

Rozbory železářských strusek z nádvoří Staré radnice v Brně

Karel Stránský, Antonín Rek, Irena Loskotová

Od března do září 1992 provedlo Muzeum města Brna v areálu nádvoří Staré radnice v Brně (1) na ploše cca 470 m² záchranný archeologický výzkum jako součást celkové rekonstrukce objektu.

Výzkumem bylo odkryto kromě dvou hrobů horákovské kultury 34 středověkých objektů, řadících se zhruba ke dvěma časovým horizontům. Starší, reprezentovaný šesti kopulovitými pecemi zahluobenými do sprašového svahu mezi dnešními ulicemi Mečovou a Radnickou, lze na základě keramiky rámcově datovat do první poloviny 13. století. Mladší, tvořený především osmi odpadními jímkami, zemnicí s kamennou vstupní zídka a útržkem vrstvy v SV části zkoumané plochy, se řadí do druhé poloviny 13. - první poloviny 14. století. Ze zásypových vrstev 24 objektů obou horizontů pochází struska v celkové hmotnosti několika desítek kilogramů (včetně strusky nepravidelně roztroušené ve zbytcích povrchových vrstev nádvoří). Žádnému ze zkoumaných objektů však nelze přičíst tak intenzivní produkci strusky. Takový zdroj by bylo možné hledat někde v bezprostřední blízkosti prozkoumané plochy. Ani v zásypu kopulovitých pecí nenacházíme kromě strusky jiné doklady výroby či zpracování železa.

Všechny pece se svými rozměry řadí ke 2. typu tzv. chlebových pecí (2). Jsou oválné i kruhové a jejich průměr se pohybuje od 130 do 190 cm (obj. 6,7,8,20,21,22). Budovány byly mimo obydlí, přičemž jejich případné zastřešení dnes nelze prokázat, vzhledem k četným druhotným zásahům do terénu. Podle rozmístění pecí je možné uvažovat o výrobní jednotce, která sloužila blíže neurčené osadě v jejím sousedství. Druhotné zpracování železa zde tedy nelze vyloučit. Pece však zřejmě byly využívány víceúčelově.

Největší kumulace železné strusky pak pochází z útržků požárové vrstvy (11) v SV části zkoumané plochy, která je pecím chronologicky nadřazena. Tato vrstva obsahovala též větší množství železných předmětů a na základě keramických nálezů je možné ji předběžně datovat do druhé poloviny 13. století.

Menší množství strusky bylo získáno i z odpadních jímek a ze zásypových vrstev zemnice (obj. 1) se zděným kamenným vstupem v SZ rohu dvora. Ze dna tohoto objektu pochází také dno tavicího tyglíku. Časově lze existenci zemnice spojit s výše popsaným útržkem požárové vrstvy, která svým obsahem podporuje teorii o umístění kovářské dílny ve své blízkosti.

K analýze typu železářské strusky byly vybrány vzorky ze tří různých objektů, z obou časových horizontů.

Vzorek strusky z obj. 1, zemnice, zaniklé požárem někdy koncem třetí čtvrtiny 13. století, měl hmotnost 40 g a označení 331 (číslo sáčku).

Vzorek strusky z obj. 8, představovaného předpecní jámou kopulovité pece s průměrem dna cca 130 cm. Jáma byla zahluobena v jílovitém podloží a struska se v ní nacházela společně se železnými předměty, keramikou, zvířecími kostmi a bronzovým předmětem. Vzorek měl hmotnost 510 g a označení 339.

Vzorek strusky z horní zásypové vrstvy ob. 11, s velkým obsahem strusky i železných předmětů, měl hmotnost 325 g a označení 193.

