačené silikátovým pásom. Ferit v okolí spoja bol jemnozrnejší. Na výbruse boli zistené dve miesta so štruktúrami po hlbokom nauhličení, na znázornení prierezu vyznačené šrafovaním. Technologický význam takého nauhličenia nie je jasný a nie sú známe analógie, ktoré by dokladali zámerne nauhličené pruhy na povrchu takýchto predmetov. Vytvrdenie povrchu týmto spôsobom by však mohlo mierne zvýšiť úžitkové vlastnosti predmetu, ale takáto technológia nauhličenia by vyžadovala vysokú zručnosť. Použitie mäkkého a húževnatého nízkouhlíkatého materiálu pre podstatnú časť zubadla bolo vzhľadom k charakteru jeho použitia vhodné.

### **Vzorka 5 - ostroha**

Spôsob vzorkovania ostrohy, typické štruktúry a nekovové inklúzie zistené na výbruse vzorky sú na obr. 5. Pretože išlo o veľmi zachovalý predmet, bolo zvolené vyznačené vzorkovanie, ktoré však nemuselo poskytnúť odpovedajúcu informáciu o štruktúre celej vzorky. Na nenaleptanom výbruse boli zistené len primárne inklúzie pecnej trosky, a to miestami vo veľkých zhlukoch. Sekundárne silikátové inklúzie na výbruse neboli vôbec zistené, čo naznačuje, že v tomto mieste nebol predmet zvarovaný z viacerých kusov.

Po naleptaní boli na celom vzorkovanom priereze zistené len nízkouhlíkaté feritické štruktúry, nikde neboli zistené ani náznaky nauhličenia. Väčšia časť vzorky mala veľmi hrubozrnnú feritickú štruktúru, len pri časti okraja prierezu bola zistená jemnozrnejšia feritická štruktúra, ktorá vznikla dokovaním výčnelku ostrohy na požadovaný tvar. Výzor jemnozrnej feritickej štruktúry svedčí, že dokovanie tejto oblasti bolo robené pri nižších teplotách. Ako v predošlých dvoch prípadoch, aj tu je možné konštatovať, že na výrobu ostrohy bol použitý mäkký a húževnatý, ďalej neupravený feritický materiál, vzhľadom k použitiu ostrohy plne vhodný. V mieste výbrusu nebol výrazný bronzový povlak, ktorý by umožnil jeho detailné štúdium.

### **Vzorka 6 - podkova**

Spôsob vzorkovania a metalografická analýza podkovy sú na obr. 6. Na nenaleptanom výbruse prierezu podkovou boli zistené primárne aj sekundárne inklúzie. Primárne inklúzie pecnej trosky na niektorých miestach mali olivínicko - wüstitický charakter, inde len olivínický charakter, ako je ukázané na obr.6 a vlastne len potvrdili zloženie pecnej trosky, popísané v prvej časti príspevku. Silikátové inklúzie, pochádzajúce z kremičitého piesku, nachádzali sa často v zhlukoch a pásoch a v mnohých prípadoch si zachovali pôvodný kryštalický tvar zrn kremeňa. Ich výskyt nasvedčoval na použitie kováčskeho zvarovania pri výrobe podkovy.

Po naleptaní výbrusu zistené štruktúry a ich rozloženie potvrdili tento predpoklad. V mieste odberu vzorky bola podkova vyrobená z dvoch tenších, na seba nakovaných plátov. Jeden plát mal jemnozrnnú feritickú štruktúru, druhý mal jemnú, perliticko - feritickú štruktúru. Obidva pláty niesly známky hlbokého vykovaní, nauhličenie perliticko - feritického plátu bolo veľmi nerovnomerné, na niektorých miestach bola len perlitická, inde len jemnozrnná feritická štruktúra. Tieto zistenia boli podporené analýzami tvrdosti v miestach vyznačených

na obrázku.

Popísaná skladba štruktúr naznačuje na veľmi zaujímavý spôsob technológie výroby podkovy z dvoch plátov rôznych vlastností. Mäkkšia feritická vrstva bola na strane kopyta, tvrdá nahlíčená jemnozrná vrstva na spodnej strane. Tento spôsob výroby mohol podstatne zvýšiť užitkové vlastnosti a trvanlivosť tohto, hlavne na oder namáhaného, predmetu.

### **Vzorka 8 - zlomok kosáka**

Spôsob vzorkovania zlomku kosáka a výsledky metalografickej analýzy sú na obr. 7. Na nenaleptanom výbruse prierezu boli väčšinou zistené len pásy tenších sekundárnych kováčskych silikátových inklúzií, len v hornej časti prierezu boli zistené aj primárne inklúzie pecnej trosky. V hornej časti prierezu bolo súvislým silikátovým pásom zvýraznené miesto kováčskeho zvarenia dvoch železných polotovarov.

Po naleptaní vzorky nitalom bolo zistené, že materiál, nakovaný v hornej časti, mal hrubozrnnú feritickú štruktúru. V dolnej časti bolo kovaním vytvorené ostrie, ktoré bolo v jednej časti nahlíčené, ako je schématicky šrafovaním naznačené na znázornení prierezu. Kovanie ostria je doložené aj feritickým zrnom v nenahlíčenej časti. Hneď pod zvarom bola zistená hrubozrnná feritická štruktúra, nižšie, v oblasti nad ostrím, bola jemnozrná štruktúra. V nahlíčenej oblasti boli zistené perlitické a perliticko - feritické štruktúry, často sa vyskytovali aj widmanstättenove štruktúry, svedčiace na vyšší gradient ochladzovania. Nahlíčené ostrie nebolo vytvrdené kalením.

Je možné povedať, že pre výrobu kosáka bola zvolená vhodná technológia. Telo kosáka bolo vyrobené z húževnatého a mäkkšieho materiálu, ostrie bolo vytvrdené nahlíčením. Takto vyrobené ostrie bolo pomerne ľahko obnoviteľné.

