

# Železná houba ze Žďáru nad Sázavou ve světle problematiky fosforového železa ve středověkém nožířství<sup>1</sup>

Jiří Hošek, Karel Malý, Vladimír Zavalov

---

## Úvod

Jedním z dosud ne zcela vyjasněných problémů (nejen) raně středověkého kovářství je způsob výroby a distribuce železa s vyššími obsahy fosforu. Přestože fosforový kov mohl působit při výrobě běžných výkovků spíše problémy (fosfor např. potlačoval difúzi uhlíku a tím zhoršoval možnost nauhličení výkovků), ve výrobě luxusních mečových a nožových čepelí byl nepostradatelnou surovinou. Cílené využívání fosforových želez lze u nás předpokládat zhruba v době od 10. do 13. století, kdy máme doložen četný výskyt luxusních nožů s prvky z fosforového železa, chybí ale doklady v podobě polotovarů vhodné suroviny nalezené v hutnických areálech a především v soudobých kovářských dílnách, které by vyvrátily pochyby o domácí produkci. Přestože vyhutnění fosforem bohatého železa je jednoduché za použití některých bahenních rud, nevíme do jaké míry a v jakém rozsahu mohl být výsledný kov fosforem obohacen a jakým způsobem (a zda vůbec) probíhala selekce materiálu houby z pohledu bohatosti fosforem. Zajímavým materiálem pro diskusi načrtnuté problematiky se ukázala být houba nalezená ve Žďáru n. S.

## Okolnosti nálezu železné houby

Na severním okraji Žďáru nad Sázavou je v trati Na starém městě (někdy také Klafar) písemnými prameny doložena existence středověkého městečka, které z ne zcela jasných příčin zaniklo mezi lety 1262 až 1276. Na lokalitě proběhl řádný archeologický průzkum v letech 1970 až 1972 (M. Richter) a v souvislosti s plánovanou výstavbou pak záchranný archeologický průzkum v letech 1996 až 1998, 2004 a 2005 (M. Geisler). Při všech výzkumech byla doložena hodnověrnost písemných zpráv: byla potvrzena existence relativně rozsáhlého osídlení datovaná do druhé poloviny 13. století. Při okraji sídelního areálu byly nalezeny četné doklady metalurgické činnosti: strusky (v množství několika set kg), technická keramika (dyzny a jejich zlomky), zbytky pecí, železná ruda, vyhutněné železo. Zejména strusky byly zkoumány podrobněji (*Geisler–Malý 2006*): na základě jejich rozborů lze předpokládat, že se v lokalitě intenzivně hutnily limonitické železné rudy (v pecích s odpichem strusky), pravděpodobná je i kovářská činnost. Největším z dosud nalezených kusů vyhutněného železa byla houba o hmotnosti 263g ve velikosti mužské pěsti, viz obr. 1. Mimo tohoto kusu se dále našlo několik drobných (centimetrové velikosti) volných kusů železa a drobné inkluze železa (opět maximálně v centimetrech) byly zjištěny i v několika vzorcích strusek. Železná houba pochází z výhozu materiálu z objektu č. 551. Jde o jámu zhruba eliptického tvaru 160×125 cm s maximální hloubkou 45 cm. Vyplněna byla převážně struskou, tepelně postiženými rulami, červenou přepálenou hlínou, běžné jsou i uhlíky. V tomto objektu byly nalezeny také zbytky pecí. (*Geisler–Malý 2006*).

## Metodika rozborů

Houba byla příčně přeříznuta rotační diamantovou pilou, v rovině řezu vybroušena na sadě brusných papírů a vyleštěna pomocí diamantových past. Pozorování a dokumentace byla provedena v neleptaném a leptaném stavu (3% nital a Oberhoffer). Tvrdost byla změřena na tvrdoměru BEUHLER řady Micromet 2100, chemické složení bylo stanoveno energiově disperzní mikroanalýzou na elektronovém mikroskopu PHILIPS XL30 s analyzátozem EDAX (systém korekcí ZAF, urychlovací napětí 20 kV, doba načítání spekter 50 s).

