

Nejstarší železářské nálezy na Kunštátsku a jejich analýza

Karel Stránský, Věra Souchopová, Antonín Rek, Václav Hoch

1. Úvod

Počátky železářské výroby na Kunštátsku jsou spojovány s nálezy strusek a úlomků hliněných dyzen, které v novější literatuře popsal Pleiner [1]. Vztahují se k hoře Milenka (574 m), ležící mezi Rudkou a Kunštátem. Jedno z nalezišť je uváděno na jejím jižním svahu, kde byly zjištěny plochy s vrstvami dřevěného uhlí, železářskými struskami a s úlomky dyzen, které se vyskytovaly ve dvou druzích. Některé byly tlustší, hrubě provedené a podobaly se exemplářům z Rudic, Habrůvky a Obory [1]. Dvě z nich se však vyznačovaly jemným provedením z plavené hlíny a menšími rozměry. Je uváděna jejich světlost 20 mm a tloušťka stěn 3 mm [1]. Poslední nálezy dyzen popsaný v literatuře pochází z roku 1931, a to z jižního svahu Milenek. Tam byly zjištěny dyzny masivnější, o vnějším průměru 38 až 50 mm a světlosti 17 až 20 mm.

Uvedené starší nálezy upozorňují na existenci místní výroby železa, jejíž časové zařazení je však neurčitě a lze je pouze odhadovat podle podobných železářských lokalit, například v těžebné a hutnické oblasti ve střední části Moravského krasu [2]. Dochované písemné prameny o této nejstarší výrobě nejsou. Rudka u Kunštátu se písemně připomíná teprve roku 1374 [3], neboť písemný údaj z roku 1322 je k této Rudce nejistý [4]. Podle D. Elverta byl na kunštátském panství hamr, připomínaný k roku 1350 a 1376, který však dosud nebyl blíže lokalizován [5].

Nedávno objevil na Kunštátsku další naleziště strusek a dyzen pan Lubomír Konopáč. Lokalita s těmito nálezy se nachází v bezprostřední blízkosti obce Rudka u Kunštátu, v polní trati, což zároveň znamená, že předpokládaná hutnická dílna, která zde mohla stát, je silně narušena orbou. První z těchto nálezů pochází z roku 1991, další předměty jsou z let 1993 a 1994. Mezi těmito nálezy jsou pozoruhodné tenkostěnné dyzny z jemně plaveného žáruvzdorného materiálu. Vzhledem i velikostí se přibližují starším nálezům z jižního svahu Milenek, popsaným Pleinerem [1]. Dyzny, dochované bohužel jen v úlomcích, jsou v místech ústí tenkostěnné o tloušťce stěny asi 3 mm. Směrem od ústí tloušťka stěn plynule roste až na přibližně 5,5 mm. Světlost ústí činí 18 mm, směrem k dmýchacím měchům (tj. od ústí) se otvor dyzen rozšiřuje a jeho světlost dosahuje asi 24 mm. K souboru nálezů patří tři exempláře dochovaných ústí dyzen, jejichž stěny jsou pokryty vrstvami strusek, zčásti též zalité struskou. Podobné nálezy dyzen se nacházejí též v hutnických dílnách ve střední části Moravského krasu, což umožňuje jejich předběžné časové určení do střední doby hradištní.

2. Analýzy strusek a dyzny

K materiálové analýze byly ze souboru nálezů vybrány dva charakteristické, oddělené vzorky strusek a jedna struskou zalitá dyzna, z níž zůstalo zachováno její ústí. Jeden vzorek strusky pochází z nálezů v roce 1991 (označen 1), druhý vzorek strusky (označen 2) je obdobně jako dyzna zalitá struskou, z nálezů v roce 1993. Struska zalitá v dyzně byla označena číslem 3.

K prvkové mikroanalýze byly využity rentgenové energiově disperzní mikroanalýzátory pracující v analytických komplexech JEOL JXA-8600/KeveX Delta V Sesame a JEOL JSM-840/Tracor TN 2000.