### **Vzorka 10 - zlomok kosáka**

Spôsob vzorkovania kosáka a výsledky metalografickej analýzy sú na obr. 8. Na nenaleptanom výbruse boli v oblasti ostria zistené len tenké pásiky sekundárnych kremičitanových inklúzií, vyššie v oblasti tela kosáka aj prvotné inklúzie pecnej trosky. Hoci na výbruse bolo zistené množstvo sekundárnych kremičitanových inklúzií, miesto kováčskeho zvarovania v oblasti vzorkovaného prierezu presne identifikované nebolo.

Štruktúry po naleptaní ukázali podobnú technológiu ako v predošlom prípade. Vo vrchnej časti prierezu proti ostriu bol tenší pás jemnozrnej perliticko - feritickej štruktúry ako výsledok miernejšieho nahlíčenia. Bolo možné predpokladať, že táto vrchná časť bola navarená, význam pripojenia tak tenkej vrstvy však nie je jasný. Telo kosáka bolo tvorené hrubozrnnou feritickou štruktúrou, zrno feritickej štruktúry sa smerom k ostriu zjemňovalo. Ostrie kosáka bolo nahlíčené veľmi intenzívne, výsledná štruktúra bola eutektoidná perlitická. Po nahlíčení bolo ostrie vykované, výsledkom je jemnozrná perlitická štruktúra v oblasti ostria. Technológiu výroby kosáka a jej vhodnosť je možné charakterizovať rovnakým spôsobom ako u vzorky 8, jemnozrná perlitická štruktúra ostria je pre užitkové vlastnosti kosáka ešte vhodnejšia.

### **Vzorka 13 - nožík**

Spôsob vzorkovania nožíka a výsledky metalografickej analýzy sú na obr. 9. Na výbruse v nenaleptanom stave boli zistené len primárne inklúzie pecnej trosky. V oblasti ostria boli rozbité na menšie útvary a deformované do tvaru tenších pásov. V hornej časti vzorkovaného prierezu boli zhluky primárnych inklúzií bez známok deformácie, stred vzorkovaného prierezu bol veľmi čistý.

Po naleptaní výbrusu bolo zistené, že na väčšine sa vyskytovali nízkouhlíkaté feritické štruktúry, len v oblasti ostria boli perlitické štruktúry, ktoré vznikli nauhličením. Na základe tvaru a rozloženia štruktúr je možné usúdiť, že hrubý tvar noža bol vyrobený z mäkkého nenauhlíčeného železného polotovaru, potom bola časť, kde malo byť vyrobené ostrie, nauhličená. Po nauhličení bolo kovaním vyrobené ostrie nožička, čo je doložené jemnozrnnou perlitickou štruktúrou tohto miesta. Feritické štruktúry, ktoré boli na väčšine prierezu nožom, boli hrubozrnné, jemnejšie zrno bolo zistené len v páse vyznačenom na znázornení prierezu. Výskyt tohto pásu však neposkytuje dostatočný podklad preto, aby bolo možné predpokladať zvar v tomto mieste a výrobu nožička z dvoch častí.

Podobne ako pri analýze zlomkov kosákov je možné konštatovať vhodnosť použitej technológie, keď nožič bol vyrobený z mäkkého a húževnatého nízkouhlíkatého materiálu, ostrie bolo vytvrdené nauhličením, použitie kalenia zistené nebolo.

### **Vzorka 16 - ohreblo**

Spôsob vzorkovania ohrebľa a výsledky metalografickej analýzy sú na obr. 10. Pozorovanie štruktúry na naleptanom výbruse ukázalo, že materiál bol veľmi znečistený primárnymi inklúziami pecnej trosky aj sekundárnymi kremičitanovými kováčskymi inklúziami.

Po naleptaní výbrusu bolo zistené, že vo vzorkovanom mieste bolo ohreblo vyrobené len z nízkouhlíkatého feritického materiálu. Stupeň kovania bol v danom mieste nízky, na väčšine prierezu bol zistený hrubozrnný ferit, jemnejšie zrno bolo zaznamenané len v povrchovej oblasti. Hodnoty tvrdosti, namerané v troch miestach na výbruse, odpovedali zistenej feritickej štruktúre. Veľké množstvo kremičitanových inklúzií svedčí o použitom kováčskom zvarovaní, ktoré pri tomto tvare predmetu muselo byť použité. Vo vzorkovanom mieste však zvarovanie zistené nebolo. Výsledky metalografickej analýzy umožňujú konštatovať, že mäkký a húževnatý nízkouhlíkatý materiál bol pre výrobu ohrebľa plne vyhovujúci, nauhličenie ani tepelné spracovanie by úžitkové vlastnosti tohto predmetu výrazne nezvyšilo.

### **Záver z archeometalurgických rozborov**

Komplexný chemický a metalografický rozbor trosiek a železných predmetov, zistených na stredovekej lokalite v Svinici, ukázal, že v osade bola rozvinutá výroba železa a jeho spracovanie na úžitkové predmety. Železo bolo vyrábané spôsobom priamej redukcie z rúd. Ako palivo a prostriedok, vytvárajúci redukčné podmienky v peci, slúžilo drevené uhlie, troskotvorné prísady do vsádzky pridávané neboli. Pretože úvahy o spôsobe výroby železa boli robené na základe analýz niekoľkých kusov trosky, nebolo možné urobiť závery, týkajúce sa pecnej jednotky. Používaná železná ruda pochádzala minimálne z dvoch ložísk.

Metalografické rozborov železných predmetov ukázali štandardnú kováčsku techniku, používanú remeseníkmi v osade a súčasne aj veľmi dobrú znalosť používaného železného materiálu a jeho vlastností pre výrobu špecifických predmetov. Jedna skupina predmetov mala použitie menej náročné na oder a mechanické namáhanie (ostroha, zubadlo, ohreblo). Pre výrobu v tomto prípade použili miestni kováči mäkký a húževnatý nízkouhlíkatý materiál bez ďalšej úpravy. Pre dané použitie a pre dlhú životnosť takého predmetu bol feritický materiál vhodný. U predmetov, na ktorých bolo potrebné vytvoriť ostrie (nož, kosák), bolo použité vytvrdenie daného miesta nauhličením. Použitie metód tepelného spracovania (kalenie, popúšťanie a iné) nebolo u vzorkovaných predmetov zistené. Nie je možné prehlásiť, že miestni kováči takéto metódy nepoznali, patrili medzi všeobecné znalosti kováčov, ale vytvrdenie ostria noža či kosáka prostým nauhličením bolo dostatočné. Táto metóda úpravy bola ďalej vylepšená kovaním už nauhličenej oblasti, výsledkom bola jemnozrnná perlitická

štruktúra. Týmto spôsobom bolo vytvorené tvrdé a ľahko obnoviteľné ostrie. Pri použití kalenia na vytvrdenie oblasti ostria obnovenie takto upraveného ostria by nebolo jednoduché, navyše by bolo náchylné na vyštrbenie.