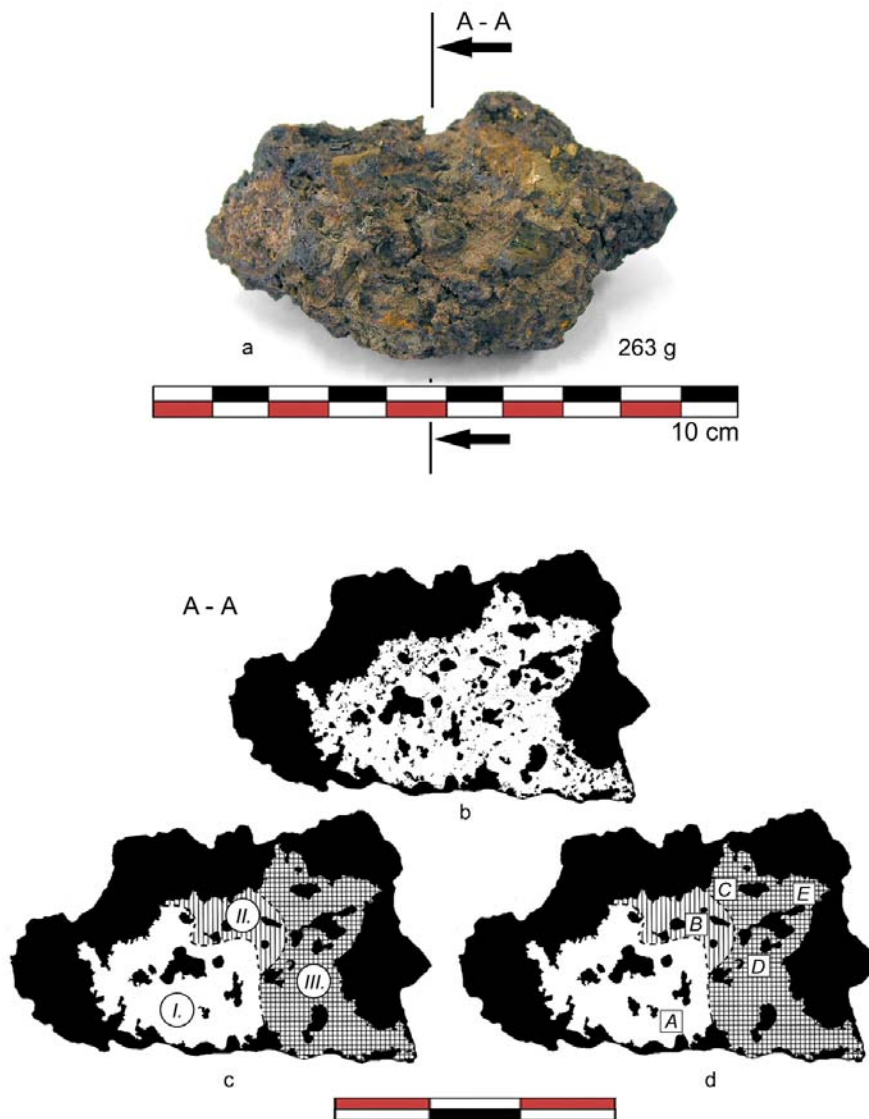
## Metalografický rozbor

V rovině řezu je velké množství dutin a struskových částic. Kovové jádro je strukturně nehomogenní a lze ho rozdělit do tří základních oblastí (viz obr. 1). V oblasti I je hrubozrná feritická struktura (0 až

---

<sup>1</sup> Článek vznikl v rámci grantového projektu reg.č. IAA800020603 za podpory Grantové agentury AV ČR.