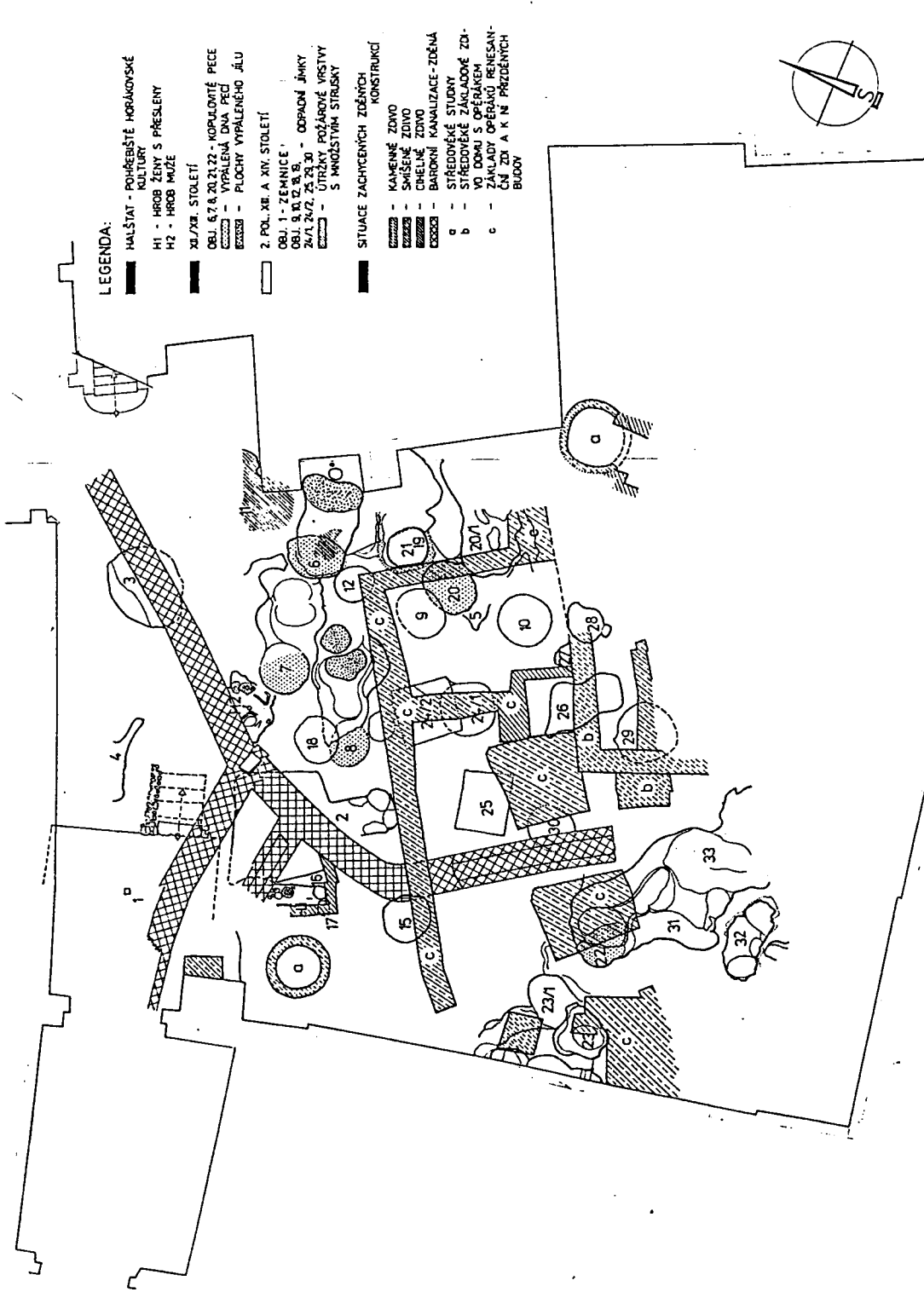
Odebrané vzorky strusek měly nepravidelné tvary, převážně šedozelené až hnědočervené zbarvení, byly mírně feromagnetické a dosti silně pórovité. Řezy pomocí kotoučové diamantové pily byly ze vzorků strusek připraveny vzorky menších rozměrů limitovaných průměrem 25 mm a výškou 10 mm pro metalografické výbrusy.

Cílem analýz bylo stanovit chemické a mineralogické složení strusek, posoudit jejich původ a technologický proces, jehož odpady představují.

Poznámky

(1) Brno - Stará radnice: nádvoří. Archeologický výzkum MMB 1991 - celková situace

(2) Michna P.: Vzájemný vztah pecí chlebových a pecí vyhřívajících na staroslovanských a středověkých sídlištích. VVM příloha, XXII, 1970, č. 3, 68 - 78.



BRNO - STARÁ RADNICE: NÁDVŮŘÍ
 ARCHEOLOGICKÝ VÝZKUM MUZEA MĚSTA BRNA: 03-09/91
 CELKOVÁ SITUACE
 KRESLIL: AUG. ŠTROF

MĚŘÍTKO:
 0 1 2 3 4 5 6m

Použité metody a výsledky

K analýze byla použita metody prvkové energiově disperzní mikroanalýzy na mikroanalytickém komplexu JEDL JXA-8600/KEVEX Delta V-Sesame a světelný mikroskop Neophot 32 k identifikaci mineralogického složení strusek.