Rozdielny spôsob výroby bol zistený u dvoch analyzovaných konských podkov, analýza jednej z nich je popísaná v tomto príspevku. Jedna z podkov bola vyrobená jednoduchým spôsobom z nízkouhlíkatého železa, podkova mohla byť zvarená z niekoľkých kusov. Druhá podkova bola vyrobená náročnejším spôsobom, keď bola zvarená z dvoch vrstiev. Jedna z nich bola nízkouhlíkatá, feritická, druhá nauhličená, s vyšším obsahom perlitu. Tým sa dosiahly lepšie vlastnosti a trvanlivosť tejto podkovy. Je pravdepodobné, že podkovy s rozdielnou kvalitou sa vyrábali na objednávku podľa toho, pre akú činnosť boli určené. Pre kone, používané na bežné poľnohospodárske práce, mohli sa používať menej kvalitné podkovy než pre jazdecké kone. Nemožno však vylúčiť ani možnosť vývoja výroby podkov v kovárskej dielni v osade, pretože analyzované nálezy pokrývajú väčšie časové obdobie. Autor tohto príspevku analyzoval podobným spôsobom, teda z dvoch vrstiev vyrobenú podkovu z časovo korešpondujúcich nálezov z náleziska Ilja - Sitno.

Tab. I Výsledky chemickej analýzy trosiek, % hmot.

Čís.	Fe <sub>c</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	54,17	44,83	15,90	3,92	2,40	0,28	2,24
2	38,53	32,76	37,88	3,36	1,60	0,16	2,45
3	58,64	37,65	16,62	3,36	0,18	1,37	2,65
4	36,30	34,20	38,74	5,60	0,00	0,23	1,63

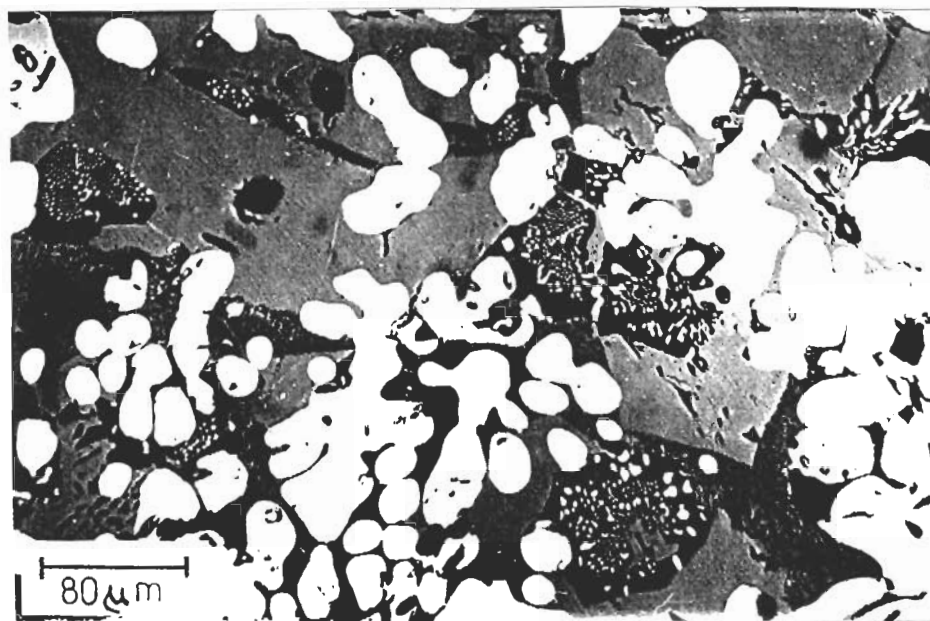
Tab. II Výsledky kvantitatívnej mikroskopickej analýzy štruktúry trosiek, % ploš.

Číslo vzorky	Číslo nálezu	Wüstit	Fe-Ca olivín	Sklo
1	3/77	30,15	53,64	16,21
2	51/81	9,82	60,99	29,19
3	SI/76	51,43	34,68	13,88
4	ZSD	2,64	56,23	41,13

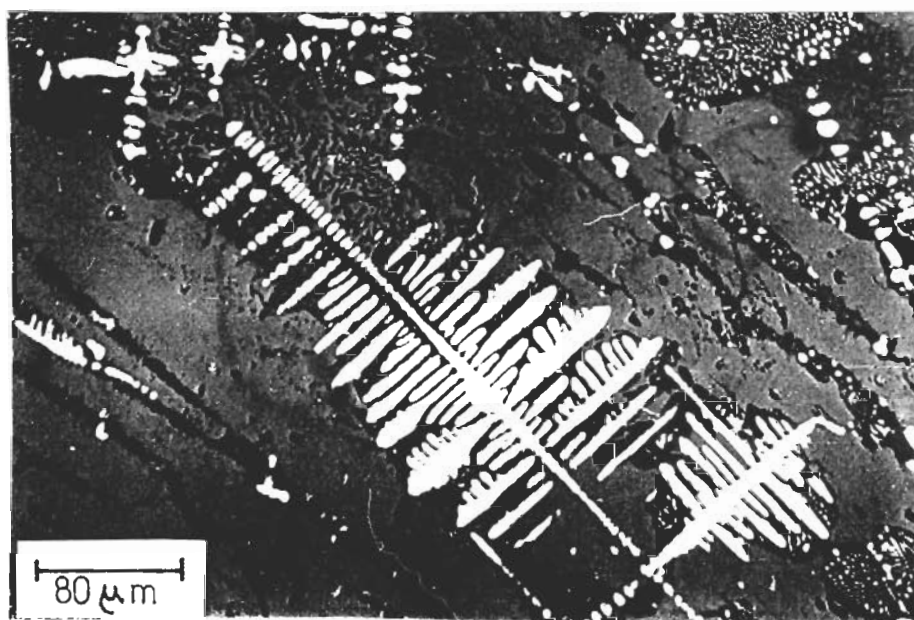
Tab. III Zoznam kovových predmetov, vybraných pre metalografický rozbor.

