

Metalografické rozbory středověkých podkov ze severu Čech

Jiří Hošek

Podkovy

Účelem podkov je zabránit opotřebování rohoviny kopyt, ale mimo to také zvětšit tažnou sílu koně, předcházet vzniku nemocí jeho pohybového ústrojí, popř. pomáhat při léčení některých nemocí končetin. [1]. Tyto funkce jsou dnes zajišťovány řadou konstrukčních opatření, které následně slouží i k typologickému členění podkov. Konstrukce podkov, ale i velikost a váha jsou tedy dány víceméně velikostí a zdravotním stavem kopyta i povahou práce, kterou kůň koná. [2]. Je však otázkou, do jaké míry lze naše současné znalosti, vyplývající z typologie podkov i hipologie, využít k doplnění pohledu na život středověkého člověka na daném území nebo lokalitě pomocí podkov získaných při archeologických výzkumech. Předpokládáme totiž přirozenou evoluci samotného podkovářství a samozřejmě i podkov, zvláště pak v oblasti hledání optimálních tvarů a konstrukčních řešení. V hledání návazností tvaru, typu a/nebo mohutnosti podkov na středověké koně bychom však přesto mohli být do určité míry úspěšní (alespoň v některých případech), neboť víme, že středověcí koně byli diferencováni podle svého funkčního použití a lokality chovu. [3]. K důslednému využití typologie středověkých podkov by však bylo zapotřebí odborníka s hlubšími hipologickými a zároveň i historickými znalostmi. Pozornost při hodnocení historických podkov by se ale v každém případě mohla obracet na povahu kovářské a podkovářské praxe posuzováním jednotlivých částí, které mají přímou souvislost s optimálním využitím podkov (ozuby, hmatec, čapka, otvory pro podkováky), a co především, jejichž správný tvar a umístění vycházejí ze samotné fyziologie kopyta¹ [2]. Je však nutno dodat, že i těmto snahám by mnohdy bránil nedobrá stav podkov jež jsou archeologickým materiálem. Tato kapitola si ze širokého spektra možných náhledů na stav středověkého podkovářství vyňala jako hlavní cíl pokusit se najít stopy po nějakém materiálovém (tedy abrazním) vylepšení půdní plochy podkov, k čemuž se nejlépe hodí analyzovat vzorky odebrané v přední části podkov.

Kůň a jeho podkovávání ve středověku

Po příchodu Slovanů na naše území nabýval kůň na významu již v 7. a 8. stol. a po celou dobu středověku pak byl především ve vojenství nepostradatelný.[3]. Naproti tomu kůň jako hospodářské zvíře byl po celou dobu středověku poměrně vzácný. Byl chován ve větší míře na vrchnostenských dvorech, které byly schopny poskytnout dostatečně vysokou chovatelskou péči, kterou kůň oproti jiným tažným zvířatům vyžadoval. [4]. Přestože se podkovy u nás zavedly patrně již koncem 9.stol.,

¹ Např., důležitým úkolem ozubů je zabraňovat rychlému opotřebování podkovy, mají však i jinou, mnohem důležitější funkci. Důvody je zapotřebí hledat v samotné fyziologii koňských končetin. U koní pracujících v tahu dochází k maximálnímu vypětí síly při konečném stadiu fáze podpěru. Hrudní končetina koně je v této fázi postavena šikmo dozadu, dochází k největšímu lomení v kopytním kloubu a to je spojeno s největším napínáním šlachy hlubokého ohybače. Užití ozubů, které zvednutím zadní části kopyta zmenšují lomení v kloubu a tím i napínání šlachy, je tedy u podkov tažných koní vhodné. Hmatec nebo ozuby v přední části podkovy také proto musí být nižší než ozuby na koncích ramen podkovy. Na druhé straně, koně pracující v rychlém tempu, tj. jezdečtí a kočároví, silně „prostupují ve spěnce“, čímž se nejvíce napíná sval mezikostní (závěsný sval spěnky) a šlacha povrchového ohybače prstu. Zvýšením zadní části kopyta by se zvýšilo i prostupování ve spěnce, a tím i napínání těchto šlach. Z tohoto hlediska je nejvýhodnější podkovou pro koně pracující v rychlém tempu jednoduchá pantoflice, tedy podkova bez ozubů. [2].

Přední část podkovy se silně opotřebává a zpravidla vyžaduje speciální úpravy podle práce, kterou kůň koná a podle půdy, na které pracuje. U těžkých tažných koní chráníme přední část podkovy před opotřebením buď hmatcem, nebo dvěma ozuby. Takto upravená podkova též snižuje riziko proklouznutí podkovy v záběru koně. U jezdeckých koní, podkovaných jednoduchou pantoflicí, často postačí sáňkovité prohnutí přední poloviny přední části asi o polovinu tloušťky podkovy. Tímto opatřením se nejen zmenší opotřebení podkovy v přední části, ale usnadní se i převrácení kopyta při chůzi a omezí se klopýtání. Účinnější však je opatřit přední část podkovy ocelovým plátkem. Ocelového plátku se pak užívá hlavně u koní kočárových a koní pracujících v lehkém tahu. [22].

Důležité je také správné umístění a zhotovení otvorů pro podkováky. Do patkové části kopyta se např. podkováky zárážejí jen zcela výjimečně, protože rohová stěna v patkové části je příliš slabá a protože patková část kopyta, kterou tvoří pružné útvary (vazivový střel, chrupavky kopytní, šlachy), se při chůzi značně pohybuje. Připevněním této zadní části by se fyziologický pohyb kopyta omezil.[2].

nebo v stol.10.² [1], až do 13. stol. bylo podkování koní vzhledem k vzácnosti železa poměrně vzácné. [5]. Podkovávání koní se u nás rozšiřuje až od 11. a 12. stol., do 13. stol. převážně jen na předních končetinách, a dále až od stol.13. a 14. v souvislosti s těžkou potažní prací. Jízdní koně se většinou nekovali. V období 15.stol. již kůň nabýval na stále větším významu hospodářském, ale i vojenském a v dopravě, a od poloviny 16.stol. se stavy koní zvyšovaly především pro potažní práce.[3][4]. Zrcadlem tohoto stavu by samozřejmě měl být objem, sortiment i kvalita tehdejší produkce podkov, ale také postupné vyčlenění kovářských dílen, které se již v období 15. či 16. století na výrobu podkov specializují [6].

Charakter nálezů

Většina zkoumaných podkov bohužel neměla spolehlivé datování, neboť přesné nálezové okolnosti chybí. K analogickému srovnání jsou základní údaje o podkovách předloženy v následující tabulce.

Tab. I Základní charakteristika zkoumaných podkov; rozměry v mm

Podkova		Poskytnutá datace podkov	Ozuby	Hmatec (přibližná délka v kořeni)	Šířka přední části	Rozměry věnce podkov		
lokality	č.					max. délka	max. šířka	rozpětí ramen
Rovensko	I	středověk	zahnuté	~ 22	40	146	128	86
Rovensko	II	středověk	zahnuté		37	126	112	82
Rovensko	III	středověk	kvádřikovité	~ 26	44	119	104	82
Rovensko	IV	středověk	-		30	-	-	-
Návarov	V	středověk	-	~ 30	26	-	-	-
Michalovice	VI	středověk	klíncovitý		34	-	-	-
Borek	VII	středověk	zahnuté	~ 25	43	150	133	105
Trosky	VIII	14.-15.stol	klíncovitý		30	-	-	-
D. Štěpanice	IX	14.-15.stol	kvádřikovité		29	-	-	-
D. Štěpanice	X	14.-15.stol	kvádřikovité		29	-	-	-
D. Štěpanice	XI	14.-15.stol	klíncovitý		27	-	-	-

Stručně lze uvést, že např. Nekuda své podkovy s ozuby v [7] rozlišuje na podkovy s kvádřikovými a klíncovitými ozuby, přičemž zmiňuje, že Kazmierczyk [8] řadí typ podkov s kvádřikovými ozuby do období od druhé poloviny 13.stol. do 14.stol. a podkovy s klíncovitými ozuby od druhé poloviny 13.stol. až do 15.stol. Podkovy bez ozubů (nebo jen s jedním ozubem) jsou přitom starší než podkovy se dvěma ozuby. Podle [5] se kování hmatců objevuje asi od 15. stol.

Metalografické rozbory

Podkova I – rovenská silnice – Rovensko pod Troskami, hmotnost 421g (Obr. 1,2 a 3)

metalografický rozbor: podkova - přechod mezi postranní a patkovou částí

Dostí nečistý materiál obsahuje velmi množství hrubých inkluzí nepravidelného tvaru, z nichž některé jsou tvořeny dvousložkovou křemičitanovou maticí, představující zbytky nevykované strusky. Objevují se i velké globulární vměstky. Materiál podkovy je feritický o velikosti zrn 6,5 pro oblast I a 8,5 dle ČSN pro oblast II. Největší část vzorku tvořila oblast III. ve které byla struktura poměrně dosti hrubozrná s velikostí zrn 2 dle ČSN 420462. Tvrdost byla 120,6±19,3 HV1.

metalografický rozbor: podkovák

Materiál je relativně čistý s menší vměstkovitostí. Objevují se zde inkluze nevykované strusky s vnitřní dendritickou stavbou. Oproti materiálu podkovy jich však je velice málo a jsou menší. Tělem hřebu se tak táhnou převážně velké nitkovité vměstky představující ve většině případů stopy nedokonalého kovářského svaření. V menší míře se objevují i velmi malé nitkovité vměstky. Podkovák je z části z feritického materiálu, konkrétně v oblasti I. Velikost zrn je 4-5 dle ČSN v I-a, 6,5 v I-b a 8,5 dle ČSN v I-c. Hodnota tvrdosti byla stanovena pro oblast I-a 137,1±8,8 HV1. V oblasti II-a je struktura perliticko-feritická místy s mírně rozvinutou Widmannstättenovou strukturou o průměrné tvrdosti

² V této době byl v Čechách chov koní, ale i výroba sedel a uzdění na vysoké úrovni a koně byli hojně vyváženi. [3].