Výbrusy byly připraveny broušením na metalografických papírech s následným leštěním diamantovými pastami o zrnitosti prášku do 1 μm .

Vzorky byly nejdříve prohlédnuty ve světelném mikroskopu Neophot 32 a poté byla dokumentována typická morfologie mikrostruktur všech tří vzorků, a to pokud možno v kompaktních oblastech. Struktura strusek je doložena obr. 1 až 6. K analýze byly použity následující pracovní podmínky: urychlovací napětí el. svazku $U = 15 \text{ kV}$, proud el. svazku $I_p = 1 \text{ nA}$, doba jednoho měření $t = 100 \text{ s}$, vyhodnocení kvantitativní se standardy, korekce ZAF. Měření proběhlo následovně:

- a) na ploše metalografického výbrusu ve třech oblastech (400×317) μm^2 při rastrujícím el. svazku. Takto stanovené koncentrace jsou v záhlaví tab. výsledků (tab. I) označeny symbolem INT (v tab. je střední hodnota a směrodatná odchylka;
- b) bodově při pevném el. svazku s cílem stanovit prvkové složení jednotlivých fází a mineralogických složek strusky. Takto stanovené koncentrace jsou v záhlaví tab. výsledků (tab. I) označeny symboly:
 - PW (point, wüstite),
 - PF (point, fayalite)
 - PG (point, glass - zde byl svazek rozšířen na $(8 \times 6) \mu\text{m}^2$)
 - PGL (point, glass, light)
 - PGD (point, glass, dark)

Je třeba poznamenat, že energiově disperzní rtg. spektrální mikroanalýza umožňuje analýzu jednotlivých typů oxidů ve strusce, ale jejich složení (stechometrii) se zadává příkazem do uživatelského programu, a to na základě předpokládaného či známého mineralogického složení. V této souvislosti je třeba poznamenat, že u železa, kde se mohou současně vyskytovat různé typy oxidů, byl zadán příkaz analyzovat oxidy na bázi železa jako oxid typu Fe_3O_4 , daný prostým součtem $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (tj. součtem stejného objemového podílu oxidu železnatého a železitého).

Zhodnocení

Struska 331 z obj. 1 byla vzhledem ke zbývajícím nejméně pórovitá a vyskytovaly se v ní spíše rozměrnější, avšak ojediněle náhodně rozložené dutiny. Typickou strukturu zobrazující snímky 1 a 2. Hlavní mineralogické složky tvoří wüstit (světle se zobrazující dendrity), fayalit (světle šedé, masivní, nepravidelné krystality) a převážně amorfní sklovitá hmota, která ztuhla jako poslední. Hlavní chemické komponenty strusky jsou oxid železnatoželezitý a oxid křemičitý. Struska obsahuje v průměru 0,42 hmotn. %, (dále jen %) oxidu fosforečného (P_2O_5), který je soustředěn převážně ve sklovité hmotě, která ho obsahuje 0,83 %, zatímco fayalit 0,53 % a wüstit pouze 0,12 %.

Struska 339 z obj. 8 byla z analyzovaného souboru strusek nejvíce pórovitá, s vysokou četností dutin o průměru kolem 1 mm a s dutinami vcelku rovnoměrně rozloženými. Mineralogickou strukturu strusky tvoří opět wüstit, fayalit a sklovitá hmota (obr. 3 a 4), jež obsahuje druhotně vyloučenou krystalickou fází, která je svým složením blízká fayalitu (tab. 1). Hlavní chemické komponenty strusky jsou stejně jako v předchozím případě oxid železnato-železitý a oxid křemičitý. Koncentrace oxidu fosforečného je 0,95 %, přičemž wüstit ho obsahuje 0,04 %, fayalit 0,44 % a sklovitá hmota 1,1 až 2,6 %.

Struska 193 z obj. 11 byla charakterizována nižší četností pórů. Její mineralogickou strukturu tvoří stejné složky jako v předešlém případě, to znamená, wüstit, fayalit a sklovitá hmota s druhotně vyloučenou fází blízkou fayalitu (obr. 5 a 6). Rovněž poměr hlavních chemických komponent je zhruba stejný jako v obou předchozích případech. Průměrná koncentrace oxidu fosforečného ve strusce je 0,50 %, přičemž sklovitá hmota ho obsahuje 1,83 %, fayalit 0,50 % a wüstit 0,07 %.