Číslo vzorky	Číslo AÚ SAV	Popis
1	107/79	Kam. stavba, JZ kút: železná zámka
2	213/79	Obj. č. 27, JZ úsek, vrstva II: časť zubadla
3	61/82	Stred - pri južnej stene, od 1,65 m do 1,90 m: bronzový pliešok
4	47/82	Z východnej časti interiéru kamennej stavby II, do hĺbky 1,00 - 1,30 m: bronzové ozdoby
5	78/79	Obj. č. 27, JV úsek: ostroha
6	37/79	Nad obj. č. 27, juž. časť: podkova
7	175/79	Kam. blok. stavba, vrstva I: pod kozubom: ostroha
8	151	Kam. blok. stavba, stredný úsek: zlomok kosáka
9	186/79	Obj. č. 27, JZ úsek, vrstva I: klinec s veľkou hlavičkou
10	3/79	Kam. stavba, JZ časť stavby: zlomok kosáka
11	173/79	Obj. č. 27, JZ úsek, vrstva I: zlomok kosáka
12	5/79	Sev. vchod do stavby: železná objímka
13	141/79	Obj. č. 27, JV úsek, vrstva II: železný nôž
14	120/79	Kam. stavba, záp. úsek: železný nôž
15	15/82	Sektor H 14: železné klince
16	280/79	Obj. č. 27, JZ úsek, vrstva I: ohreblo
17	36/79	Nad obj. č. 27: fragment podkovy