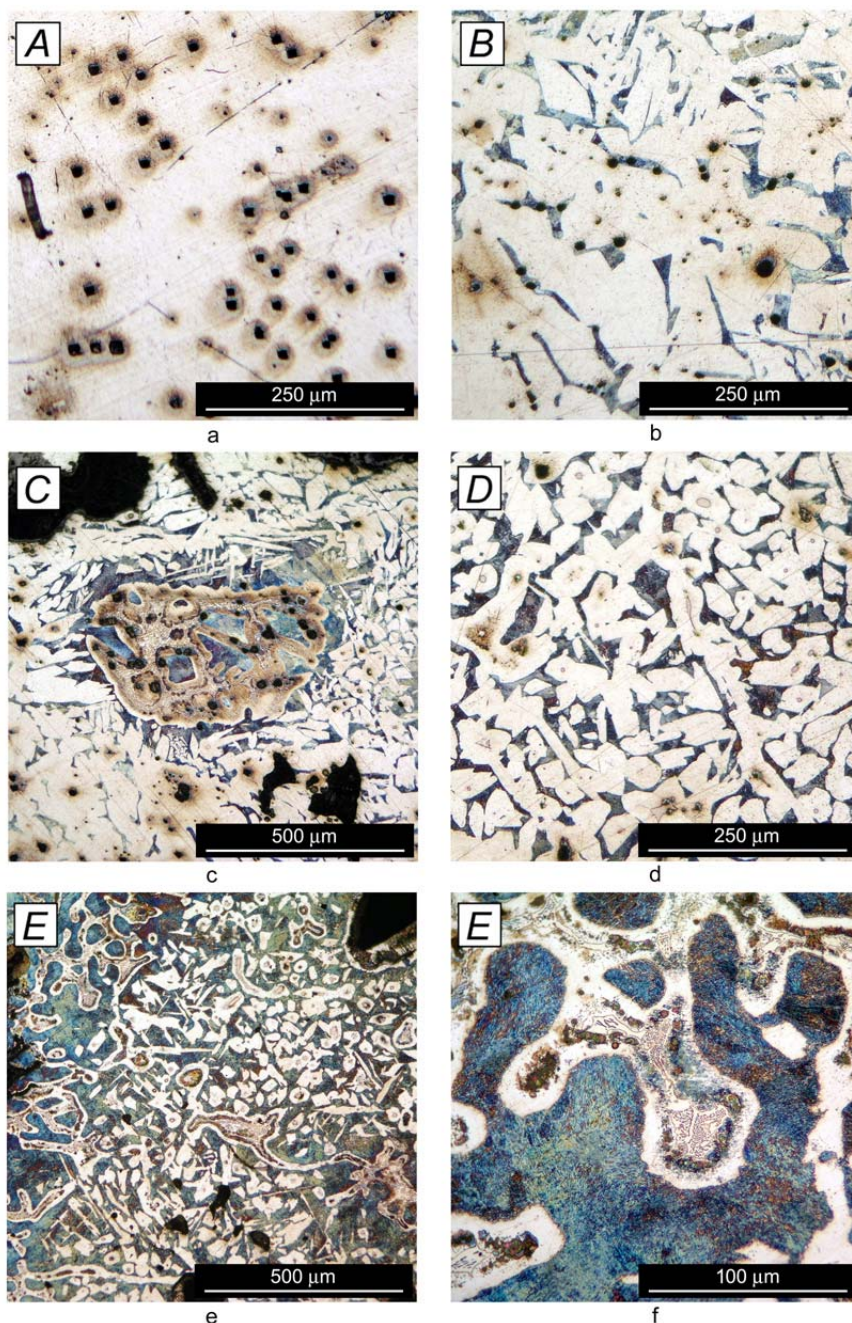
1 ASTM) místy bez zřetelných hranic zrn. V některých zrnech jsou jemné jehličkovité precipitáty, v jiných duální feritická struktura (tzv. ghost structure; místa s cca 0,1 až 0,6 % P). Mezi některými hranicemi feritických zrn jsou ostrovy velmi bohaté na fosfor ( $13,0 \pm 0,7$  % P, viz obr. 3–b) o vysoké tvrdosti  $995 \pm 48$  HV<sub>0,1</sub>; tvrdost feritického okolí dosahuje  $275 \pm 39$  HV<sub>0,1</sub>. Oblast II je feriticko–perlitická, s obsahem uhlíku kolem 0,2 až 0,3 %. Zrna perlitu zpravidla nemají rovnoosý tvar a v řadě míst jsou velikostí a rozmístěním v souladu s duální („ghost“) feritickou strukturou. Obsah fosforu v oblastech I a II se pohybuje od desetin procent až po cca 1,5 %. Oblast III je charakteristická vysokou bohatostí na fosfor. Strukturu tvoří nerovnoměrná směs perlitu, fosforem bohatého feritu a steaditu, viz obr. 2 d–f, někdy v podobě uzavřených ostrovů v jinak feriticko–perlitické matrici, viz obr. 2–c. Tato oblast má kolem 0,3 až 0,6 % C a 2,6 % P. Tvrdosti a obsahy fosforu v jednotlivých částech struktury jsou zachyceny na obr. 3–a. Perlitická zrna dosahují až  $331 \pm 36$  HV<sub>0,01</sub> a ferit bezprostředně obklopující fosfidická eutektika až  $389 \pm 9$  HV<sub>0,01</sub> ( $2,1 \pm 0,5$  % P). Uprostřed některých zrn feritu byly kruhové ostrovy s velmi jemnou vnitřní stavbou s  $13,4 \pm 0,4$  % P,  $1,7 \pm 0,2$  % As a velmi pravidelnou tvrdostí až  $1019 \pm 2$  HV<sub>0,01</sub> (viz obr. 3). Okolní ferit v tom případě měl pod 1 % P.



**Obr. 1** Železná houba ze Žďáru; **a** – nalezená houba s vyznačením pozice příčného řezu; **b** – neleptaný stav s dutinami a částicemi strusky; **c** – rozložení popisovaných oblastí; **d** – pozice dokumentovaných míst (viz obr. 2). Foto a kresby J. Hošek