170,8±7,0 HV1. Obsah uhlíku je v rozmezí od 0,3 do 0,45 %. Oblast II-b se odlišuje pouze nižšími obsahy uhlíku, který je zde do 0,2%. V oblasti II-c je struktura feriticko-perlitická s obsahem uhlíku 0,15%, rovnoosými zrny o velikosti 9,5 dle ČSN a průměrnou tvrdostí 147,3±10,1 HV1.

metalografický rozbor: hmátec

Materiál, který by nejspíše odpovídal materiálu základního pásu podkovy má velmi vysokou vměstkovitost, tvořenou globulárními, nitkovitými a velkými nepravidelnými vměstky, většinou s monolitickou křemičitanovou matricí. Oblast odpovídající zřejmě navařenému kovu je podstatně čistší s roztroušenými nitkovitými a globulárními vměstky, které nedosahují zpravidla velkých velikostí. Zřetelná je i dutina, která představuje prostor, který materiál při kovářském svařování nezaplnil. Matrice vzorku byla strukturně rozdělena do několika oblastí, kde oblast č. I pokrývala strukturu přechlazeného perlitu s průměrnou tvrdostí 328,3±27,6 HV1. Oblast č. II byla feriticko-perlitická, uspořádaná převážně ve Widmannstättenově slohu. Obsah uhlíku se pohyboval v rozmezí 0,3 až 0,5 %. Průměrná tvrdost zde byla 220,7±23,8 HV1. V této oblasti se také nalézaly světlé až bílé linie, představující pravděpodobně stopy kovářských svarů. Některé linie měly ostré hranice se základním materiálem, jejich šířka byla 27,7±8,4 μm a jejich tvrdost kolem 560 HV0,1. Jiné linie neměly ostré hranice s okolní strukturou a při větších zvětšeních představovaly v podstatě linky s horší leptatelností, takže struktura matrice pod nimi "prosvítala". Šířka těchto linií byla 31,9±8,4 μm. V oblasti č. III je struktura feriticko-perlitická s obsahem uhlíku do 0,15%. Velikost zrn zde odpovídala hodnotě 8 dle ČSN. V oblasti IV. je struktura feritická, pouze místy s malými ostrůvky perlitu. Tvrdost zde v průměru byla 174,0±15,4 HV1 a velikost zrn 4,5 podle ČSN. V oblasti V je struktura feritická, avšak s neznatelnými hranicemi zrn. Tvrdost byla 176,0±8,3 HV1.

Podkova II – rovenská silnice – Rovensko pod Troskami, hmotnost 240g (obr. 3)

metalografický rozbor: přechod mezi postranní a patkovou částí

V materiálu jsou vměstky převážně nitkovitého tvaru střední velikosti. Je zde také velmi mnoho malých vměstků globulárních. Objevují se i stopy nedokonalých kovářských svarů, v nichž uvízla dvousložková struska. Nejvíce vměstků, které jsou způsobené nedokonalým svařením se vyskytují v dolní části pásu podkovy při vnější straně. Struktura materiálu podkovy je feritická, převážně o velikosti zrn 5 dle ČSN (oblast I). V horní části pásu podkovy jsou při povrchu zrna o velikosti 1,5 (oblast II) a směrem k vnitřní straně pásu se objevují dvě malé oblasti s dosti jemnými zrnky o velikosti 8 dle ČSN (oblast III). Průměrná tvrdost materiálu podkovy byla 127,5±5,9 HV1.

Podkova III – rovenská silnice – Rovensko pod Troskami, hmotnost 320,5g (obr. 4)

metalografický rozbor: přechod mezi postranní a přední částí

Materiál má vysokou vměstkovitost, která se projevuje různě v jednotlivých oblastech výbrusu. Při spodní straně podkovy se např. nachází oblast s velmi vysokou hustotou drobných vměstků nepravidelného tvaru, mezi nimiž jsou jednotlivě i vměstky hrubé s vnitřní dendritickou stavbou. Zbytek materiálu jsou převážně jemné i hrubé vměstky nitkovité, jindy protáhlé, téměř vždy se zřetelnou vnitřní stavbou pravděpodobně wüstitu, méně pak i s vyššími oxidy železa.

V oblasti I je feritická struktura, místy s nezřetelnými hranicemi zrn. Velikost zrn je v místech dobře pozorovatelných 4 dle ČSN, průměrná tvrdost činí 101,6±15,1 HV1. V oblasti II jsou již hrubá zrna perlitu (velikost zrn 1,5 dle ČSN) s feritickým síťovým a jehlicovitým feritem zasahujícím do těchto zrn, až struktura v některých místech nabývá Widmannstättenův charakter. Obsah uhlíku se pohybuje zhruba od 0,5 do 0,65 %, tvrdost je však velice nízká 134,4±6,9 HV1. Oblast III je feriticko-perlitická s jehlicovitou morfologií feritu a s obsahem uhlíku asi 0,15%. Oblast IV je také feriticko-perlitická, převážně rovnoosá s 0,15%C. Oblast V je perliticko-feritická s feritovým síťovým, někdy pojeným s jehlicovitým feritem. Velikost perlitických zrn je asi 4 dle ČSN, s obsahem uhlíku asi 0,65%.

metalografický rozbor: hmátec

Materiál je vysoce vměstkovitý, nejvíce s nepravidelnými a nitkovitými vměstky, střední až velké velikosti, které převládají nad drobnými vměstky globulárními. Často jsou přítomny vměstky s vnitřní dendritickou stavbou. Znatelný je nedokonalý kovářský spoj s hmotou strusky s velmi vysokým podílem wüstitu. Feritická struktura se nachází v oblasti č. I, velikost zrn byla 6,5 dle ČSN. Průměrná tvrdost feritu byla 113,3±20,6 HV1. V oblasti č. II je struktura feriticko-perlitická, s obsahem uhlíku od 0,2 do 0,3 %. Struktura má větší či menší náznaky Widmannstättenova slohu. Oblast III obklopuje

struskovitou inkluzi. Struktura oblasti je nehomogenní, feriticko-perlitická, s obsahem uhlíku asi 0,35%. Oblast IV má feriticko-perlitickou strukturu s obsahem uhlíku 0,2 %, velikost zrn byla odhadnuta na 8,5 podle ČSN. Tvrdost se v průměru pohybovala kolem $168,3 \pm 10,1$ HV1. Oblast č. V má perliticko-feritickou strukturu, v níž se obsah uhlíku pohybuje od 0,35 do 0,6 %. Tvrdost měřená v ohniscích obsahu uhlíku, tj. v oblastech s obsahem uhlíku kolem 0,6%, byla kolem $282,3 \pm 27,6$ HV1.

Podkova IV – rovenská silnice – Rovensko pod Troskami, fragment podkovy, hmotnost 142g (obr. 4)

metalografický rozbor: přední část

Převažuje množství středně velkých globulárních vměstků v materiálu poměrně rovnoměrně rozmístěných. V materiálu se nachází také řada velkých, protáhlých inkluzí strusky, homogenní nebo heterogenní s dendritickou stavbou. Část materiálu při vnitřní straně podkovy, která je oddělena v celé tloušťce nedokonalým svarem od zbylého materiálu, je oproti průměrné vměstkovitosti podstatně čistší. Nejzřetelnější je odtržení jednoho plátu materiálu na spodní straně podkovy.

Podkova byla vyrobena z feritického železa. Struktura byla převážně hrubozrná, o velikosti zrn 1,5 (oblast I) a 2,5 (oblast II). Ve vzorku se objevují i podélné pásy struktury jemnozrnější o velikosti zrn 8,5 (oblast III) a 7,5 (oblast IV). Hodnoty velikosti zrn stanoveny dle ČSN 420462. Průměrná tvrdost feritu byla $186,1 \pm 26,4$ HV1.

Podkova V - Návarov, fragment podkovy, hmotnost 120g (obr. 5)

metalografický rozbor: přední část s hmatcem

Materiál má poměrně vysokou vměstkovitost. Ta se soustřeďuje především v horní části pásu podkovy, kde jsou převážně vměstky nepravidelného tvaru, od jemných po hrubé, bez vnitřní dendritické stavby. Zbytek materiálu je tvořen buď oblastmi čistými nebo oblastmi s pásovitým uspořádáním vměstků, převážně protáhlých nepravidelných tvarů a globulárních, od velikostí malých až po velké. Občas se vyskytují i nitkovité vměstky, nejvíce střední velikosti. Rozklínění pásu podkovy na její vnitřní straně je z části tvořeno struskou s dendritickou stavbou vůstítu. V oblasti č.I je obsah uhlíku do 0,1%. Feritická zrna jsou mírně protažena (nejde zde však o tvářecí texturu), což by svědčilo o rychlejší ochlazení. V oblasti č.II je obsah uhlíku do 0,1%, zrna jsou převážně rovnoosá o velikosti asi 6-7 dle ČSN. Některá feritická zrnka jsou mírně protažena vlivem rychlejšího ochlazení. V oblasti III je struktura feritická s obtížně leptatelnými hranicemi zrn. Oblast č. IV je struktura feritická bez zřetelných hranic zrn s množstvím jehlicek nitridů, nebo karbidů, popř. jiných drobných precipitátů. Velikost feritických zrn dle ČSN je 3 pro oblast V a 1 pro oblast VI. Naměřené hodnoty tvrdosti byly pro strukturu feriticko-perlitickou, tj. oblasti I a II, v průměru $118,9 \pm 3,6$ HV5, pro oblast III $155,2 \pm 6,6$ HV5 a pro oblast IV. $230,4 \pm 3,6$ HV0,5.