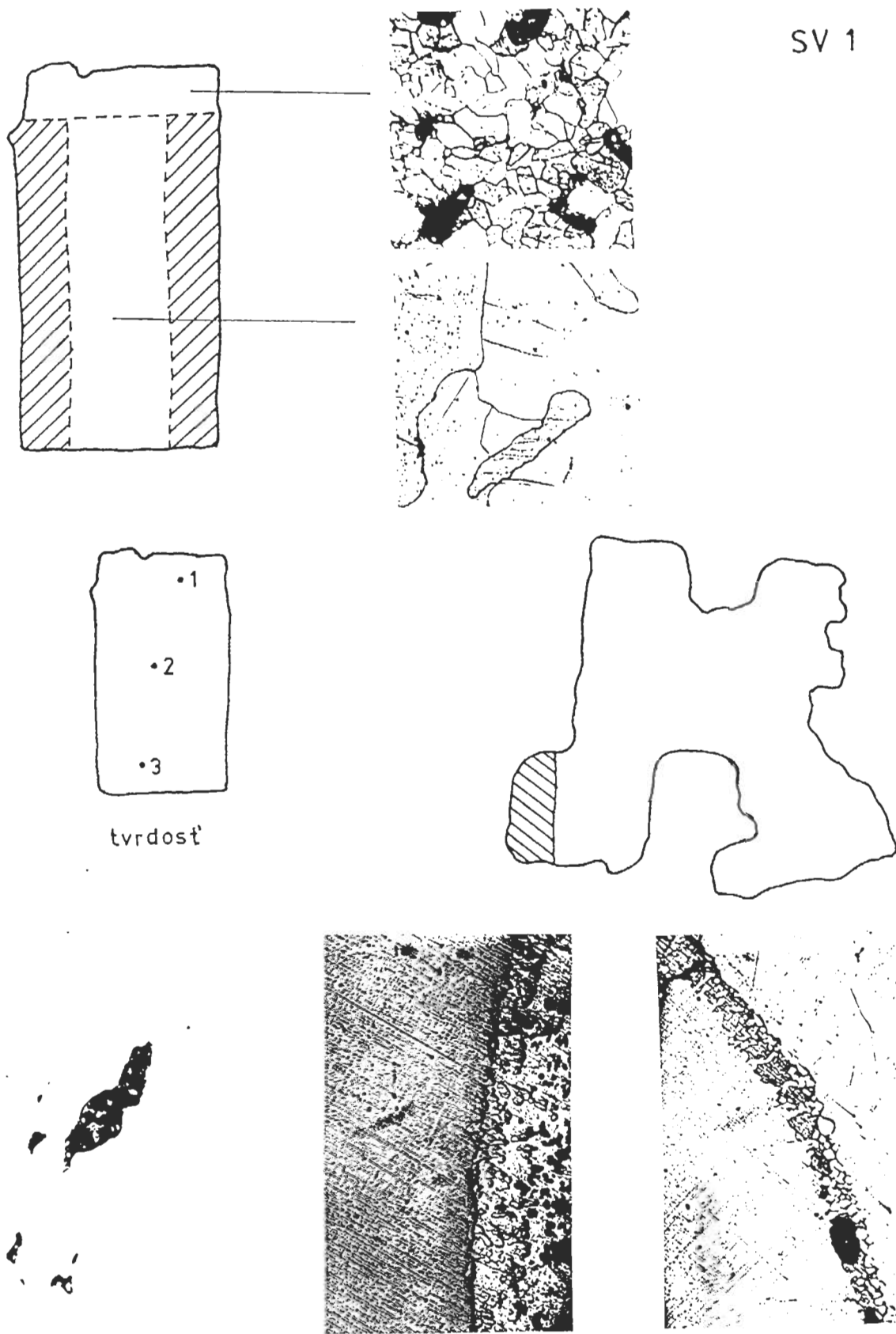




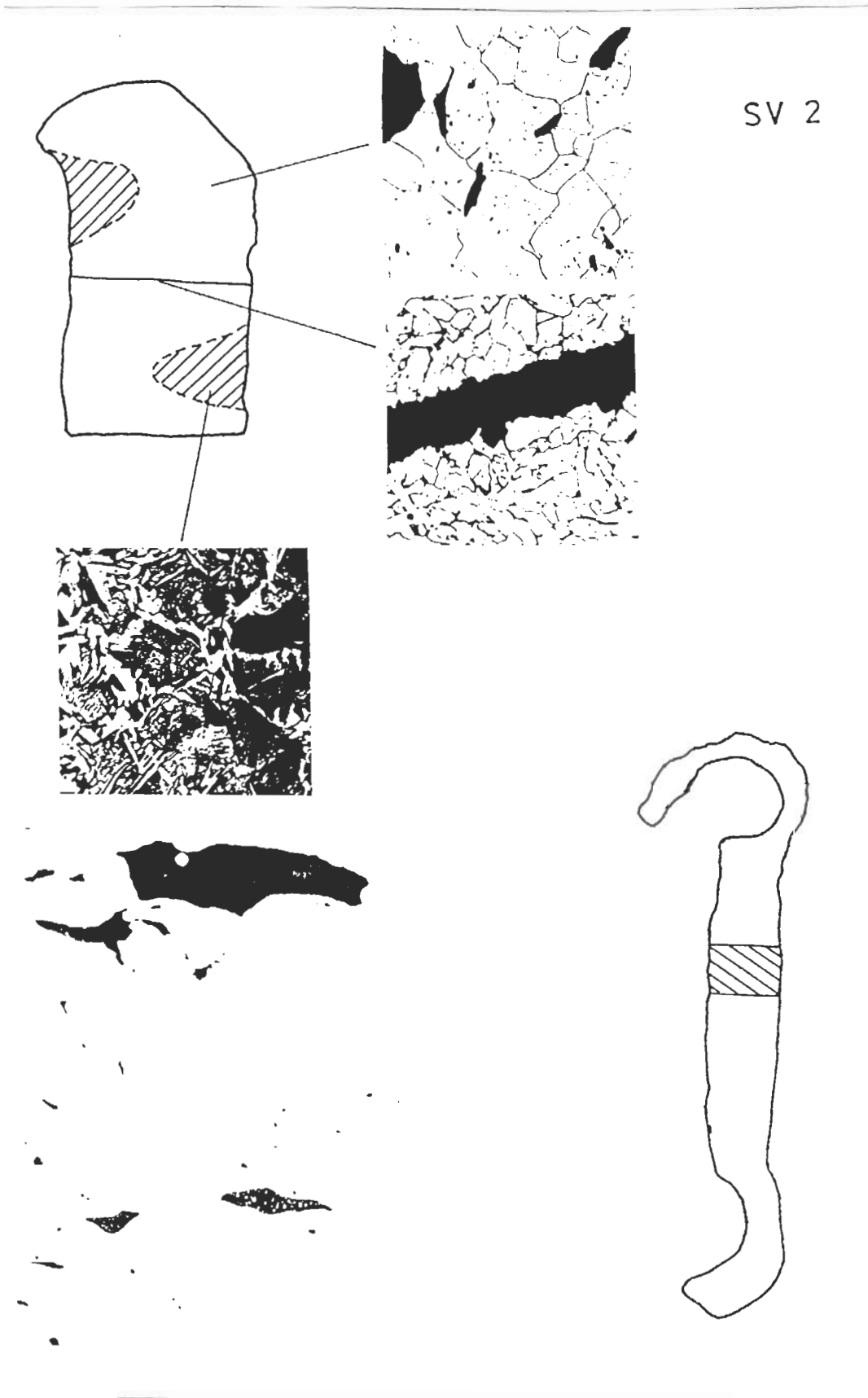
Obr. 1 Štruktúra trosky 1. Svetlá - wüstit; šedá - železnovápenatý olivín; tmavá - železnaté sklo.



Obr. 2 Štruktúra trosky 4. Svetlá - wüstit; šedá - železnovápenatý olivín; tmavá - železnaté sklo.

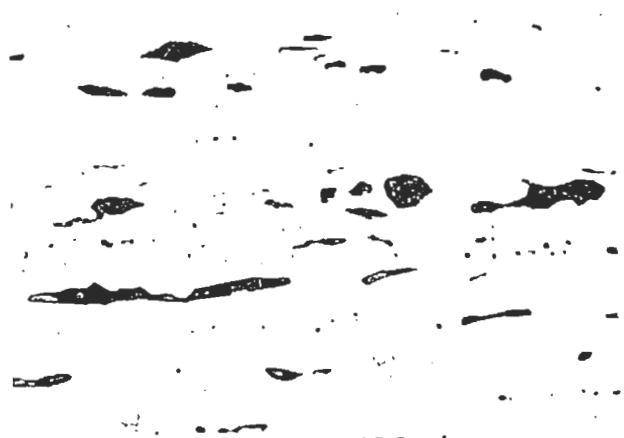
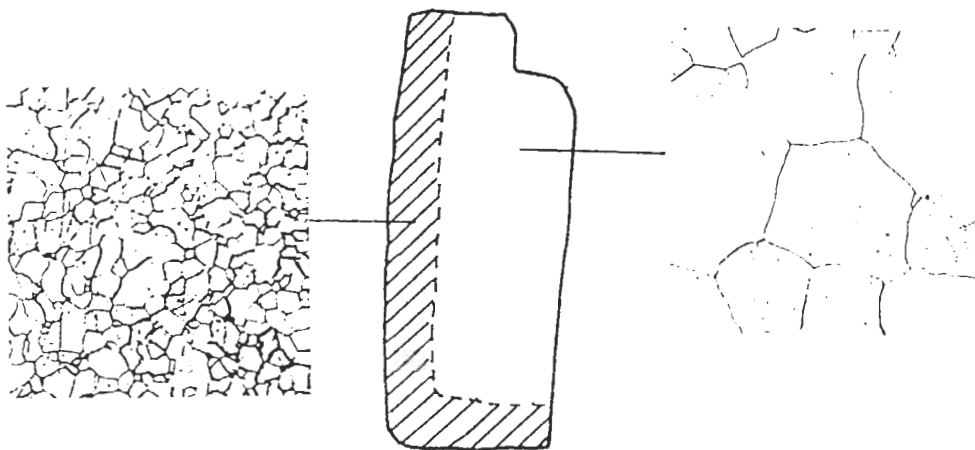


Obr. 3 Metalografická analýza vzorky 1 - železnej zámky.