## Žďárská houba a problematika výroby a zpracování fosforového železa

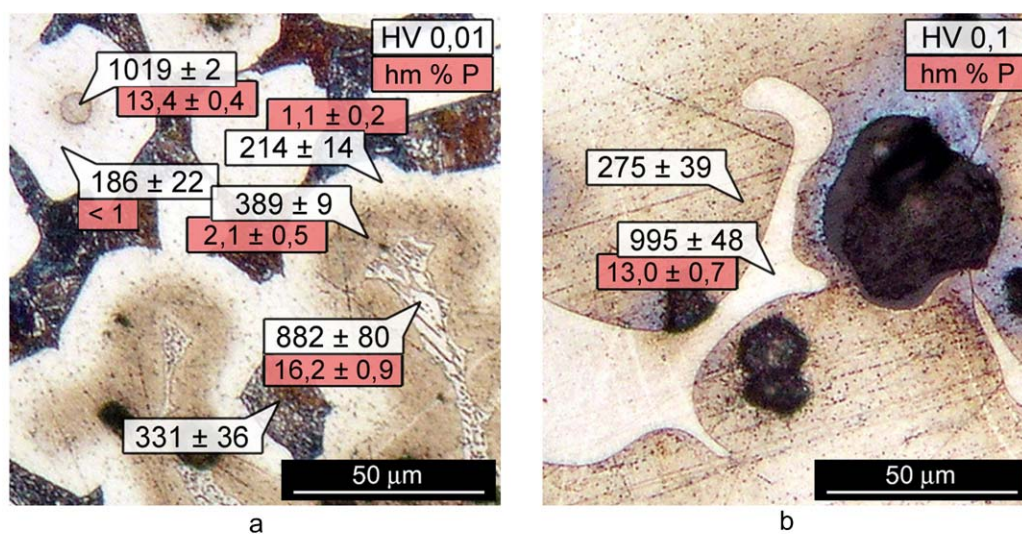
Jde o nehomogenní železnou houbu s velmi vysokým obsahem fosforu (až do 2,6 %; výskyt míst nejbohatších fosforem a uhlíkem jen při jedné straně vzorku souvisí nejspíše s polohou houby vůči výfučné pece). Takový kov jistě nebyl určen k běžnému zpracování. Vysoké obsahy fosforu v matici kovu železných hub z archeologických výzkumů jsou totiž zmiňovány málokdy (např. houba z doby římské z Kowal (Polsko) vážící 1,5 kg měla nerovnoměrný obsah fosforu dosahujícího místy až 1,85 %). Neobvyklá je i velikost (viz obr. 1–a) a hmotnost (0,26 kg) žďárské houby.



**Obr. 2** Železná houba ze Žďáru; **a** – feritická struktura v oblasti I; **b** – feriticko–perlitická struktura oblasti II; **c** – ostrov struktury s vysokým obsahem fosforu v oblasti III; **d** – feriticko–perlitická struktura s menšími vysokofosforovými ostrůvky; **e**, **f** – ostrovy steaditu v perliticko–feritické hmotě oblasti III; vše leptáno nitalem

Podle R. Pleinera (2000, 245) většina středověkých železných hub vážila v rozmezí 1,6 až 3,3 kg (cca

60 %), což odpovídá typickému výsledku tavby v malých šachtových pískách. Relativně časté jsou i větší houby vážící 3,5 až 8 kg (cca 27% zastoupení), nebo dokonce 8 až 14 kg (cca 14% zastoupení). Oproti standardnímu výsledku (alespoň 1,5 kg) více jak pětikrát lehčí houba právem vzbuzuje podezření na nezdar tavby, nebo naopak na nestandardní nicméně řízený postup, jehož výsledkem byl kov požadovaného složení. Zajímavé jsou z tohoto pohledu pokusné tavby s následným kovářským zpracováním vyhutněných hub, které realizoval P. Crew. Některé experimentálně vykované tyčovitě hřivny byly fosforem obohaceny, přičemž nárůst fosforu byl úměrný množství dmýchaného vzduchu v průběhu tavby (čím intenzivnější dmýchání tím vyšší množství P) a souběžně s tím i spotřebě paliva (čím vyšší spotřeba tím více P), (Crew–Salter–Salter 1993, Tab. 1). Při jednom z experimentů byl vzduch vháněn v nadměrném množství (motorem) a spotřeba paliva dosáhla 3,2 kg/hod.; získaná houba měla až 0,8 % C a dostatek fosforu k vytvoření fosfidických jehlic na hranicích zrn. Takové železo bylo nekovatelné a na kovářině se rozpadlo na drobná zrnka (Crew–Salter–Salter 1993, 16, Tab. 1), zatímco běžná fosforová železa do 1 % P kovatelná byla (Crew–Salter–Salter 1993, 21). Způsob vedení tavby tedy výsledek silně ovlivňuje. S nárůstem intenzity dmýchání dochází k obohacování železa fosforem i uhlíkem, přičemž dosti fosforu může být i v silněji nauhličených částech. Pokud obsah fosforu překročí určitou hranici, ztratí železo kujnost a stane se bezcenným. Intenzivní dmýchání je i v případě žďárské houby jednou z příčin neobvyklého složení. Pokud to bylo záměrem, mohlo by jít o výrobu polotovaru (nevíme jestli zdařeného či ne) určeného pro výrobu vysokofosforových konstrukčních částí užívaných v nástrojařství (u nás konkrétně v nožířství). Míra zužitkovatelnosti žďárského kusu je samozřejmě diskutabilní. Víme, že ztráty při zpracování vyhutněného železa byly vysoké a mohly dosahovat 40 až 80 % (Pleiner 2000, 245). Za předpokladu, že alespoň nenuhličená část naší houby (tj. zhruba polovina) byla kovářsky zpracovatelná, ležela by hmotnost získaných polotovarů v rozmezí zhruba 25 až 80 g. Hmotnost běžného raně středověkého nože je mezi 15 až 30 gramy. Počítáme-li, že maximálně třetina celkové hmotnosti by připadla na vysokofosforovou část, pak by spotřeba P–železa na výrobu jednoho nože činila cca 5 až 10 g. Hrubým odhadem by tedy houba mohla postačit na výrobu minimálně 2 až 3 a maximálně cca 15 až 20 ks honosných nožů.