Z výsledků analýz vyplývá, že všechny analyzované strusky pocházejí z technologií zpracování železa. Poměrně vysoký obsah oxidů na bázi železa svědčí o tom, že se jednalo spíše o nižší teploty zpracování železa ve výhních, přičemž může přicházet v úvahu i přímá výroba železa z rud, popřípadě kovářské zpracování již vyrobené železné houby. Zvýšený obsah oxidu fosforečného, přesahující několik desetin procent a blížíící se až k jednomu procentu však svědčí spíše o redukčně oxidační (0,40 % P_2O_5), popř. i oxidačně redukční (0,95 % P_2O_5) atmosféře železářské pece, než o atmosféře redukční, která provází proces přímé výroby železa z rud. Složení strusek tedy nejspíše ukazuje na kovářské zpracování hutnicky vyrobené železné houby, nebo již hotového železného zboží, než na přímou výrobu železa z rud. Přímou výrobu železa z rud by bylo možno předpokládat snad v případě zpracování rud s vysokým výchozím obsahem fosforu, což je málo pravděpodobné.

Analýze metodou energiově disperzní rentgenové spektrální mikroanalýzy byly podrobeny tři vzorky strusek pocházející ze záchranného výzkumu v areálu Staré radnice v Brně, z objektů 1,8 a 11. Bylo zjištěno, že všechny tři strusky mají velmi blízké chemické složení a jsou odpadními produkty zpracování železa. Jejich průměrné chemické složení sestává (hmotn. %) z (1,86 + - 0,10) Na_2O , (0,41 + - 0,18) MgO , (6,28 + - 0,82) Al_2O_3 , (30,47 + - 2,69) SiO_2 , (0,69 + - 0,29) P_2O_5 , (0,01 + - 0,85) K_2O , (3,39 + - 1,12) CaO , (0,13 + - 0,02) TiO_2 , (0,10 + - 0,03) MnO a (51,28 + - 3,03) Fe_3O_4 a je charakterizováno indexem zásaditosti $(CaO)/(SiO_2) = 0,111$, běží tedy o kyselé strusky. Jejich mineralogické složení tvoří wüstit, fayalit a sklovitá složka a je rovněž pro všechny tři vzorky strusek velmi podobné.

Strusky podle obsahu P_2O_5 charakterizují redukčně oxidační, až oxidačně redukční proces a pocházejí nejspíše z kovářského zpracování již hutnicky vyrobeného železa. Nízký obsah síry svědčí o tom, že při výrobě a zpracování železa bylo jako paliva používán dřevěný uhlí.

Výsledky analýz podporují názor, že v areálu Staré radnice pracovala někdy na přelomu 13.-14. století kovářská dílna.