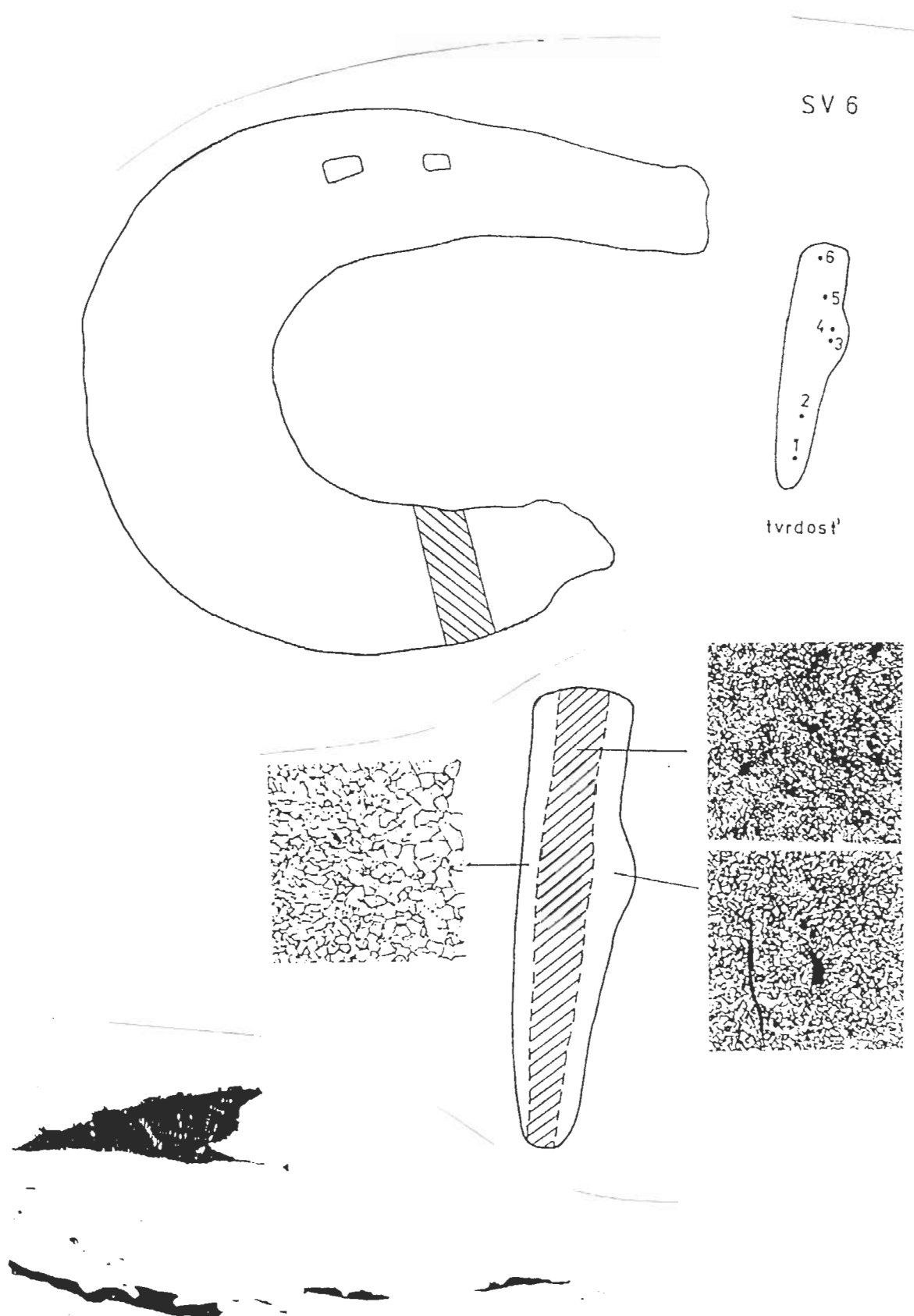


Obr. 4 Metalografická analýza vzorky 2 - části zubadla.

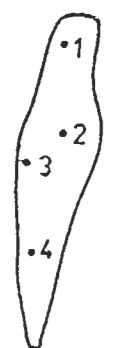
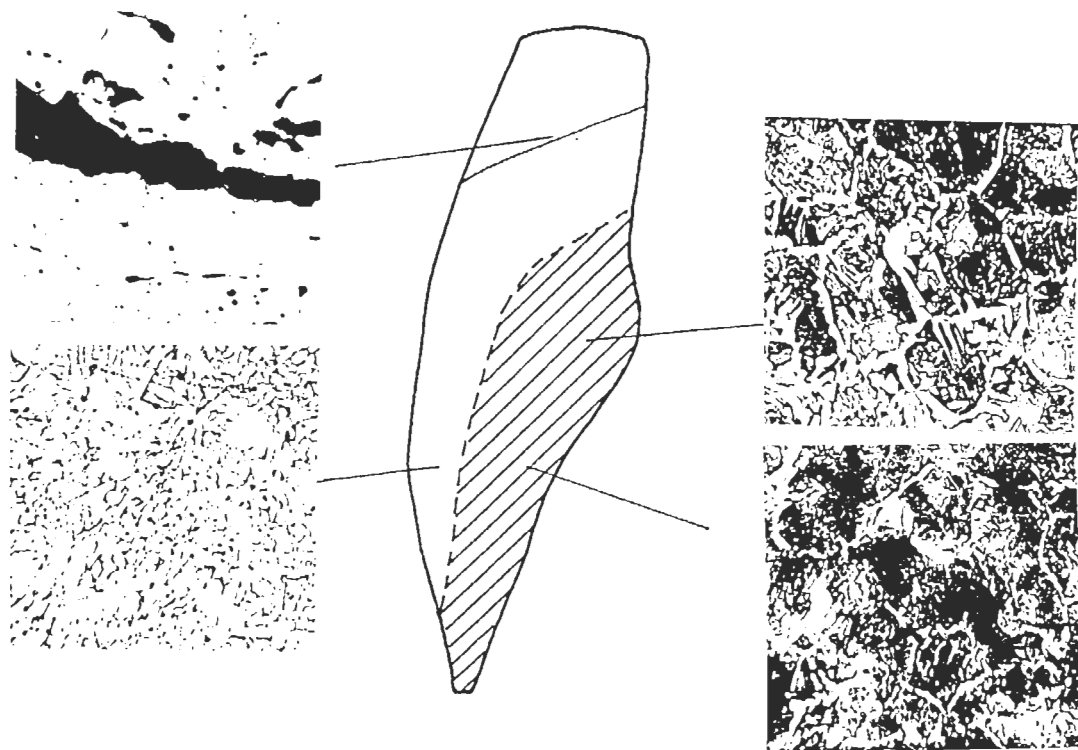
SV 5