Obr. 3 Železná houba ze Žďáru; naměřené tvrdosti a obsahy fosforu v oblasti III (a) a I (b)

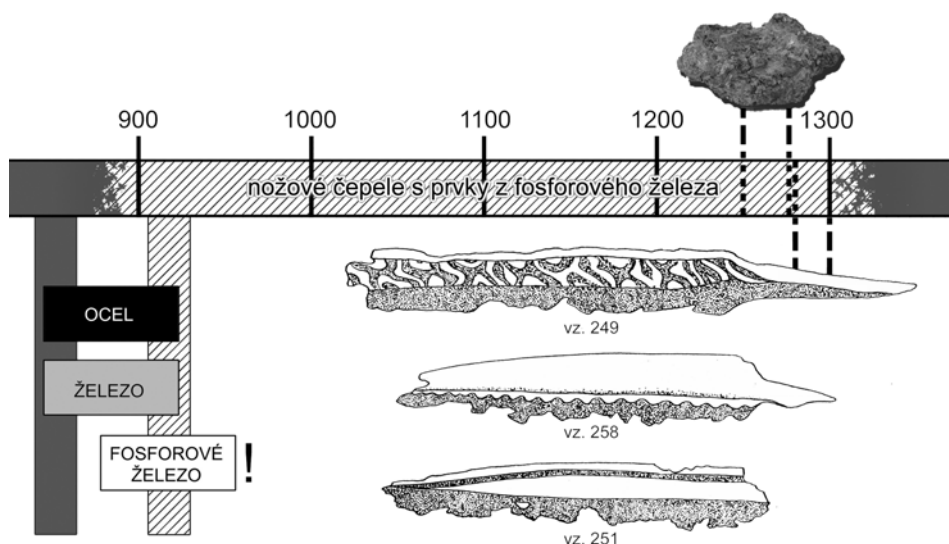
### Výběr rudy pro výrobu fosforového železa

Fosforové železo se mohlo vyrábět hutněním snadno dostupných bahenních rud, které vznikaly v přirozených mokřinách, kde byly vyvěrající podzemní vody bohaté na železné ionty saturovány vzdušným kyslíkem. Staří hutníci dokázali na základě barvy, tvaru, chuti apod. rozlišovat několik

druhů takových rud; Evenstad<sup>2</sup> jich např. uvádí osm, přičemž ne každá se pro výrobu běžného železa hodila. „Za studena křehké“ železo, tedy pravděpodobně železo s vysokým obsahem fosforu, bylo hutněno z černých hrubších i jemnějších rud s hnědými žilkami a ostrými hranami, s odštěpkou, jehlicemi a spirálami (*Espelund 1995, 45*).

### Historie cíleného využívání fosforového železa

Prokazatelně cílenou volbu fosforového železa jako materiálu se specifickými vlastnostmi lze poprvé vysledovat v konstrukcích svářkově damaskovaných mečů raného středověku. Fosforové železo se objevuje v damasku meče z Bešeňova z období stěhování národů (*Pleiner 2002, 77*), Tylecote a Gilmour (*1986, 251*) postřehli systematické využívání P-železa v damaskovaných částech řady anglosaských mečů z 6.–7. stol., atd. Damaskování založené hlavně na kombinaci fosforového a bezfosforového železa již má v této době především dekorativní funkci (*Tylecote–Gilmour 1986, 251*). V nožářství se fosforový kov prokazatelně prosazuje až od 9. stol., nejprve v tzv. klasické sandwichové konstrukci, která je typická pro nože z území spjatých s vikingskou expanzí. Např. na Staré Rusi se klasický sandwich (třívrstvý paket) objevuje zhruba od 9. do poloviny 12. století (soudobým je i tzv. neklasický sandwich, jehož bočnice fosfor neobsahují). Na slovanských územích střední Evropy se fosforového kovu využívalo pro výrobu čepelí s damaskovým, páskovým nebo vlnkovým dekorem. S těmito noži, známými především z území České republiky a Polska, se prokazatelně setkáváme od 10. do 14. stol. (podezření na svářkový damask u nožů ze 7. a 8. stol. nelze uspokojivě akceptovat, neboť ani v jednom případě nebyly provedeny (anebo uveřejněny) ani ověřovací boční nábrusy ani rtg. snímky, (*Pleiner 1979, 249–250; Mihok–Pribulová 2003, 183, 188*)).