Podkova VI – Michalovice, fragment podkovy, hmotnost 120g (obr. 5)

metalografický rozbor: přechod postranní a přední části

Materiál je poměrně čistý s minimálním výskytem jakýchkoliv rozptýlených globulárních či nitkovitých vměstků. Přesto se v materiálu vyskytují menší oblasti s vyšší koncentrací vměstků, které mohou představovat zbytky nevykované strusky. Takové vměstky jsou sice zpravidla protáhlé, avšak ne nitkovité. Nepravidelné vměstky mají velikost od malých po velké. Z přítomných nehomogenit je nejvýraznější linie nedokonalého svaru, dlouhá přibližně 7mm. Nad ní se napojuje nejrozsáhlejší oblast vměstků s charakterem stejným jako v předchozích oblastech. Matrice vzorku je v oblasti č.I feritická s rovnoosými zrny o velikosti 4,5 dle ČSN. V Oblasti II je struktura feriticko-perlitická s obsahem uhlíku kolem 0,25% v jemnozrné struktuře o vel zrn 7 dle ČSN, až s maximem 0,4%C ve struktuře s hrubými perlitickými zrny ve Widmannstättenově slohu. V oblasti III je struktura feriticko-perlitická s obsahem C do 0,1%, vel zrn 8. Zrna feritu jsou zde převážně rovnoosá, vyskytují se však i feritická zrna s protáhlou morfologií. V oblasti IV je struktura perliticko-feritická s obsahem uhlíku 0,6%. Většina perlitických zrn je hrubých, s jehlicovitou morfologií feritu. Oblast je po jedné straně lemována nehomogenitou nedokonalého kovářského svaření, kterou obklopuje téměř v celé její délce jemnozrná feriticko-perlitická struktura o velikosti asi 9 dle ČSN. V oblasti č. V je struktura feriticko-perlitická s 0,25%C, velikost zrn byla 8 dle ČSN. V blízkosti rýhy pro podkováky je zřetelná silná tvářecí textura. Feritická struktura je v oblasti VI, vel. zrn 6 podle ČSN. Oblast VII byla feriticko-perlitická, nerovnoosá, s obsahem uhlíku do 0,1%. Hodnoty průměrné tvrdosti byly stanoveny pro

oblasti: I - $139,3 \pm 15,1$ HV_{0,2}; III - $157,5 \pm 5,5$ HV₁; V - $164,3 \pm 22,0$ HV₁ v místě rovnoosých zrn a $184,5 \pm 3,1$ HV_{0,5} v místech s tvářecí texturou.

Podkova VII – Borek, hmotnost 543g (obr. 6, 7)

metalografický rozbor: hmatec

Materiál má v místech nosného pásu podkovy vměstkovitost velmi vysokou. Vměstky jsou zastoupeny všemi tvary i velikostmi, převládají však vměstky nepravidelného tvaru.. Přestože vměstky sledují uvažovaný tok materiálu, nelze podle nich identifikovat místa kovářských svarů. Vměstky jsou nejčastěji tvořeny jednosložkovou křemičitanovou maticí, spíše ojediněle se objevují vměstky s globulemi či dendrity wüstitu, které jsou již řazeny v jedné linii. V místech hmatce je materiál poměrně čistší, se středně velkým výskytem jemných nitkovitých vměstků a vměstků globulárních či elipsovitých, které jsou dosti velké. Objevují se i oblasti středně velkých až velkých vměstků nepravidelného tvaru. Mezi materiálem pásu podkovy a hmatce je zřetelný kovářský spoj, tvořený buď nitkovitými inkluzemi, nebo pásmem jemných vměstků nepravidelného tvaru. V oblasti I je struktura tvořena jemným přechodovým perlitem o průměrné tvrdosti $453,1 \pm 33,8$ HV₁. V oblasti č. II je struktura tvořena směsí jemného bainitu nebo martenzitu a přechodového perlitu, průměrná tvrdost byla $740,2 \pm 113,7$ HV₁. Oblast č. III tvořila perliticko-feritická struktura, ve které se obsah uhlíku pohyboval mezi 0,25 až 0,5 %. Přestože obsah uhlíku kolísá, charakter struktury je v celé oblasti podobný, charakteristický náznaky, až po plně rozvinutou Widmannstättenovu strukturu. Tvrdost zde v průměru byla $235,5 \pm 29,8$ HV₁. Oblast IV je feriticko-perlitická, v níž obsah uhlíku byl asi 0,2%, velikost zrna byla podle ČSN 7,5. Tvrdost : $156,9 \pm 8,0$ HV₁. Pátá oblast je feritická, s velikostí zrn $4,5$ dle ČSN a průměrnou tvrdostí $145,7 \pm 10,7$ HV₁.

metalografický rozbor: patková část

Materiál pásu podkovy je znečištěn především středně velkými v jednom směru orientovanými vměstky nepravidelného a hlavně pak nitkovitého tvaru. V celé matici kovu je také množství malých vměstků ve tvaru globulek. První část vzorku, tj. materiál vnějšího okraje podkovy, má v oblasti I feriticko-perlitickou strukturu, místy s jehlicovitě vyloučeným feritem, velikosti zrn 8 a obsahu uhlíku 0,25%. V oblasti II obsah uhlíku klesá na 0,1% a velikost zrn na 7 dle ČSN. V oblasti III je opět již struktura s obsahem uhlíku 0,25% a velikostí zrn 8, lokálně se však již objevuje i struktura Widm. (0,4% C). Oblast IV je feritická s velikostí zrn 4, pátá oblast je ferit.-perl. s obsahem uhlíku 0,15%. V druhé části výbrusu byla v oblasti I feritická struktura velikosti zrn 5 dle ČSN. V oblasti II je feriticko-perlitická struktura s obsahem uhlíku 0,25%, velikosti zrn 5, lokálně s Widm. str. (kolem 0,3%C). Oblasti III a IV jsou feritické s obtížně zřetelnými hranicemi zrn. Tvrdost feritických oblastí byla $145,7 \pm 15,2$ HV₁, tvrdost feritiko-perl. oblastí s uhlíkem 0,25% byla $165,0 \pm 7,1$ HV₁.

metalografický rozbor: podkovák

Materiál hřebu má relativně malou vměstkovitost tvořenou malými nitkovitými a globulárními vměstky. Matrice kovu je tvořena feritickou strukturou v oblasti I, v části A velikosti zrn 7 a v části B velikosti zrna 4 dle ČSN. Oblast II je feriticko-perlitická, v části A s 0,25%C a velikostí zrn 10, v části B a C v průměru s 0,2%C a strukturou Widm. typu, přičemž v oblasti C uhlík lokálně dosahuje až 0,6%C. Tvrdost feritické oblasti byla $110,2 \pm 23,6$ HV₁, tvrdost feriticko-perl. oblasti s uhlíkem 0,2% byla $149,7 \pm 4,0$ HV₁. Přibližně v místech mezi oblastmi I a II jde strukturou II světlý pás, který v blízkosti hlavy hřebu dosahuje jasně rozlišitelné bílé zbarvení. Šířka této linie byla $34,9 \pm 7,7$ μm, rozhraní mezi základním materiálem a linií nebylo ostré, linie působila dojmem spíše špatné naleptatelnosti - proto světlý odstín. Při naleptání podle Oberhofferera byla tato linie světlá a v matici kovu tak výrazně rozeznatelná.

Podkova VIII – Trosky, fragment podkovy 26/96, hmotnost 66g (obr. 8)

metalografický rozbor: přední část

Ve vzorku jsou v blízkosti vnější strany podkovy ve vyšší koncentraci středně velké nitkovité vměstky, v menší míře pak vměstky globulární. U vnitřní strany podkovy jsou rozloženy středně velké vměstky globulární a velké vměstky nepravidelného tvaru, představující většinou stopy po nevykované strusce. Struktura je v oblasti I-a Widmannstättenova s obsahem uhlíku do 0,2%. V oblasti I-b je struktura feriticko-perlitická představující přechod do struktury Widmannstättenova typu. Obsah uhlíku se pohybuje kolem 0,2%, lokálně lze odhadnout velikost některých rovnoosých feritických zrn na 8 dle

ČSN 42 0462. Oblast I-c je tvořena strukturou ferit-perlitickou s obsahem uhlíku max. 0,4% a jeho povoleným úbytkem až pod hodnoty 0,1% směrem k linii svaru. Struktura je poměrně jemnozrná, odpovídající hodnotám 8-9 dle ČSN. Oblast II je již feritická s průměrnou velikostí zrn 5 ČSN, místy však s nezřetelnými hranicemi zrn. Tato struktura má v oblasti III mírnou tvářecí texturu. Oblast IV je feriticko-perlitická o obsahu uhlíku 0,15%, lokálně i 0,2%. Velikosti zrn by odpovídaly hodnotě 8 dle ČSN. Hodnoty tvrdosti: ferit = $113,6 \pm 10,7$ HV1, feriticko-perlitická struktura s obsahem uhlíku kolem 0,2% = $154,4 \pm 7,5$ HV1.

Podkova IX – Dolní Štěpanice, fragment podkovy 284/95, hmotnost 143g (obr. 8)

metalografický rozbor: přední část

V materiálu jsou nejvíce vměstky velké nepravidelného tvaru, méně pak velké globulární a nejméně středně velké nitkovitého tvaru. Všechny typy vměstků jsou ve větší míře koncentrovány v horní části pásu podkovy. Struktura je v celé ploše výbrusu feritická, s velikostmi zrn 5-6 v oblasti I a 3 v oblasti II. Oblast III má nejasně viditelné hranice zrn. Průměrná tvrdost feritu byla $152,6 \pm 11,7$ HV1.

podkova X – Dolní Štěpanice, fragment podkovy II 284/95, hmotnost 135g (obr. 8)

metalografický rozbor: přední část

Materiál podkovy byl v největší míře znečištěn vměstky nepravidelného tvaru a velké velikosti, méně pak středně velkými vměstky globulárními nebo nitkovitými. Vměstky jsou koncentrovány především v horní části pásu podkovy v blízkosti hmatce.

Struktura je v oblasti I feriticko-perlitická s uhlíkem do 0,1%, velikost zrn by odpovídala hodnotě 4-5 dle ČSN 420462. V oblasti II je struktura feritická s ostrůvky perlitu, obsah uhlíku pod 0,1%, velikost zrn kolem 5. Oblast č. III je také fer.-perl. s velikostí zrn 6-7, obsah uhlíku do 0,15%. Feritická struktura s velikostí zrn 3-4 se nachází v oblasti IV, velikostí 6,5 dle ČSN v oblasti V a nezřetelnými hranicemi zrn v oblasti VI. Průměrná tvrdost feritu byla $153,2 \pm 7,7$ HV1, tvrdost feriticko-perlitické struktury s obsahem uhlíku 0,1-0,15% byla $182,2 \pm 3,6$ HV1.