Obr. 5 Metalografická analýza vzorky 5 - ostrohy.



Obr. 6 Metalografická analýza vzorky 6 - podkovy.

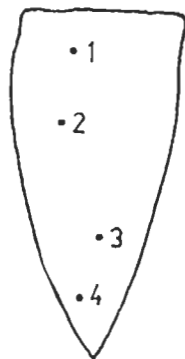
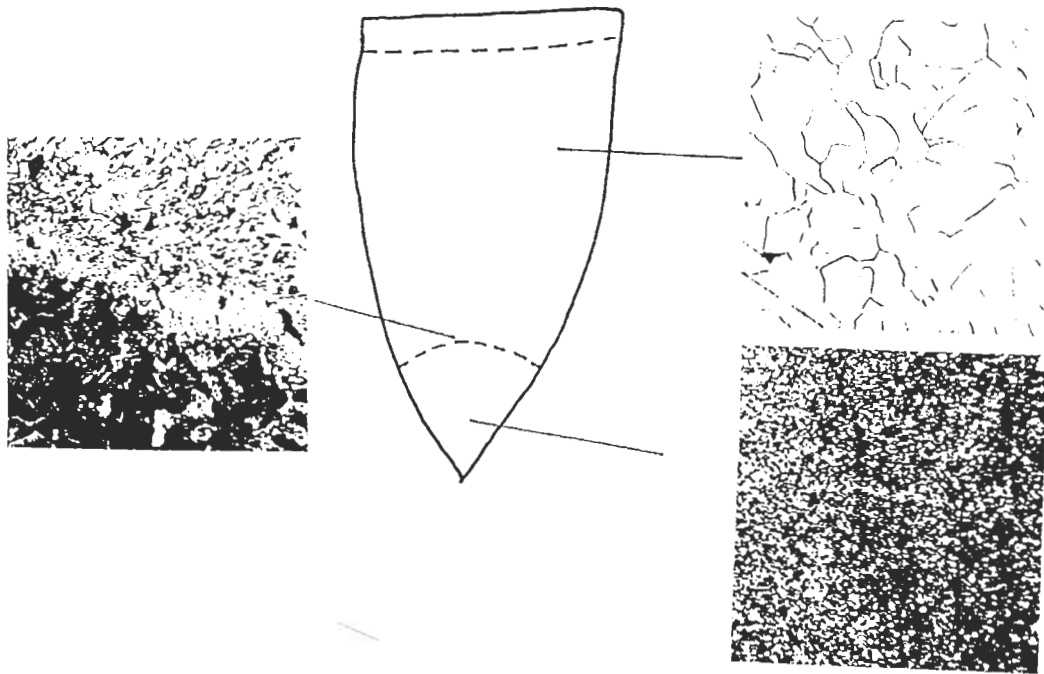


tvrdost'

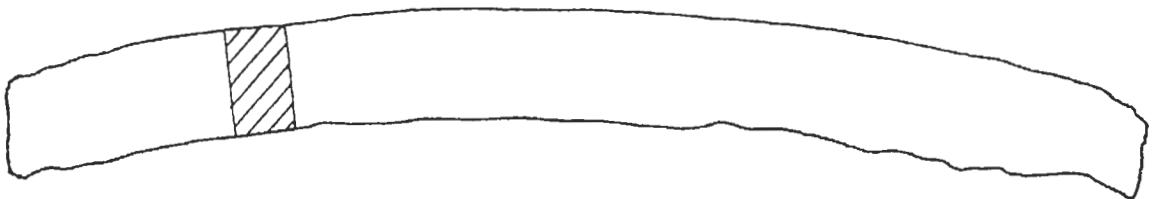


Obr. 7 Metalografická analýza vzorky 8 - zlomku kosáka.