Vzorky strusek č. 1 a č. 2 byly odříznuty z rozměrnějších struskových koláčů diamantovou

kotoučovou pilou paralelními řezy tak, aby výsledné vzorky o tloušťce asi 10 mm bylo možno vložit do držáku o průměru 20 mm. Úlomek dyzny měl maximální délku 65 mm a ve vzdálenosti 12 mm od ústí byl z něho dvěma paralelními řezy, kolmými na osu dyzny vyříznut vzorek pro prvkovou mikroanalýzu vzorku strusky č. 3 a dyzny. Řez dyznou je zobrazen na obr. 1.

Výsledky prvkových analýz strusek a materiálu dyzny jsou uspořádány v tab. i. Stechiometrické poměry jednotlivých oxidů ve struskách a v materiálu dyzny byly zadány před analýzou předem uživatelskými programy.

3. Archeometalurgické zhodnocení

Pozoruhodné výsledky poskytla struska č. 3 zalitá v dyzně. Struska má velmi nízký obsah oxidu fosforečného a síry, což ukazuje na redukční atmosféru použitého hutnického pochodu a palivo dřevěné uhlí. Ve strusce, jejíž mikrostruktura byla tvořena protáhlými krystalitami fayalitu uloženými ve sklovité hmotě, se nacházela četná zrnka (částice) metalického železa o velikosti několika μm a rozsáhlé kostrovité, částečně spojitě útvary oxidů železa, jejichž mikromorfologie ukazuje na původní kostru granule železné houby. Tato kostra během staletí podlehla oxidické korozi a zůstaly z ní zachovány pouze izolované částice již zmíněného metalického železa. Podle prvkového složení strusky uvedeného v tab. i a semiempirického vztahu v práci [2], měla struska č. 3 teplotu tavení vyšší než 1271 °C. Její složení i struktura ukazují, že jde o produkt hutnického zpracování železných rud, tj. o přímou výrobu železa z rud.

Podle složení v tab. i byla dyzna vyrobena z kaolinitického jílu s podílem obou základních složek, které tvoří šamot, tj. SiO_2 a Al_2O_3 , o hodnotě 2,00, která je na rozhraní mezi normálními šamoty (které mají hodnotu tohoto poměru mezi 2 až 4) a hlinitými šamoty (které mají hodnotu téhož poměru menší než 2 [6]). Z hlediska dnes používané klasifikace žáruvzdornosti šlo spíše o nízko než středně žáruvzdornou keramiku, jejíž stupeň žáruvzdornosti, bylo možno hodnotit podle literatury [7,8] stupněm 26 až 30 Segerových žároměrek. Kontrolní výpočet teploty tavení této žáruvzdorné keramiky podle dvou na sobě nezávisle stanovených semiempirických vztahů:

$$T [^\circ\text{C}] = (360 + \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{RO})/0,228, \quad (1) \quad \text{kde RO je součet hm. \% zásaditých oxidů [6] a}$$

$$T [^\circ\text{C}] = 4,2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 1581, \quad (2)$$

též uvedeného v práci [6], vedl k hodnotám 1653 °C - vztah (1) a 1704 °C - vztah (2). Vypustíme-li z analýzy dyzny v tab. i obsah oxidů železa a zbytek normujeme na sto procent (může jít o vliv strusky zateklé do pórů žáruvzdorné keramiky), vypočteme podle rovnice (1) teplotu tavení 1703 °C, která je v podstatě totožná s teplotou tavení získanou podle rovnice (2). Teplota měknutí keramiky z níž je dyzna vyrobena je na základě odhadu podle Segerových žároměrek nad 1580 °C (nad 26 S.ž.), což se s ohledem na teplotu tavení strusek (tab. I) jeví jako vyhovující žáruvzdornost.