Podkova XI – Dolní Štěpanice, fragment podkovy 248/95, hmotnost 107g (obr. 8)

metalografický rozbor: přední část

Materiál podkovy má poměrně vysokou čistotu s minimálním množstvím vměstků, které jsou převážně střední velikosti globulárního tvaru, podstatně méně pak malé nitkovité a středně velké nepravidelného tvaru. V oblasti I je struktura feriticko-perlitická s obsahem uhlíku kolem 0,2% a velikostí zrn odpovídající hodnotě 7,5 dle ČSN 420462. Místy je zřetelný náznak Widmannstätenovy struktury. Oblast č. II je feritická s ostrůvky perlitu a obsahem uhlíku do 0,1%. Velikost zrn asi 7. Oblast III je feritická s vel. zrn 5, velikost zrn 7 je v oblasti IV. Oblast V je feriticko-perlitická s max. obsahem uhlíku do 0,2% a velikostí zrn odpovídající hodnotě 6 dle ČSN. Hodnoty tvrdosti byly u feritických struktur: $146,7 \pm 6,2$ HV1, u feriticko-perlitické struktury s obsahem uhlíku kolem 0,2%: $192,9 \pm 11,2$ HV1.

Vyhodnocení a závěry

Metalografické rozboru nepotvrdily u podkov opatřených ozuby, avšak bez hmatce, vyhotovení materiálového zlepšení jejich předních částí (připouštíme samozřejmě, že jsme mohli v některých případech hledaný ocelový plátek při vzorkování minout). Pouze u fragmentu podkovy 26/96 z hradu Trosky byla na vnější straně pásu pozorována část materiálu o vyšším obsahu uhlíku, nedávající však jasnou odpověď, zda se jedná o známky svařování paketu z netříděné suroviny, či zda skutečně jde o stopy po úmyslném navaření oteřuvzdornějšího kovu. Pokud bychom připustili druhý případ, muselo být vylepšení podkovy oteřuvzdornějším materiálem (oproti základnímu materiálu) v náročnějších podmínkách jen velmi málo účinné (obsah uhlíku byl takřka na 80% plochy kolem 0,2%). Znamená to, že tato partie podkov byla zřejmě tvořena častěji nízkouhlíkovým materiálem, beze stop úmyslného využití ocelí, které by mohly přispět k vyšší oteřuvzdornosti spodní plochy. Toto zjištění může být překvapivé za předpokladu, že se jedná o podkovy koní pracujících v lehkém tahu (pro něž je tento typ podkov vhodný), neboť dnešní podkovy tažných koní jsou v předních částech obvykle zlepšovány ve snaze co nejvíce zmírnit opotřebení této funkční části, která bývá opotřebována velmi silně a obvykle vyžaduje speciální úpravy. Pokud by se tažní koně, kteří byli takovými podkovami podkovaní, pohybovali v terénu s měkkým podložím, materiálové zlepšení podkov by nemuselo být tak

významným faktorem určujícím životnost a tím i kvalitu podkov. Je však pravděpodobné, že materiálového zlepšení alespoň u některých podkov zapotřebí bývalo (tomu by nasvědčovala skutečnost, že se často nachází pouze fragmenty podkov, porušené v důsledku vysokého zeslabení právě v přední části) a pak by daná zjištění naznačovala na menší podkovářskou zkušenost s konstrukcí tohoto typu podkov. Pokud by se jednalo o podkopy jezdeckých koní, absenci materiálového zlepšení lze předpokládat. Lehkých podkov s nízkými ozuby bylo užíváno ve snaze zabránit uklouznutí koně např. u koní rytířů.

Posouzením hmatců podkov I, III, V a VII nelze vyloučit, že mohlo být ve stejné míře užíváno jak hmatců s materiálovým zlepšením, tak i bez něj. Nelze tedy ani prokázat, že by jedna z variant převažovala. Nelze také vyloučit, že zřetelná snaha materiálově zlepšovat hmatce jako jednu z funkčních partií podkov vycházela ze stejných zkušeností jako kování hmatců samotných (to se objevuje asi od 15. stol. [5]). V případě fragmentu podkopy z hradu Návarova je však přítomnost hmatce samotného překvapivá, neboť u fragmentu nebyly stopy po vykování ozubů, navíc se zdá, že šlo o podkopy pro nemocného koně (soudě podle nakovaného materiálu v patkové části). Člověk té doby již tedy patrně pocítoval potřebu zajistit vyšší abrazní odolnost podkov a zároveň i přispět k lepšímu záběru koní pracujících v těžkém tahu.

Podkopy mohly být kovány z polotovarů nakupovaných v hamrech nebo i ze šrotu, často jednoduchou technikou kladení a svařování po jednotlivých vrstvách, bez žádných zvláštních nebo neobvyklých postupů či konstrukcí. Užití měkkého železa jako materiálu základního pásu podkov bylo z dnešního pohledu vhodné (je ho užíváno do současnosti).[9].

Podkopy č. I (rovenská silnice – Rovensko pod Troskami – Severočeské muzeum v Liberci) a č. VII (Borek - Okresní muzeum Českého ráje v Turnově), jsou typologicky shodné. Soudíme tak podle tvarových atributů, jako jsou ozuby, hmatec či celková mohutnost podkopy. Obě podkopy byly vybaveny hmatcem, v nichž bylo metalograficky potvrzeno užití oceli. Přestože způsob vsazení ocelového kusu do těla hmatce bylo u obou podkov rozdílné, struktura obou byla shodně tvořena především jemným přechlazeným perlitem. Takřka o 120 jednotek HV vyšší tvrdost struktury přechlazeného perlitu u podkopy VII oproti podkově I je pak možné přisuzovat spíše o něco vyšší rychlosti ochlazování, kdy u podkopy VII došlo v některých oblastech dokonce k formování typických kalených struktur. Vyšší rychlost ochlazování by bývala byla vhodná, neboť oceli s martenzitickou strukturou se opotřebovávají méně než oceli se strukturou perlitickou [10]. Zajímavé je, že podkopy I a VII jsou od ostatních podkov souboru odlišné nejen tvarem a konstrukčním i materiálovým zlepšením své přední části, ale společně i s podkováky také stopami svarů v podobě světlých až bílých linií. U podkopy VII se tato stopa vyskytuje v materiálu podkováku, u podkopy č. I ve hmatci, vycházíme však z předpokladu, že pro podkováky i podkopy bylo využito stejného zdroje materiálu. Porovnání se zbytkem souboru je v tomto směru trochu ošemetné, neboť i v případě podkov I a VII je asi ze 70% pravděpodobné, že náhodně odebrané vzorky budou mít stejnou frekvenci výskytu matrice bez takovýchto bílých linií i matrice v nichž se bílé linie objeví. Přesto nelze vyloučit, že zbylé podkopy systematicky vykazují jejich nepřítomnost a lze předpokládat, že užití výrobních postupů aplikovaných při výrobě podkopy či jejich polotovarů, které v závěrečné fázi podporují vznik takových světlých žilek, je pro typ podkov zastoupených vzorky I a VII v našem souboru charakteristické (nutné je však podotknout, že obdobné bílé linie nejsou ničím zvlášť výjimečným, a při studiu rozsáhlejších souborů se vyskytují poměrně často). Chemická mikroanalýza bílé linie podkováku odhalila zajímavou skutečnost. Zatímco v matrici kovu přiléhajícího k linii nebyly detekovány žádné příměsi, v linii samotné bylo mikrosondou detekováno kolem 1% Mg. Za předpokladu, že použitý kov byl vyroben přímo z rud, musí být hořčík ve formě oxidů, neboť k redukci hořčíku v procesu přímé výroby železa nedocházelo. Linie je z pohledu chem. složení neobvyklá a obtížně vysvětlitelná. Na základě všech předložených faktů se domníváme, že obě podkopy byly nejspíše vyrobeny v téže kovářské dílně, přestože toto tvrzení nemůže být podepřeno žádnou další jednoznačněji průkaznou indicií (jako např. raženými značkami známými u řady výrobků 14. a 15. stol. a objevujících se kupříkladu i u některých podkov pražských [11]).

Vzhledem k tomu, že středověké podkopy nebyly v minulosti analyzovány často, bude jistě užitečné zmínit některé výsledky rozborů i od jiných autorů. Tak například podkopy objevené při archeologických výzkumech v Rougemont-le-Château (Francie), datované do 13. stol. měly zasazený ocelový pás v jinak feritické matrici, podkopy datované do 14. stol. byly v celku feritické. Metalografické šetření bylo prováděno v patkových částech a ozubech podkov (či jejich fragmentech) charakteristických vlnkovitým vnějším okrajem [12]. Z měkkého, převážně feritického železa byla

vyrobena podkova z lokality středověké vápenické pece při Obřanském hradě. Podkova byla zkoumána v jedné polovině, kdy rovina výbrusu byla přibližně rovnoběžná s rovinou základny [13]. Z polské Muszyny byla analyzována středověká podkova s měkkým feritickým železem v postranní části [14]. Také tým vedený prof. Mihokem analyzoval řadu středověkých podkov z několika lokalit. Podkova ze Svinice (Slovensko) datovaná do 13. a 1. pol 14. stol. byla analyzována v patkové části v blízkosti přechodu do části postranní. Zjištěna byla účelná (snad i úmyslná) konstrukce, vykováním pásu podkovy z feritického a tvrdého nauhličeného materiálu, který byl umístěn ve spodní (půdní) ploše podkovy.[15]. Podkovy z lokality Sitno v blízkosti Bánské Štiavnice (SR), datované do 12. až 13. stol. byly vyrobeny obdobnou metodou jako v prvním případě, tj. ze dvou pásů, feritického a perlitického. [16]. Podkovy 15. až 16. stol. z lokality Banská Štiavnica - Staré město (SR) byly vzorkovány pravděpodobně v postranních částech, pás podkov byl v těchto místech tvořen měkkým feritickým železem. [17]. Podkovy ze středověkého hradu Lelekovice (ČR) byly vzorkovány 1) v patkové části - struktura pouze feritická, 2) v postranní části až přechodu do části patkové, kde byl materiál tvořen vysokou variabilitou struktur bez jakékoli logické návaznosti (šlo o využití šrotových materiálů). Struktury - feritická, f.-p., perlitická i martenzitická - byly velmi často distribuované do užších pásů.[18]. Podkova ze středověkého města Leopoli-Cencelle (Itálie) byla v patkové části tvořena převážně feritickým železem, v menší míře byla pozorována i struktura f-p s nízkým obsahem uhlíku. Materiálová konstrukce se v tomto případě jeví jako náhodná [19]. V souhrnu autoři konstatovali, že podkovy byly vcelku běžným spotřebním zbožím, kterému se v zahraničí (tj. na území dnešní Moravy a Itálie) z hlediska produkce žádná větší pozornost nevěnovala. Jinak prý tomu bylo v případě podkov ze dvou míst Slovenska (Sitno a Svinice), které dokumentují velmi zajímavou a účelnou techniku výroby, zlepšující jejich vlastnosti a užitnou hodnotu. Vypovídají navíc o vysoké zručnosti středověkých kovářů, úzkých vazbách mezi osadami či regiony i šíření a výměně zkušeností středověkých kovářů, neboť Sitno a Svinice jsou od sebe vzdáleny 250km.[16].