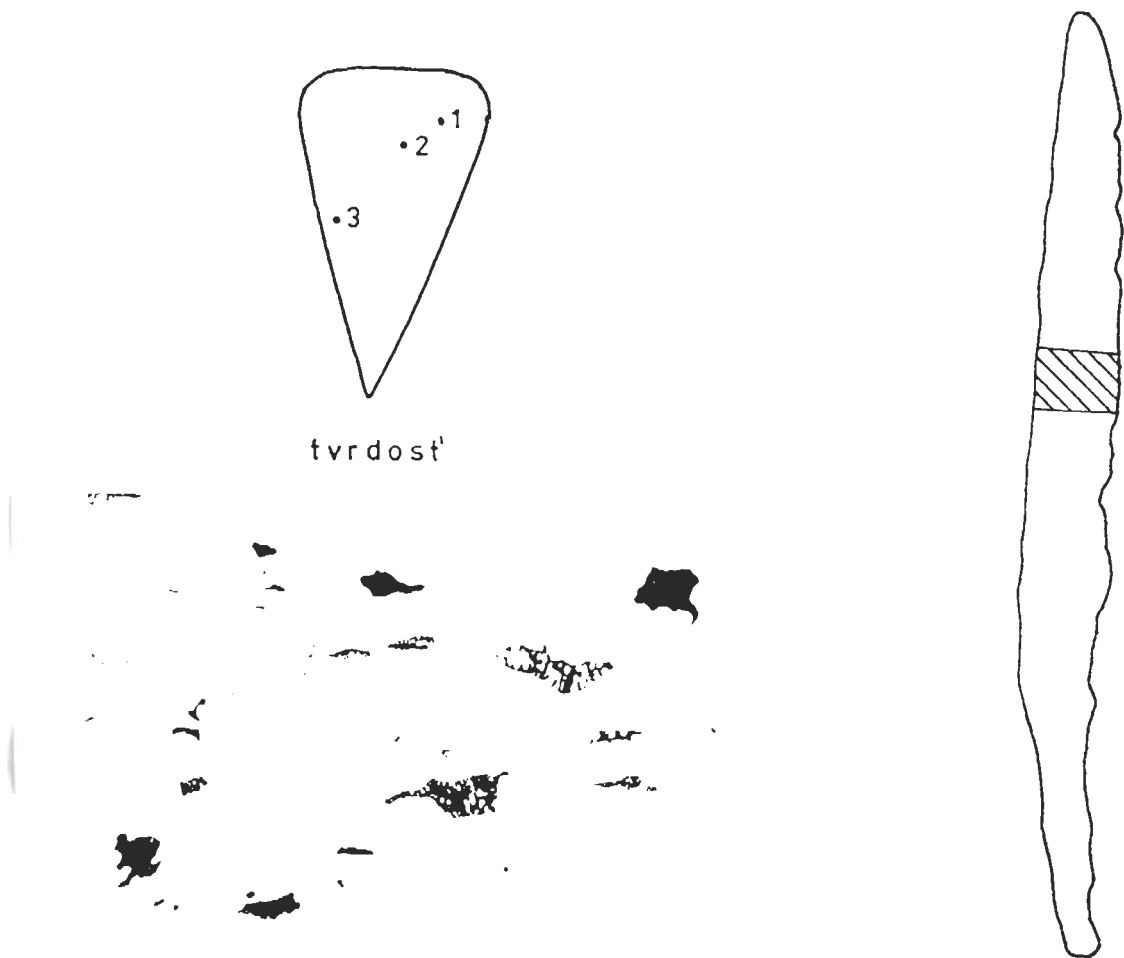
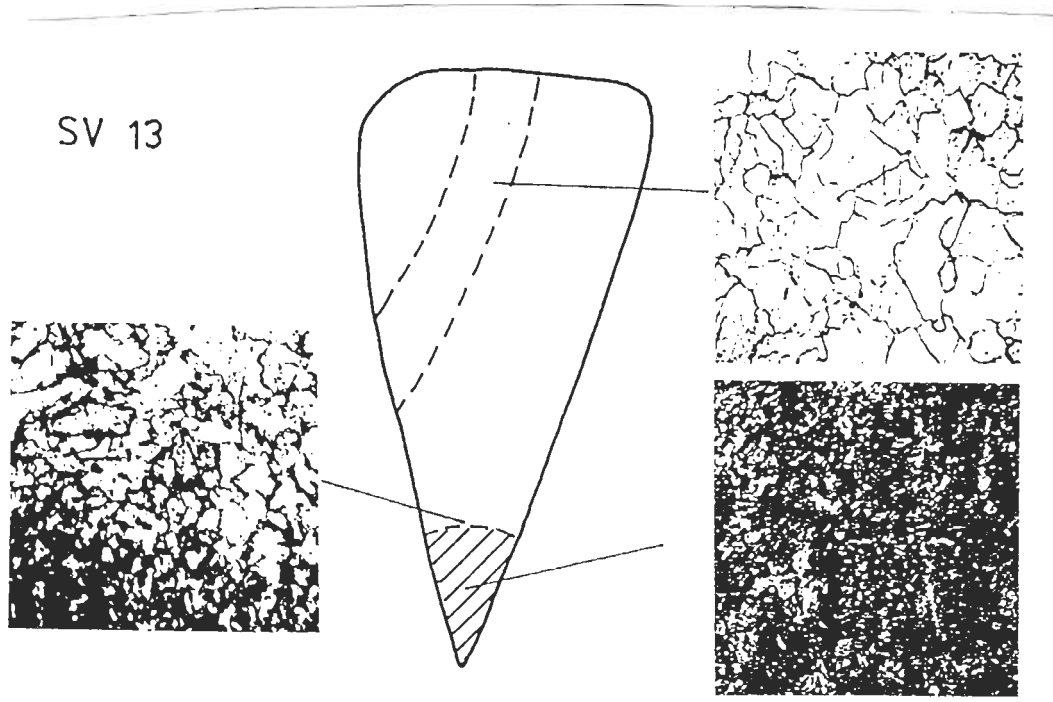
SV 10



tvrdost'



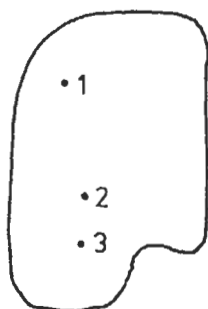
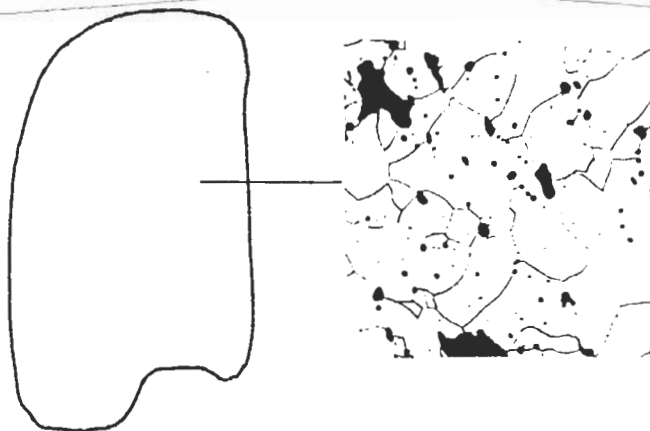
Obr. 8 Metalografická analýza vzorky 10 - zlomku kosáka.



Obr. 9 Metalografická analýza vzorky 13 - nožíka.



SV 16



tvrdost'



Obr. 10 Metalografická analýza vzorky 16 - ohrebla.