**Obr. 4** Časová osa s vymezeným obdobím cíleného využívání fosforového železa v konstrukcích českých a moravských nožových čepelí; ze závěru tohoto období pocházejí železná houba ze Žďáru i středověké městečko Hradištko u Davle–Sekanka, kde byly patrně vyráběny všechny tři typy luxusních čepelí (damaskované, s vlnkovitým svarem i pásované)

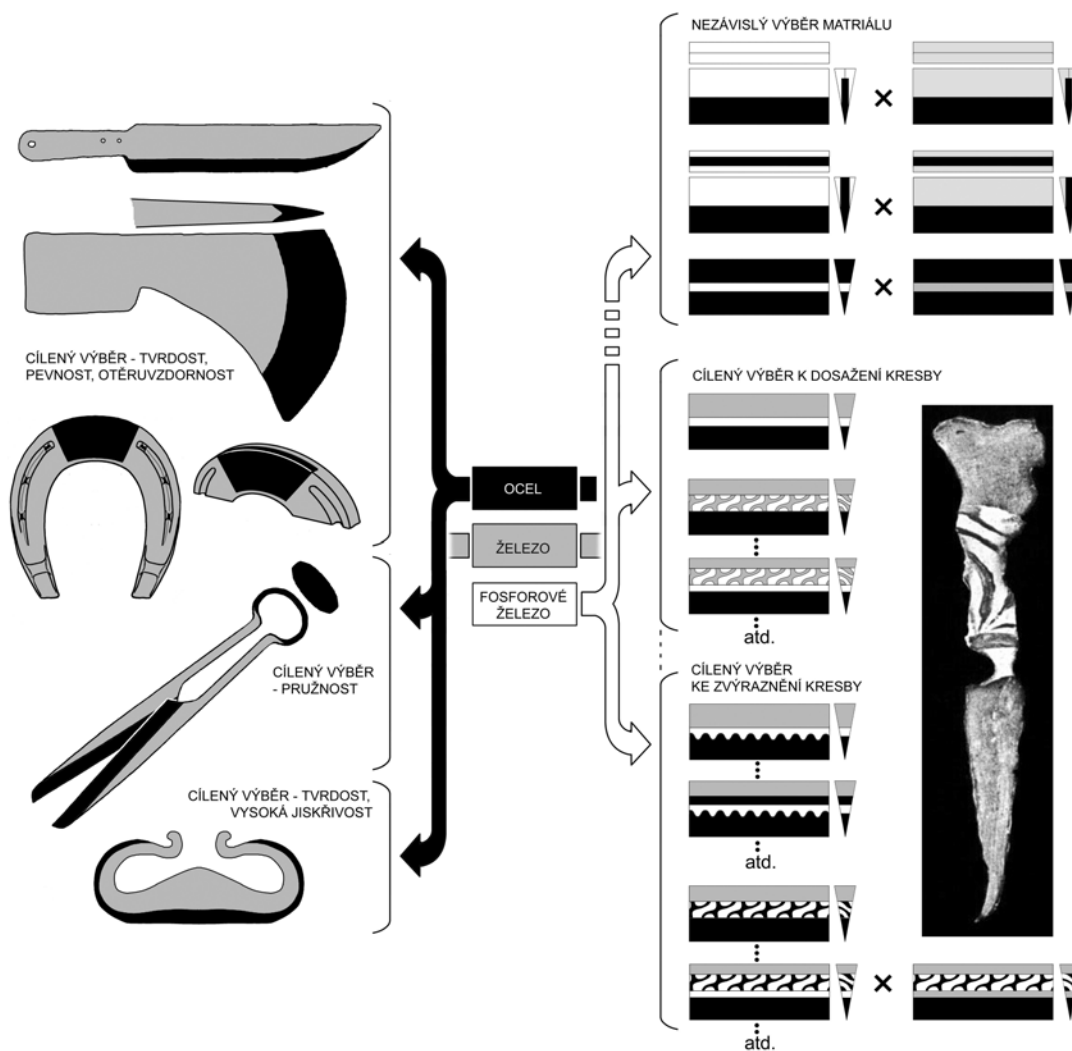
S využíváním fosforového kovu pro jeho tvrdost se ve starém kovářství setkáváme výjimečně. Ve středověku byly občas z vysokofosforového železa vyráběny některé hroty stíel do kuší (*Starley 2001*), v břitech P-železo patrně substituovalo ocel u některých předmětů 8. století z hradiště Kal (*Hošek 2003, 50*) stejně jako u keltského meče (vz. 586) z Jenišova Újezda (*Pleiner 1993*).

<sup>2</sup> Manuskript z r. 1782 o přímé výrobě železa; překlad části týkající se bahenních rud uveden v práci Espelundové (*1995*).