Provedeny byly ale i další série rozborů slovenských podkov. Podkova z Myslavy (Slovensko) byla v postranní části cementovaná, přičemž maximální obsah uhlíku se nacházel na spodní půdní ploše. [20]. Cementaci spodní plochy patkové části se předpokládá také u podkovy z Kežmaroku a z Toporčíku (13. až 14. stol. SR) [21]. Jiná kežmarovská podkova (13.-15. st.) však měla patkovou část z nehomogenního železa, u další (15. st.) nelze vyloučit, že původní nauhličená vrstva patkové části byla opotřebením odstraněna. Totéž lze říci i o podkově 15. až 16. st. ze Spišskej Belej (SR), mladší podkova z tohoto místa (16. – 17. stol.) měla patkovou část pouze z hrubozrnného feritického železa. [21]. Podkova z hradu ve Staré Ľubovni (SR) vzorkovaná snad v přechodu patkové a postranní části měla základní pás vyrobený pravděpodobně svařením vícero polotovarů s různými obsahy uhlíku, přičemž materiál s vyššími obsahy uhlíku je ve více namáhaných místech, především spodní ploše podkovy [20].

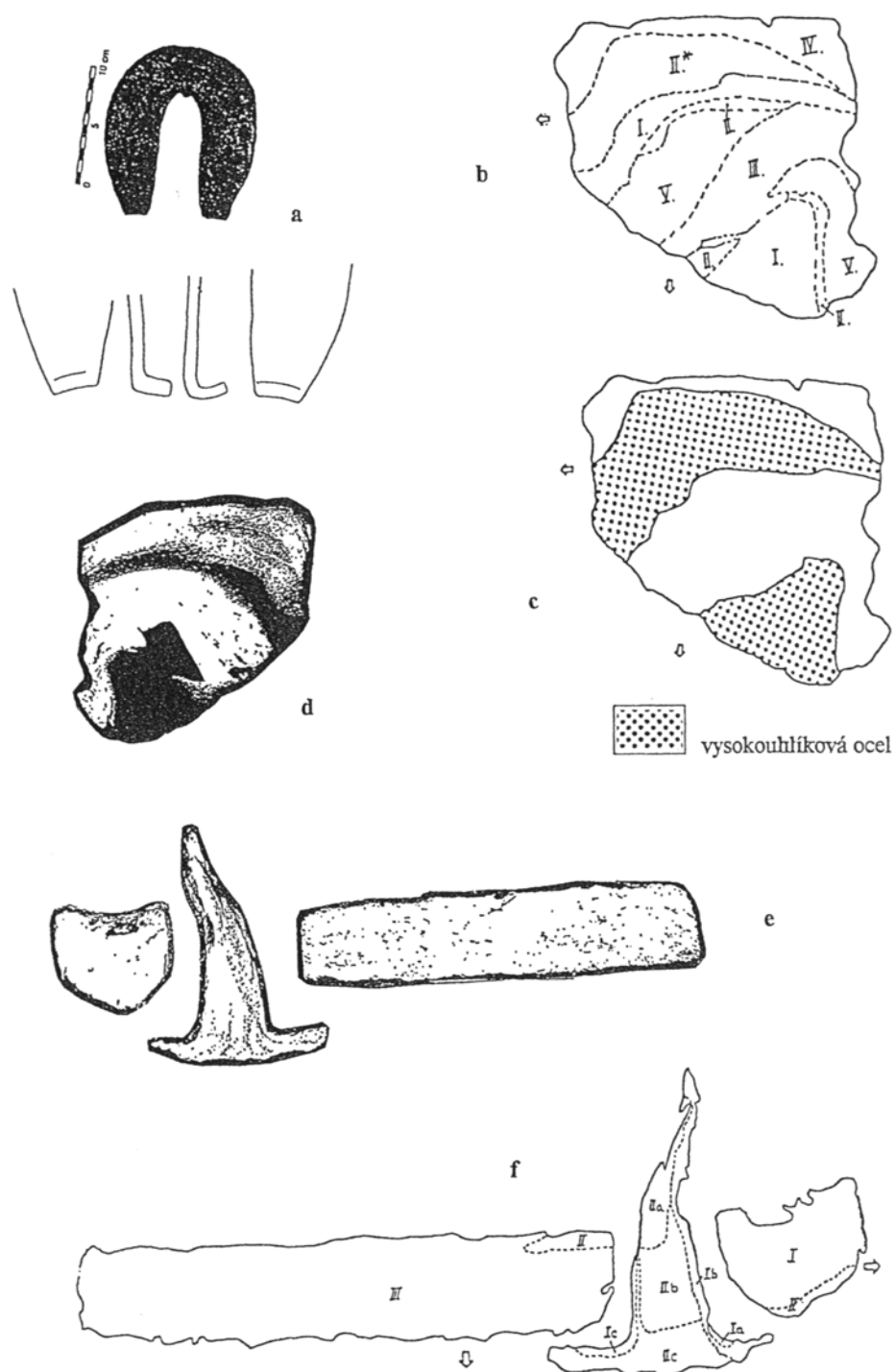
Závěr

Nebylo prokázáno, že by podkovy analyzované v této práci byly zlepšovány navařením ocelového plátku, či nauhličováním spodní půdní plochy jejich předních částí. Neznamená to ale, že by středověké podkovářství tyto způsoby zlepšování podkov neznalo, jak potvrzují zajímavé studie ze Slovenska. Neznamená to ani, že by pouze jednoduché a v přední části nevylepšované podkovy musely nutně odrážet nižší úroveň podkovářského řemesla, byť se za takové situace nelze vyhnout určitým pochybnostem. Hmatec, kterým byly vybaveny čtyři podkovy, byl ocelí zlepšen pouze u podkovy z Borku a jedné podkovy z Rovenska pod Troskami. Je zajímavé, že tyto dvě podkovy mají takové množství společných znaků, že je možné uvažovat o jejich výrobě v téže podkovářské dílně.

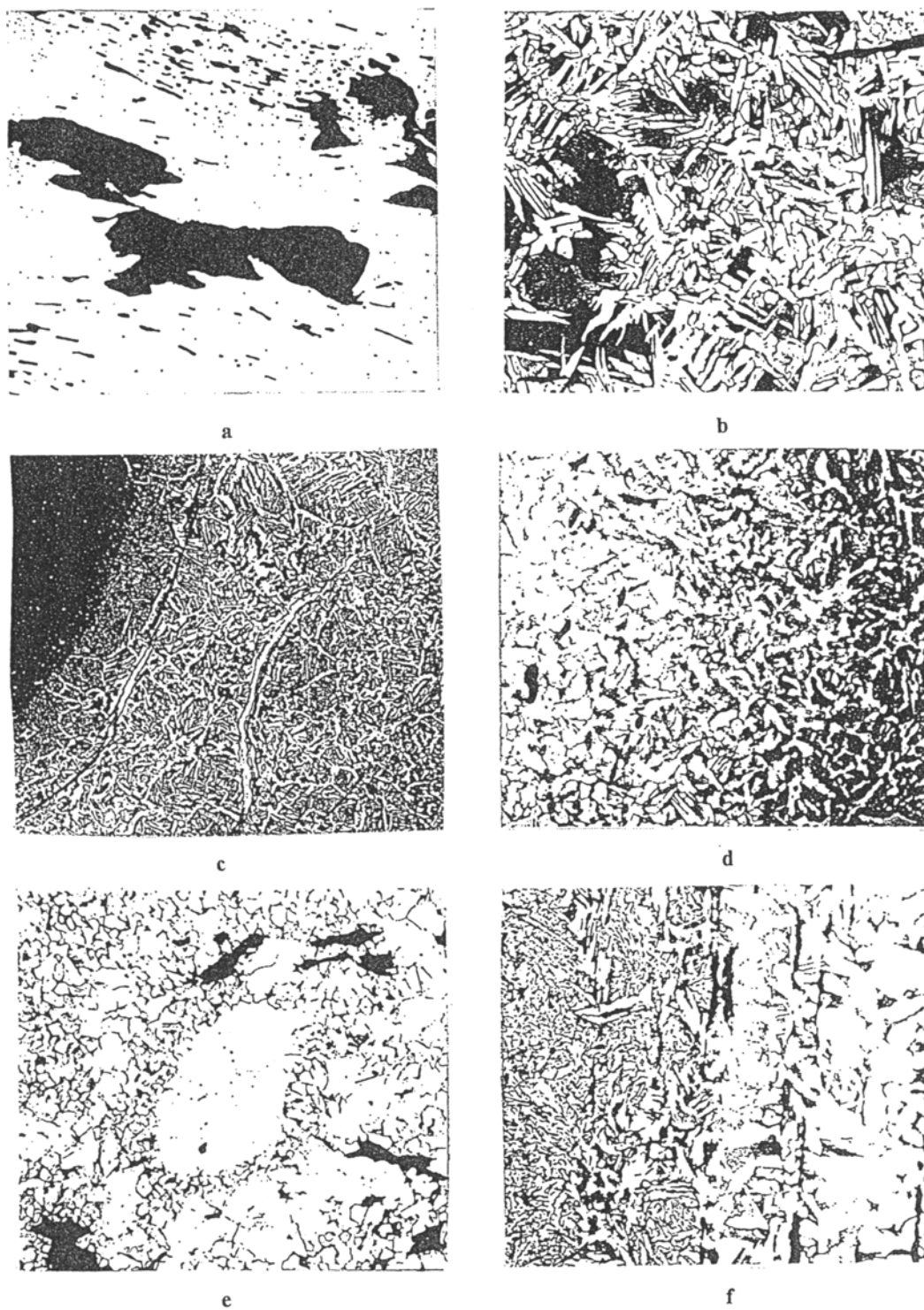
Literatura:

- [1] STEHLÍK, V. – kol.: Naučný slovník zemědělský, díl.6, Praha 1976, ÚVI – SZN.
- [2] KOUBEK, K. – kol.: Speciální zootechnika, II. díl, chov koní, Liberec 1958, SZNP.
- [3] DUŠEK, J.: Kůň ve službách člověka (středověk), Praha (nedatováno), APROS.
- [4] KUBAČÁK, A.: Dějiny zemědělství v českých zemích, I.díl, Praha 1994, Ministerstvo zemědělství ČR.
- [5] PETRÁŇ, J. – kol.: Dějiny hmotné kultury i (1), Praha 1985, SPN.
- [6] SINGER, CH. – HOLMYARD, E. J. – HALL, A. R. – WILLIAMS, T. I.: a History of Technology, Volume II, The Clarendon Press, Oxford.