Všechny tři analyzované druhy strusek mají velmi podobné základní složení. Jsou charakterizovány vysokým obsahem oxidů na bázi železa (od cca 64 do 79 hm.%), dále obsahem oxidu křemičitého od 17 do 23 hm.%, obsahem oxidu hlinitého od 2 do 9 hm.% a velmi nízkými koncentracemi zbývajících komponent. Všechny strusky jsou kyselé povahy s velmi nízkými hodnotami indexu zásaditosti CaO/SiO_2 . Odlišují se však obsahem oxidu fosforečného, který je jistým přibližným ukazatelem redukčně-oxidačního charakteru strusek, a tedy i povahy pochodu, z něhož strusky jako sekundární odpad pocházejí. Čím vyšší je za jinak stejných podmínek koncentrace oxidu fosforečného ve strusce, tím větší je

pravděpodobnost, že provázely oxidační a nikoli redukční železářský proces. Na podkladě srovnávacích analýz lze proto usoudit, že strusky označené v tab. I č. 2 a 3 provázely redukční proces, který je charakteristický pro přímou výrobu železa z rud (obsah oxidu fosforečného je velmi nízký 0,08 až 0,34 hm.%), zatímco struska označená v tab. I č. 1, která má obsah oxidu fosforečného 1,4 hm.%, provázela velmi pravděpodobně již kovářské zpracování železné houby, popřípadě již hotových železných polotovarů.

Ve strusce označené podle tab. I číslem 2 byla analyzována zrnka metalického železa velikosti kolem 10 až 20 μm , přičemž bylo nalezeno [hm.%]: 0,05 Al, 0,00 Si, 0,03 P, 0,03 S, 0,01 Mn a zbytek Fe. Uvážíme-li že detekovatelnost se za podmínek aplikované analýzy pohybuje kolem 0,05 hm.%, potom lze hovořit pouze o stopových příměsích Al, P, S a Mn ve velmi čistém železe, což svědčí o tom, že teplota vzniku těchto zrn byla hluboko pod teplotou tavení čistého železa, která činí 1535 °C (nejde tedy v žádném případě o strusky provázející například zkuřňovací procesy surového železa ve výhních, kde je koncentrace příměsí v zrnech metalického železa zalitých ve strusce podstatně vyšší a nad mezí detekovatelnosti použité metody).

Nízké obsahy síry ve struskách svědčí zároveň o tom, že jako paliva bylo v příslušném železářském pochodu použito dřevěného uhlí.

Kunštátsko je zároveň oblastí bohatou na poměrně kvalitní železné rudy. Například pernštejnské železářny otevřely ještě v letech 1847 až 1949 doly na železnou rudu v lokalitách Mokřina, Suchá louka a Spálivá. V dolech nazvaných Anna, Pavlína, Emilie, Tekla, František, Kuno a Jana byl těžen limonit o obsahu 15 až 28 hm. % železa. Některé z těchto dolů byly opuštěny už po dvou letech, například Kuno a František už v roce 1849, jinde pokračovala těžba až do šedesátých let 19. století, kdy bylo dílo opuštěno definitivně [9]. V téže době se u Kunštátu v lokalitě U hájku těžil limonit v manganových sloučeninách s obsahem 26 až 30 hm.% železa. Důlní pole v panském lese v lokalitě U suché louky dávalo bobulovitou železnou rudu o obsahu 20 až 25 hm.% železa, velmi lehce tavitelnou. V lokalitě Na zahrádkách v katastru obce Petrova u Kunštátu byl nalezen limonit obsahující 23 až 27 hm.% železa a v lokalitě Na červinkách byl odkryt hnězdovitě se vyskytující limonit o obsahu železa 25 až 28 hm.%. Rudná naleziště byla v majetku pernštejnských železáren ještě v roce 1855.

K neznámějším důlním mírám však patří železnorudná lokalita U jezírka poblíž Suché louky u Kunštátu, kde byl důl Jan. Zde se těžil krevet a limonit pro barvírenské účely dokonce ještě v padesátých letech tohoto století. Do současnosti (rok 1990) se zde zachovaly na březích jezírka haldy zvětralých, červeně a hnědě zbarvených železných rud, o rozměrech kolem 11x38 m a výšce asi 1,5 až 2,0 m, které mohou obsahovat podle přibližného odhadu asi 700 až 1000 tun železné rudy. K analýze byly z této lokality odebrány v červenci 1990 celistvé, nezvětralé vzorky rud, z nichž byly připraveny metalografické výbrusy a tři z nich podrobeny prvkové rentgenové, energiově disperzní analýze. Nalezené složení udává tab. II, která je pro srovnání ještě doplněna analýzami železné rudy z Brazílie (komerční dodávka), z opuštěného dolu František Xaverský u Adamova a analýzou goethitu z mineralogických sbírek University Karlovy. Dále byly do této tabulky zahrnuty již dříve zveřejněné výsledky analýz kunštátských a rudických rud [1].