**Tab. 1** Obsahy fosforu (hm. %; EDAX) v dekorativních (stříbřitých) železných částech některých luxusních nožových čepelí. *Typ nože a místo analýzy:* damask. ... nůž s damaškovou vložkou, analyzovaná železná část damasku; pruhovaný ... pruhovaný (pásováný) nůž, analyzován podélný železný pásek; vlnkovitý ... nůž s vlnkovitě napojeným břitem, analyzován vlnitý železný pásek. *Lokalita:* Stará Boleslav (hradiště), Budeč (hradiště); Hradišťko u Davle, poloha Sekanka (klášterní městečko)

	Vzorek	P [hm%]	Typ nože	Lokalita	Datování
1.	747	1,4 ± 0,1	damask. <sup>1)</sup>	Stará Boleslav	9./10. až 11.
2.	749	0,9 ± 0,2	damask.	Stará Boleslav	9./10. až 11.
3.	740	0,8 ± 0,0	pruhovaný	Stará Boleslav	9./10. až 11.
4.	688	0,7 ± 0,1	pruhovaný	Budeč	10. až 11.
5.	253	0,8 ± 0,3	damask.	Sekanka	13.
6.	250	0,8 ± 0,1	damask.	Sekanka	13.
7.	227	0,7 ± 0,0	damask.	Sekanka	13.
8.	216	0,6 ± 0,0	damask.	Sekanka	13.
9.	258	0,8 ± 0,1	vlnkovitý	Sekanka	13.
10.	220	0,9 ± 0,2	pruhovaný	Sekanka	13.
<b>V průměru</b>		<b>0,8 ± 0,2</b>	—		

Pozn. 1) analyzován zdobný podélný pásek pod damaškovou vložkou



**Obr. 5** Možnosti cíleného výběru materiálu; oceli a fosforového železa

## Fosforové železo v konstrukcích českých a moravských nožů

Využívání P-fosforového železa jako speciálního a cíleně voleného materiálu lze na území Čech a Moravy spolehlivě doložit až v době 10. až 13. století ve spojení s honosnými noži složitých nástrojařských konstrukcí, propůjčujících čepelím působivý vzhled a luxusní ráz, viz obr. 4, 5. Jde o nože s tzv. pásovanými, vlnkovitými a damaskovanými čepelimi. Ve všech třech případech sehrával fosforový kov významnou roli, neboť umožňoval výbornou čitelnost zdobného vzoru, a to jednak díky schopnosti zachovat si stříbřitý povrchový lesk déle než železo a ocel bez fosforu, jednak v důsledku schopnosti brzdit difúzi uhlíku z přilehlých ocelových částí, což bylo důležité pro uchování ostrosti rozhraní mezi jednotlivými konstrukčními prvky. Protože aplikace fosforového kovu byla omezena pouze na zdobné konstrukční elementy (prostě rovné pásy u pásovaných čepelí, na spodní straně zvlněné pásy u vlnkovitých čepelí a určité vrstvy svářkově damaskových prutů u čepelí damaskovaných), nebyla spotřeba fosforového železa vysoká. Nožíři vyrábějící luxusní čepel vyžadovali více než kvantitu kvalitu tohoto druhu železa, tj. dostatečně vysoký a zároveň rovnoměrný obsah fosforu, zpravidla v mezích 0,5 až 1,0 hm. % (viz tab. 1). Předpokládáme, že výskyt luxusních nožů je na našem území završen v druhé půli 13. století. V malém klášterním městečku Sekanka u Hradištky u Davle byla z 33 prozkoumaných kusů téměř polovina čepelí luxusního typu (7 svářkově damaskovaných kusů, 6 tzv. pruhovaných a 1 čepel s vlnkovitě navařeným břitem). Jde prozatím o jediné místo, na kterém lze dobře předpokládat místní výrobu honosných typů. Rozšíření luxusních nožů ale bylo již od 10. stol. relativně vysoké a lze se právem domnívat, že Sekanka nebyla jediným možným místem jejich výroby. Bohužel, větší kumulaci nožů na jednom místě se doposud nepodařilo objevit anebo prokázat. Větší pozornost ve výzkumu by nicméně šlo věnovat soudobým kovářským dílnám. Přestože by nejlepším důkazem byly samotné dokončené i nedokončené čepel, významným vodítkem by mohlo být i kvalitní fosforové železo rovnoměrné jakosti, kterého bylo na produkci nožů luxusního vzhledu zapotřebí. Musela by ale být průkazná jeho cílená selekce od železa obyčejného, tj. bez fosforu. Pozornost bude potřeba věnovat např. nálezům z mutějovických kováren a přilehlých objektů (Pleiner 1969), které by uvedeným kritériím mohly vyhovovat.

## Závěr

Nevelká, pouze 263 g vážící houba ze Žďáru n.S. byla podrobena metalografickému průzkumu a chemické analýze, které prokázaly její značnou bohatost na fosfor (až do 2,6 %). Není sice v možnostech autorského týmu prokázat její cílenou výrobu (stejně jako nezdařenou tavbu), ale i tak jde o zajímavý doklad potenciálu středověkého hutnictví. Železa bohatá fosforem byla využívána jako speciální materiál ve výrobě dekorativních prvků luxusních železných výkovek, neboť zvýrazňovala čitelnost a krásu užitého dekoru (zcela rovné i na jedné ze stran zvlněné pásy a damaskové vložky vkládané do čepelí mečů, saxů, kopí a nožů). S ohledem na problémy s prokázáním výroby luxusních nožových čepelí na našem území, lze na polotovary s vysokým obsahem fosforu pohlížet jako na jeden z dokladů vhodného zázemí pro místní produkci honosných nožů. Přestože jde o důkazy jen nepřímé, představují neopomenutelnou část celkového poznání dějin našeho impozantního středověkého nožářství.