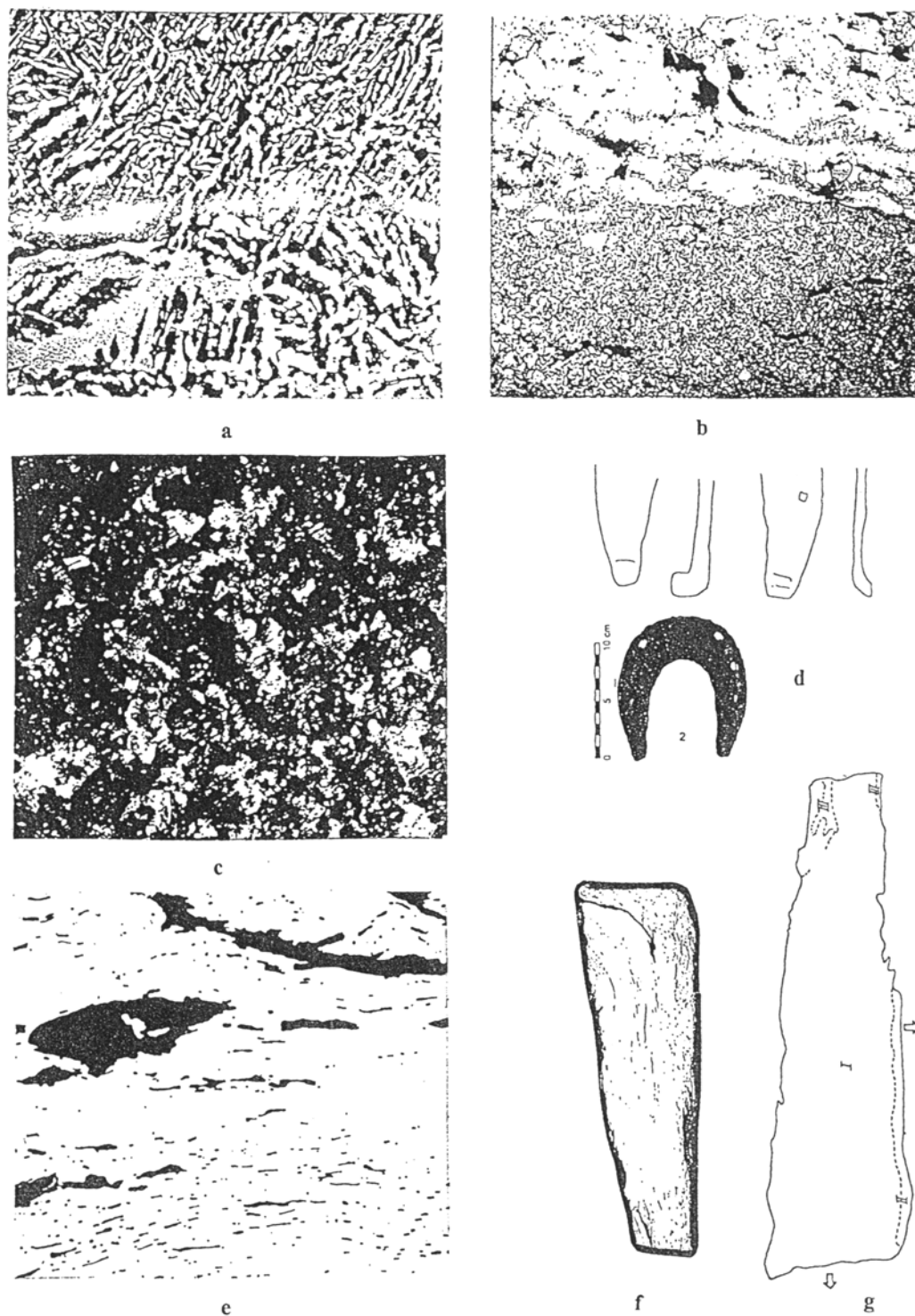
- [7] NEKUDA, V.: Mstínice – zaniklá středověká ves (1), Brno 1985, Muzejní a vlastivědná společnost v Brně.
- [8] KAZMIERCZYK, J.: Podkopy na Śląsku w X do XIV wieku, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk, 1978.
- [9] QUADRAT, O.: Základy metalurgie železa, Praha 1953, SNTL.
- [10] BOWDEN, F. P. – TABOR, D.: The Friction and Lubrication of Solids, Part. II., Oxford 1964, Clarendon Press.
- [11] HUML, V. – PLEINER, R.: Das Schmiede im mittelalterlichen Prag, In: Archaeologica Pragensia 11, Praha 1991, str.187-237.
- [12] BERTIN, F. – GUILLOT, I. – WALTER, P. – BENOIT, P.: Etude metallographique de fers a chevaux medievaux, In: Archaeometallurgy of Iron 1967-1987, Symposium Liblice 5-9 oct.1987, Praha 1989, 445-458.
- [13] STRÁNSKÝ, K.: Rozbor železných předmětů z lokality středověké vápenické pece při Obřanském hradě, In: Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami, sborník II. semináře, Brno 1979, 101-107.
- [14] NOSEK, E. M. – MAZUR, V. – MICZULSKI, S.: Iron smelting in medieval bloomery furnaces on Castle Hill at Muszyna, distr. Nowy Sacz, Poland, In: Medieval Iron in Society, Stockholm 1985, Jernkontoret and Riksantikvarieämbetet, 240-259.
- [15] MIHOK, L. – ČAPLOVIČ, D.: Archeometalurgické štúdiium stredovekej výroby železa a železných predmetov zo Svinice, In: Archeologia technica 10, Brno 1996, TM Brno, 61-77.
- [16] MIHOK, L. – PRIBULOVÁ, A. – HOLLÝ, A.: Research of medieval methods used for horse shoes production, In: Metallography '98, Stará Lesná 1998, 471-474.
- [17] MIHOK, L. – PRIBULOVÁ, A. – LABUDA, J.: Štúdiium stredovekých metód výroby železných predmetov z lokality Banská Štiavnica – Staré mesto, In: Z dějin hutnictví 25, Praha 1996, NTM Praha, 10-17.
- [18] MIHOK, L. – PRIBULOVÁ, A. – UNGER, J.: Kováčska dielna na stredovekom hrade Lelekovice, In: Z dějin hutnictví 26, Praha 1997, NTM, 31-37.
- [19] VARGOVÁ, R. – MIHOK, L. – PRIBULOVÁ, A.: Kováčska produkcia v stredovekom meste Cencelle, In: Metallurgy – Junior 1997, zborník prednášok, Košice 1997, 1-19.
- [20] PETRÍK, J. – MIHOK, L. – ROTH, P. – SOLÁRIKOVÁ, M.: Analýza železných predmetov z múzea Stará Ľubovňa, In: Rozpravy NTM Praha (v tisku).
- [21] PETRÍK, J. – MIHOK, L. – GIERTLOVÁ, M. – SOLÁRIKOVÁ, M.: Archeometalurgická analýza železných predmetov z Kežmaroku a okolia, Východoslovenský pravek (v tisku).
- [22] ČERMÁK, M. – KRÁL, E.: Kovářství a podkovářství, Praha 1956, SZN.