Je pozoruhodné, že se velmi dobře shodují výsledky analýz železné rudy z lokality U jezírka poblíž Suché louky s výsledky analýzy rud publikovanými Pleinerem v roce 1958 [1]. Velmi dobře se shodují koncentrace všech tří základních komponent této železné rudy, tj. koncentrace oxidu železnatého, křemičitého a hlinitého (tab. I). Svědčí to o rovnoměrné jakosti

kunštátských rud a též o dostatečně vysokém obsahu železa v rudě, tj. o její dobré kovnatosti, která měla určující vliv na výtěžek pochodu v raně středověkých redukčních hutnických pecích, ať již šachtových či výhňových. Ve srovnání s tím zároveň vyniká nízká kvalita železné rudy (limonitu) z opuštěného povrchového dolu František Xaverský v Adamově, neboť ruda obsahuje pouze 25 hm.% oxidů na bázi železa, což velmi silně limitovalo jeho výtěžek v raně středověkých železářských pecích. O to více vynikne vysoká kvalita brazilské rudy, v níž je obsah oxidů na bázi železa srovnatelný s obsahem těžké komponenty v minerálu goethitu (tab.I).

Předchozí výsledky analýz přesvědčivě ukazují, že hutníci měli na Kunštátsku k dispozici jakostní železnou rudu a rovněž kvalitní kaolinitické jíly pro výrobu dyzen a výmazy hutnických pecí. Sporadické nálezy železářských strusek a dyzen z okruhu několika km v okolí Milenek pak ukazují, že v této lokalitě mohlo v minulosti pracovat i několik hutnických dílen.

4. Závěr

Analýzy železářských strusek a úlomku dyzny pocházející z nálezů pana Lubomíra Konopáče v osadě Rudka na Kunštátsku ukazují, že jde o strusky provázející pochody přímé výroby železa z rud v redukčních hutnických pecích, při nichž byly k dmýchání vzduchu (větru) do pecí používány dyzny vyrobené z jakostního nízko až středně žáruvzdorného šamotu. K přípravě směsi bylo zřejmě využito surovin z místních ložisek kaolinitických jíků.

Souběžné analýzy vzorků železné rudy z lokality U jezírka poblíž Suché louky na Kunštátsku ukázaly dobrou shodu s výsledky analýz kunštátských a rudických železných rud, které byly publikovány koncem padesátých let a potvrdily poměrně dobrou kovnatost místních rudních ložisek. Ta byla základním předpokladem k dobrému výtěžku železa v primitivních redukčních šachtových i výhňových pecích.

Literatura

- [1] Pleiner, R.: Základy slovanského železářského hutnictví v Českých zemích. NČSAV, Praha 1958.
- [2] Souchopová, V.: Hutnictví železa v 8.-11. století na západní Moravě. Academia, Praha 1986.
- [3] Tenora, J.: Vlastivěda moravská, Kunštátský okres. Muzejní spolek, Brno 1903.
- [4] Hosák, L. - Šrámek, R.: Místní jména na Moravě a ve Slezsku II. M-Ž. Academia, Praha 1980.
- [5] Kořan, J.: Staré české železářství. Knižnice Dějiny práce, Praha 1946.
- [6] Petržela, L.: Slévárenské formovací látky. SNTL, Praha 1955.
- [7] Anderlík, K. aj.: Přehled chemie a chemické technologie.
Díl I. Práce, Praha 1954.
- [8] Dobrochotov, N.: Obsluha kuplovný. SNTL, Praha 1957.
- [9] Kreps, M.: Železářství na Žďársku. Blok, Brno 1970.