## Literatura:

- CREW, P. – SALTER, M. – SALTER, Ch. 1993: Currency bars with welded tips, in: Bloomery Ironworking During 2000 Yars, Vol. III, Trondheim, s. 11–30
- ESPELUND, A. 1995: Iron Production in Norway During Two Millenia, Arketype, Trondheim
- GEISLER, M. – MALÝ, K. 2006: Výsledek výzkumné sezóny 2004 a doklady železářské produkce ze středověkého městečka ve Žďáru nad Sázavou, in: Archeologia technica 17, Technické muzeum v Brně, s. 107–110
- HOŠEK, J. 2003: Metalografie ve službách archeologie, Archeologický ústav AV ČR v Praze – Technická univerzita v Liberci
- MIHOK, L. – PRIBULOVÁ, A. 2003: Metallography of Avar blacksmiths products, in: Archaeometallurgy in Europe, Milano, s. 181–188
- PLEINER, R. 1969: Středověké sídliště s kovárny u Mutějovic, Eine Mittelalterliche Dorfsiedlung mit Schmiedewerkstätten bei Mutějovice, Westböhmen, in: Památky archeologické LX/2, s. 533–571

- PLEINER, R. 1979: K vývoji slovanské nožířské techniky v Čechách, in: Archeologické rozhledy XXXI, Praha, s. 354–360, Tab. I–VII
- PLEINER, R. 1993: The Celtic Sword, Clarendon Press, Oxford
- PLEINER, R. 2002: Metallographische Untersuchung des Schwertes von Bešeňov, in: Študijné zvesti Archeologického ústavu SAV 35, s. 77–81
- STARLEY, D. 2001: Metallurgical analysis of medieval quarrel heads and arrowheads, in: Royal Armouries Year book, 5, s. 178–186
- STRÁNSKÝ, K.–ŠENBERGER, J.–REK, J.–KAFKA, V. – SOUCHOPOVÁ, V. 1993: Kovářské zpracování železné houby vytavené v šachtové peci olomučanského typu rekonstruované podle nálezu z 11. stol. n. l., in: Archeologica Technica 9, Brno, s. 15–25
- TYLECOTE, R. F. – GILMOUR, B. J. J. 1986: The Metallography of Early Ferrous Edge Tools and Edged Weapons, BAR British Series 155

### **Iron bloom from Žďár nad Sázavou in the light of questions of phosphoric iron in medieval cutlery**

The bloom came from the North of Žďár nad Sázavou, formerly a 13<sup>th</sup> century medieval town abolished between 1262 and 1276. The examined bloom was uncovered in pit No. 551 (pieces of slag and remnants of furnace were found besides the bloom) situated in the area with traces of metallurgical activities.

The metallographical examination revealed inhomogeneous material, which consisted of three main structural areas. The first one was ferritic (with ca 0.1 up to 1.5 % P: hardness  $275 \pm 39$  HV0.1; locally  $13.0 \pm 0.7$  % P: hardness  $995 \pm 48$  HV0.1), the second consisted of ferrite and pearlite (0.2–0.3 % C; phosphorus content as in area I). The area III is a mixture of pearlite, phosphorus-rich ferrite and steadite, see *Fig. 2 d–f* and 2 c (the carbon content is between 0.3 and 0.6 %, the phosphorus content up to 2.6 %; the phosphorus contents and appropriate hardness's in single parts of the structure are documented by *Fig. 3 a*). The bloom is an inhomogeneous phosphorus-rich metal which presumably was not intended for ordinary treatment. The bloom may be a result of unsuccessful smelting either a semiproduct of a material intended for special purposes.

Phosphoric iron was employed as a special material in luxury Bohemian and Moravian cutlery in the course of the 10<sup>th</sup> to 13<sup>th</sup> centuries. The phosphoric iron enabled excellent readability of the chosen pattern of decoration (pattern-welding; straight or waved strips) for its ability to retain a silver lustre when etched as well as the ability to decelerate diffusion of carbon from steel into neighbouring iron parts when heated (it was necessary for the preservation of sharp boundaries between the iron and steel structural elements (parts)). Since the use of P-iron had been limited to decorative parts, the consumption of the iron was not large. The knife makers required rather quality than quantity of such iron, i.e. efficient and uniform phosphorus content, as a rule in the range 0.5 to 1.0 wt% (see *Tab. 1*). With regards to problems to evidence local luxury knife-making, the semiproducts with elevated phosphorus content could attest an appropriate background for a local luxury-knife production. Unfortunately, we are not able to find out if the production of the Žďár bloom was actually linked to a demand of phosphoric iron intended for Bohemian luxury knives.