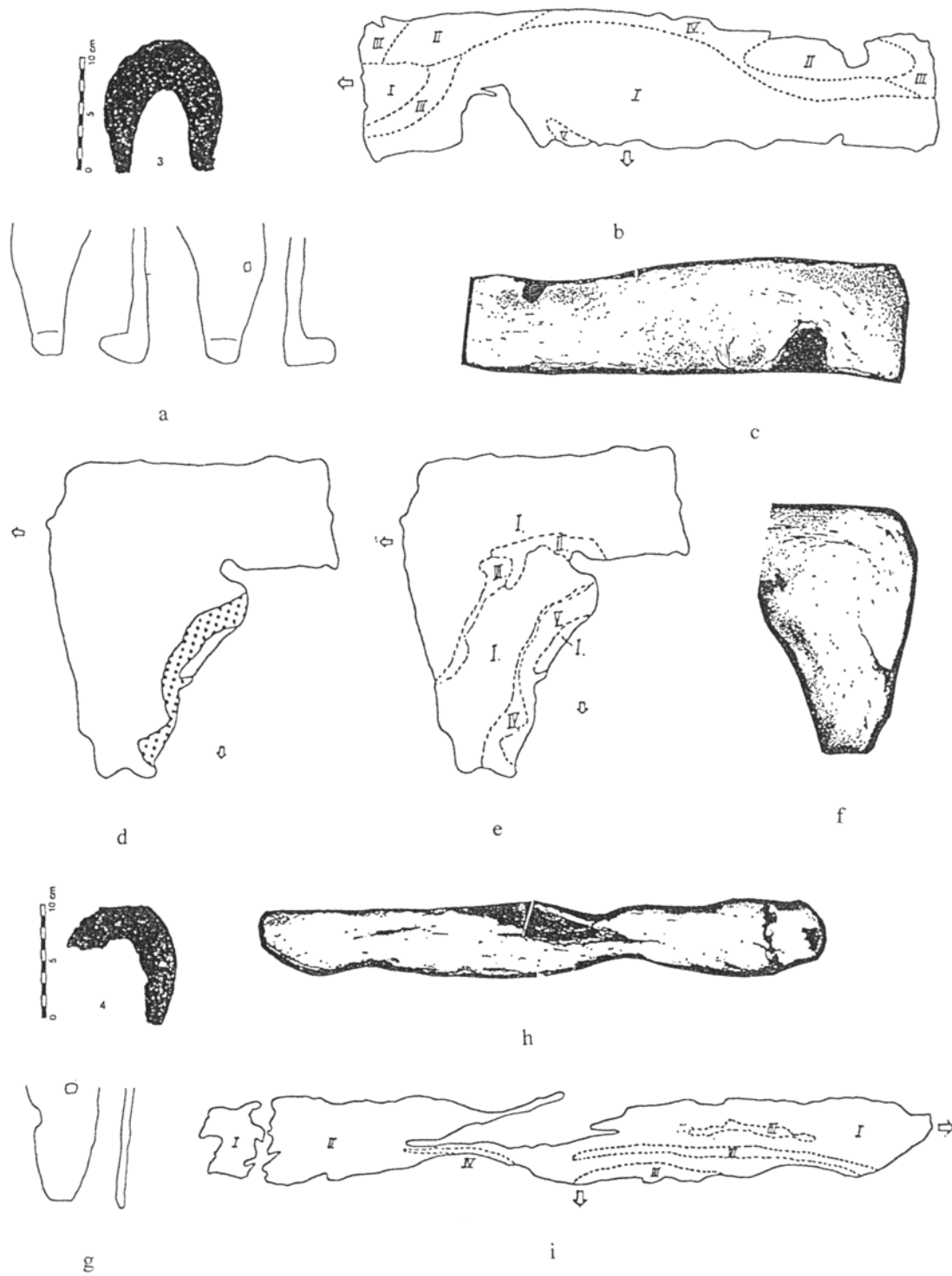
Obr. 1 Podkova I: a – podkova; b, c – mapa oblastí struktur hmatce; d – hmatec – makro (nital); e – pás podkovy a podkovák – makro (nital); f – mapa oblastí struktur



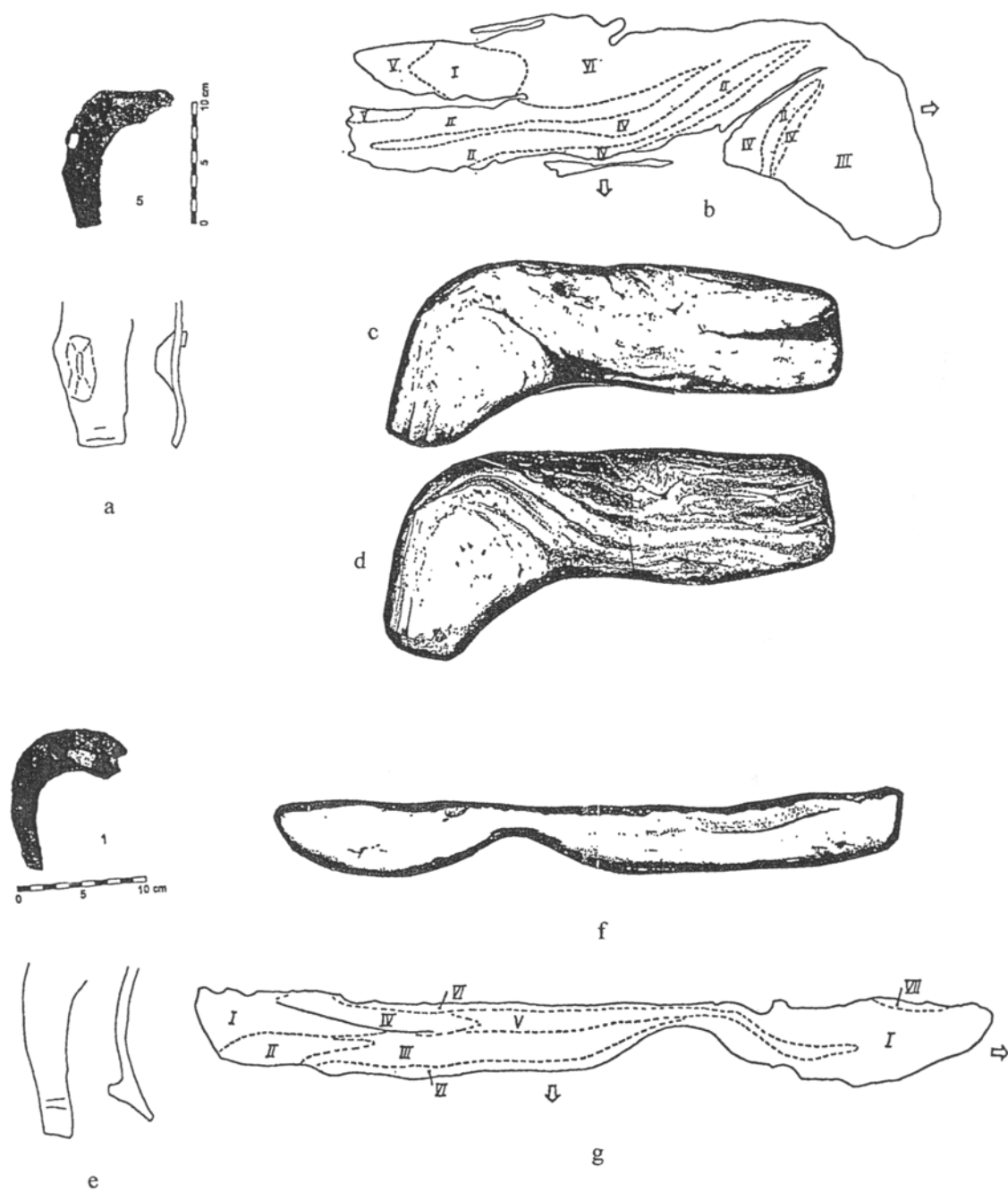
Obr. 2 Podkova I: *a* – hrubé a jemné částice strusky, neleptáno, 100 x; *b* – struktura f-p s jehlicovitou morfologií feritu, leptáno nitalem, 100 x; *c* – struktura f-p až p-f s bílými liniemi navazující na strukturu př.p., leptáno nitalem, 26 x; *d* – struktura feritická až p-f, leptáno nitalem, 79 x; *e* – struktura feritická, leptáno nitalem, 100 x; *f* – přechod mezi f-p a feritickou strukturou, leptáno nitalem, 126 x



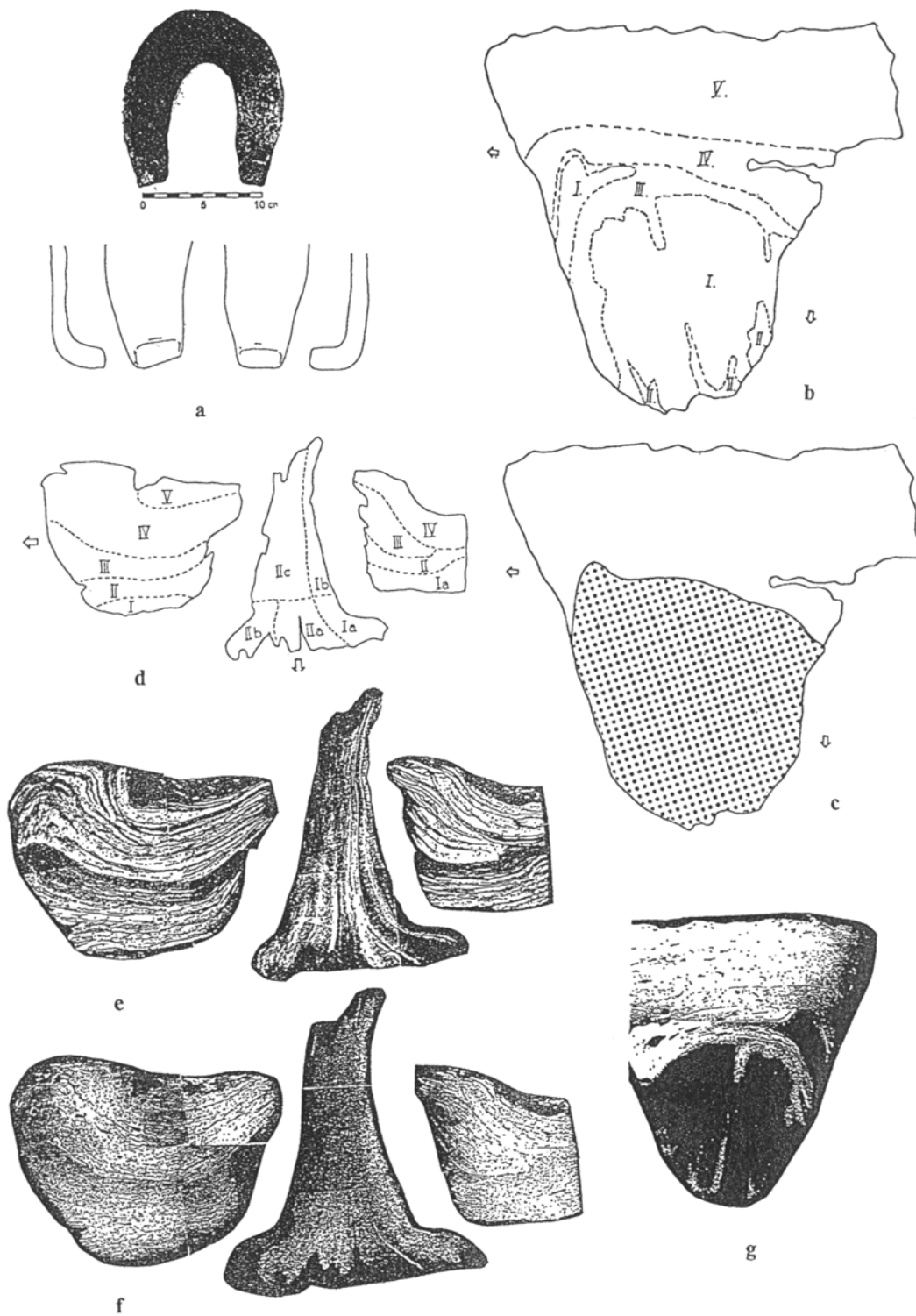
Obr. 3 Podkova I: *a* – struktura f-p se stopou bílé linie, leptáno nitalem, 100 x; *b* – přechod mezi jemnou a hrubou strukturou feritu, leptáno nitalem, 32 x; *c* – struktura přechl. perlitu, leptáno nitalem, 400 x; **Podkova II:** *d* – podkova; *e* – charakter inkluzí, neleptáno, 100 x; *f* – makro (nital); *g* – mapa oblastí struktur