Tab. I Prvkové složení strusek a materiálu dyzny [hm. %]

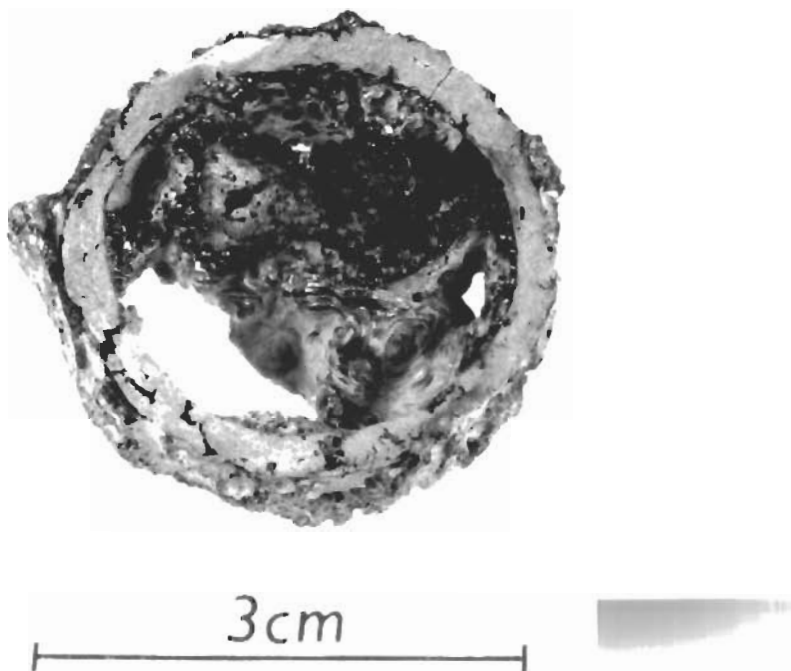
Složka	Struska č. 1	Struska č. 2	Struska č. 3	Dyzna
Na ₂ O	-	-	0,00	0,00
MgO	0,70	0,01	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	8,88	1,93	4,46	29,17
SiO ₂	22,56	16,95	20,74	58,27
P ₂ O ₅	1,36	0,34	0,08	0,00
S	0,073	0,16	0,09	0,14
K ₂ O	0,67	0,36	0,94	1,43
CaO	1,49	0,57	0,82	0,82
TiO ₂	0,20	0,09	0,28	1,17
Cr ₂ O ₃	-	-	0,03	0,05
MnO	0,25	0,15	0,28	0,04
Fe ₃ O ₄	63,82	79,43	72,24	8,87
teplota tavení [°C]	1324	1234	1271	1653

Poznámky: struska č. 1 a č.2: analytický komplex JEOL JXA - 8600/Keyex Delta V Sesame, U = 15 kV, t = 300 s, systém korekcí ZAF; struska č.3 a materiál dyzny: analytický komplex JEOL JSM-U3/Tracor TN 2000, U = 25 kV, t = 300 s, systém korekcí ZAF.

Tab. II Prvkové složení železných rud z různých lokalit [hm. %]

Složka	Brazílie komerční dodávka	Kunštát jezíčko U suché louky 1990	Adamov důl Fr. Xaverský 1990	Goethit minerál (sbírky UK) 1993	Kunštát lit. [1] 1958	Rudice lit. [1] 1958
MgO	0,22	0,00	0,07	0,19	-	-
Al ₂ O ₃	0,66	20,46	1,36	0,06	20,07	32,21
SiO ₂	0,29	10,13	73,27	0,64	13,63	10,54
P ₂ O ₅	0,08	0,05	0,18	0,09	-	-
S	0,04	0,07	0,13	0,05	-	-
K ₂ O	0,09	0,07	0,07	0,04	-	-
CaO	0,13	0,09	0,22	0,07	1,49	st.
TiO ₂	0,12	-	0,13	0,08	-	-
Cr ₂ O ₃	-	2,59	-	-	-	-
MnO	0,21	0,25	0,18	0,08	-	-
Fe ₃ O ₄	98,16	66,27	24,38	98,96	60,68	55,49

Poznámky: použit analytický komplex JEOL JXA-8600/Keyex Delta V Sesame, U = 15 kV, t = 300 s, systém korekcí ZAF, udán rok analýzy
- značí neanalyzováno, popř. neudáno v literatuře
st. - značí stopy



Obr. 1 Příčný řez dyznou, jejíž chemické složení, jakož i chemické složení strusky v ní zalité, je uvedeno v tab. I pod označením "Dyzna" a "Struska č. 3".