Tab.I Výsledky anlyz strusek z areálu Staré radnice v Brně

složka	Zastoupení oxidu [hmotn. %]				
	s 339 o 8				
	INT	PW	PF	PGL	PGD
Na ₂ O	1,75 ± 0,10	0,06	0,05	0,38	3,72
MgO	0,58 ± 0,12	0,04	1,79	0,48	0,13
Al ₂ O ₃	5,61 ± 0,14	0,80	0,10	0,20	14,28
SiO ₂	27,89 ± 1,02	0,23	33,39	36,16	38,18
P ₂ O ₅	0,95 ± 0,03	0,04	0,44	1,07	2,50
S	0,12 ± 0,01	0,04	0,17	0,21	0,10
K ₂ O	4,49 ± 0,13	0,10	0,06	0,23	15,67
CaO	4,32 ± 0,13	0,08	1,54	9,69	9,22
TiO ₂	0,12 ± 0,02	0,46	0,08	0,08	0,12
MnO	0,12 ± 0,01	0,16	0,22	0,23	0,06
Fe ₃ O ₄	54,06 ± 0,93	97,99	62,18	51,27	16,02
	s 193 o 11				
	INT	PW	PF	PGL	PGD
Na ₂ O	1,91 ± 0,09	0,18	0,17	8,40	1,20
MgO	0,41 ± 0,11	0,07	0,93	0,09	0,04
Al ₂ O ₃	7,20 ± 0,72	1,11	0,11	19,18	19,53
SiO ₂	33,25 ± 0,36	0,78	30,33	46,78	45,57
P ₂ O ₅	0,50 ± 0,02	0,08	0,50	1,83	0,42
S	0,10 ± 0,02	0,04	0,16	0,36	0,08
K ₂ O	6,18 ± 1,24	0,06	0,07	5,90	31,94
CaO	2,14 ± 0,18	0,14	0,31	7,80	0,12
TiO ₂	0,15 ± 0,02	0,64	0,05	0,31	0,09
MnO	0,11 ± 0,03	0,22	0,13	0,10	0,12
Fe ₃ O ₄	48,05 ± 2,43	96,69	67,24	9,26	0,88
	s 331 o 1				
	INT	PW	PF	PG	
Na ₂ O	1,87 ± 0,06	0,66	0,20		3,13
MgO	0,23 ± 0,04	0,17	1,05		0,08
Al ₂ O ₃	6,03 ± 0,54	0,79	0,27		12,54
SiO ₂	30,27 ± 0,58	0,50	31,36		38,88
P ₂ O ₅	0,42 ± 0,08	0,12	0,53		0,83
S	0,08 ± 0,01	0,06	0,14		0,17
K ₂ O	5,50 ± 0,53	0,18	0,19		13,56
CaO	3,66 ± 0,33	0,10	1,17		9,09
TiO ₂	0,12 ± 0,02	0,38	0,11		0,17
MnO	0,07 ± 0,02	0,20	0,17		0,11
Fe ₃ O ₄	51,74 ± 1,83	96,86	64,51		21,45

Poznámky : INT-průměrné složení, PW-bodová analýza wüstitu, PF-bodová analýza fayalitu, PG-bodová analýza sklovité části strusky : L-světlá složka, D-tmavá složka.



Obr. č. 1 Železářská struska č. 331 z objektu I. Složky wüstit, fayalit a tmavá sklovitá hmota. Zvětšeno 200x.



Obr. č. 2 Železářská struska č. 331 z objektu I. Detail předchozího místa. Zvětšeno 400x.



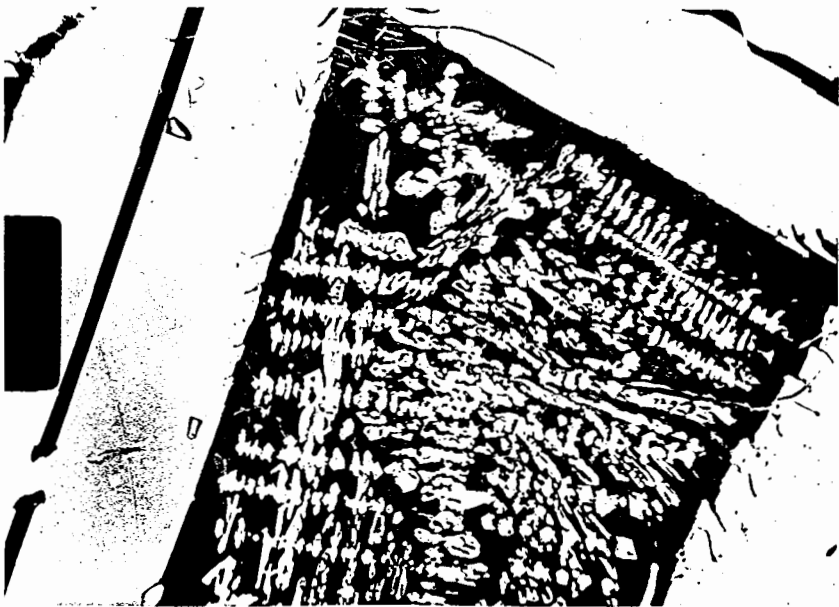
Obr. č. 3 Železářská struska č. 339 z objektu 8. Složky wüstit, fayalit a heterogenní sklovitá hmota. Zvětšeno 200x.



Obr. č. 4 Železářská struska č. 339 z objektu 8. Detail předchozího místa. Zvětšeno 400x.



Obr. č. 5 Železářská struska č. 193 z objektu 11. Složky wüstit, fayalit a heterogenní sklovitá hmota. Zvětšeno 200x.



Obr. č. 6 Železářská struska č. 193 z objektu 11. Detail předchozího místa. Zvětšeno 400x.