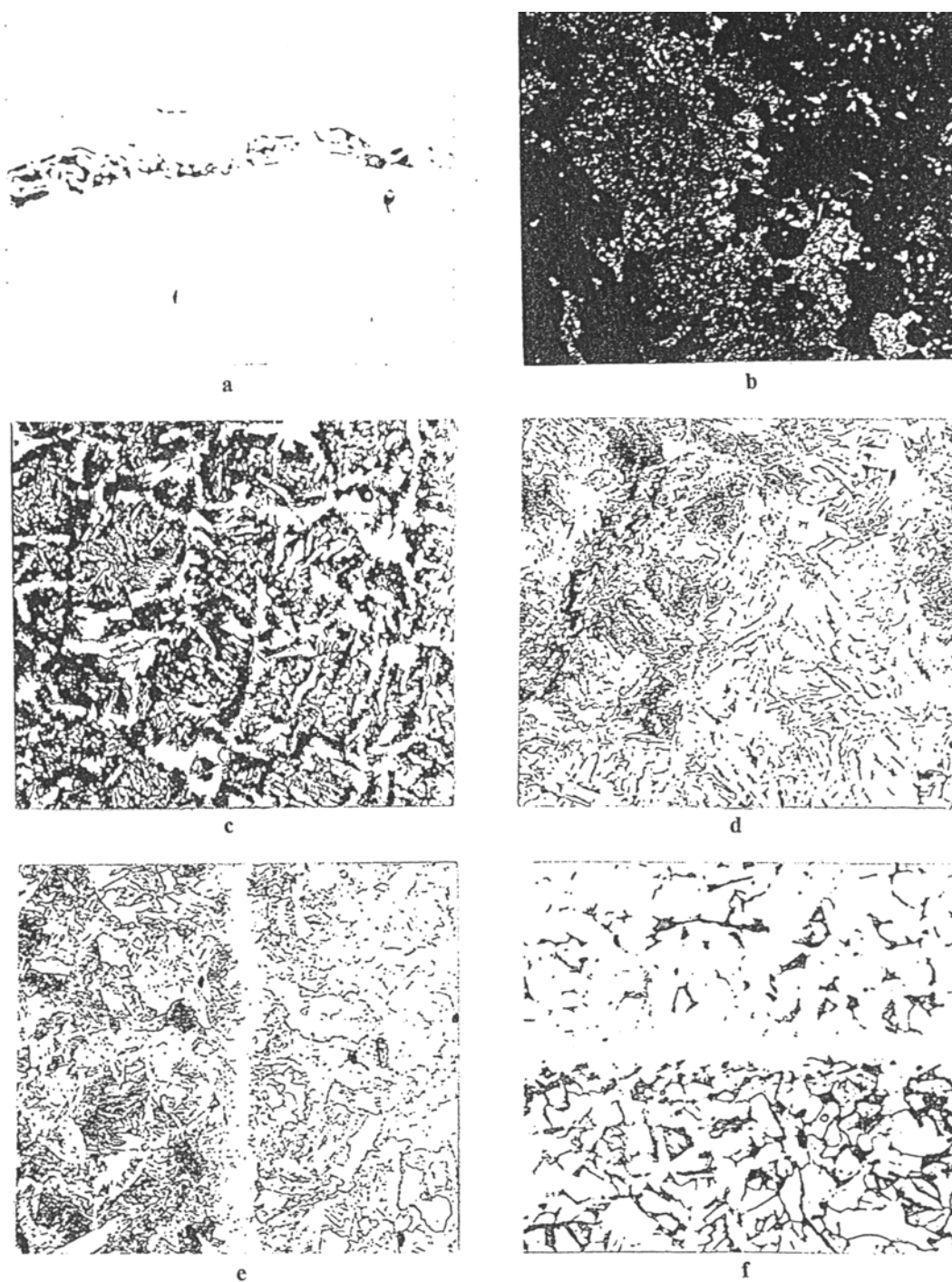
Obr. 4 Podkova III: a – podkova; b – mapa oblastí struktur; c – makro (nital); d, e – mapa oblastí struktur hmatce; f – makro (nital) hmatce; **Podkova IV:** g – podkova; h – makro (nital); i – mapa oblastí struktur)



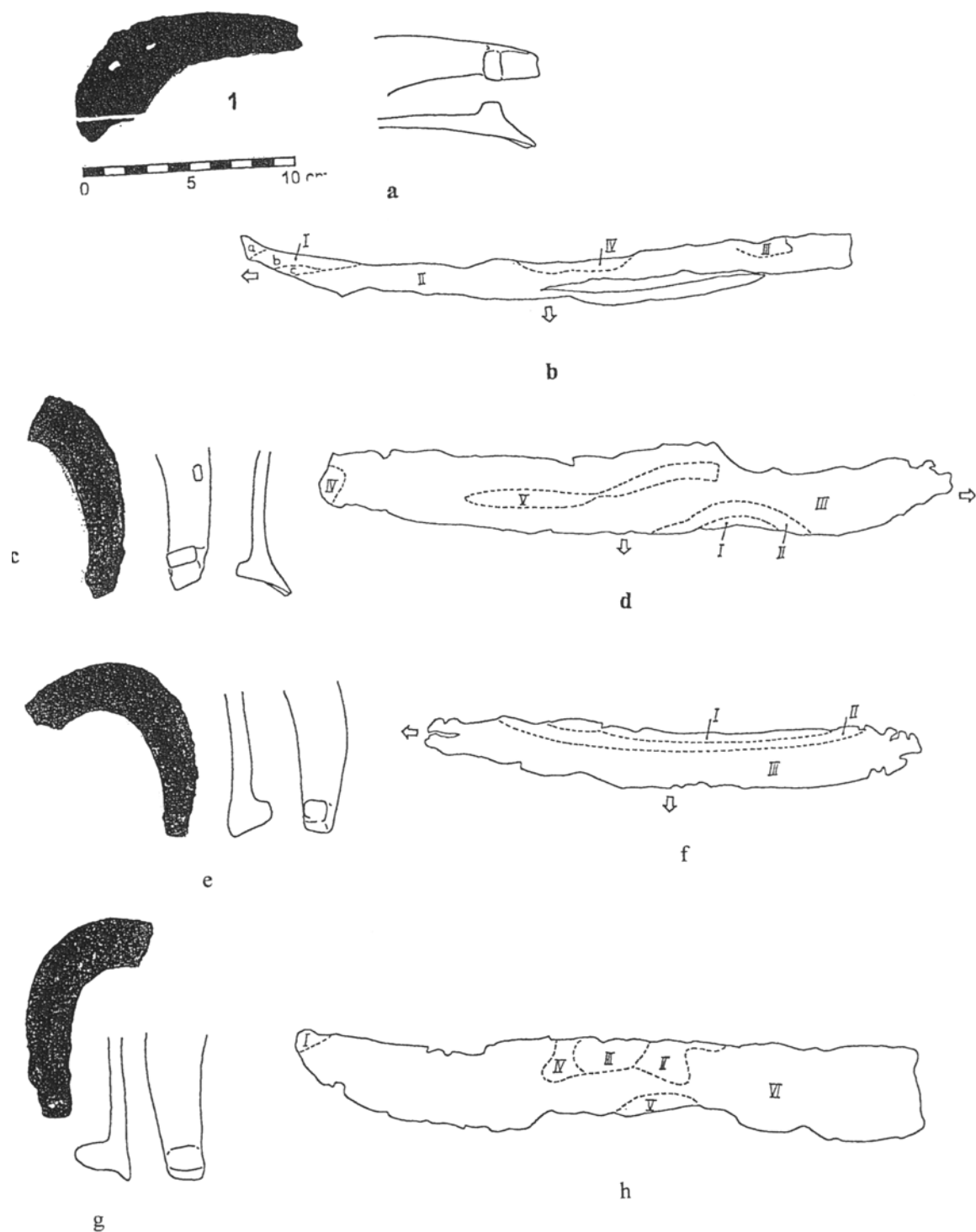
Obr. 5 Podkova V: a – podkova; b – mapa oblastí struktur; c – makro (nital); d – makro (Oberhoffer); **Podkova VI:** e – podkova; f – makro (nital); g – mapa oblastí struktur



Obr. 6 Podkova VII: a – podkova; b, c – mapa oblastí struktur hmatce; d – mapa oblastí struktur pásu podkovy a podkováku; e – makro (Oberhoffer); f – makro (nital); g – makro (nital) hmatce



Obr. 7 Podkova VII: *a – c* hmatec: *a* – řetízky inkluzí v linii sváru, neleptáno, 200 x; *b* – struktura př.p. a bainitu, leptáno nitalem, 400 x; *c* – struktura f-p, leptáno nitalem, 200 x; *d, e* – podkovák: *d* – struktura f-p, leptáno nitalem, 100 x; *e* – struktura f-p s bílou linií, leptáno nitalem, 100 x; podkova *f* – *f* – struktura f-p s nevýraznou stopou bílé linie, leptáno nitalem, 200 x



Obr. 8 Podkova VIII: *a* – podkova, *b* – mapa oblastí struktur; **Podkova XI:** *c* – podkova; *d* – mapa oblastí struktur; **Podkova IX:** *e* – podkova; *f* – mapa oblastí struktur; **Podkova X:** *g* – podkova; *h* – mapa oblastí struktur