

K lokalizaci železných hutí na Kunštátském panství

Karel Stránský, Václav Hoch, František Kavička, Antonín Buchal,
Věra Souchopová

Počátky železářské výroby na Kunštátsku jsou spojeny s nálezy strusek a úlomků vypálených hliněných dyzen, které v novější literatuře popsal R. Pleiner [1]. Vztahují se k hoře Milenka (579,7 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 Rudice, Habrůvky a Obory v Moravském Krasu. 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 nález dyzen popsany v starší literatuře pochází z roku 1931 rovněž z jižního svahu Milenek. Tehdy nalezené dyzny byly masivnější, o vnějším průměru 38 až 50 mm a světlosti kruhových otvorů 17 až 20 mm.

Starší nálezy upozorňují na existenci místní výroby železa, avšak jejich časové zařazení je neurčitě. Podle podobných železářských lokalit v těžební a hutnické oblasti ve střední části Moravského Krasu lze tyto nálezy zařadit do 11. století [1,2].

Novější nálezy z let 1991 až 1994, publikované v roce 1996 [3] pocházejí z bezprostřední blízkosti obce Rudka u Kunštátu. V polní trati, jihozápadně od severní části obce, kde mohla pracovat předpokládaná hutnická dílna, je však terén silně narušen orbou. Mezi těmito nálezy jsou pozoruhodné tenkostěnné dyzny z jemně plaveného žáruvzdorného materiálu, které se vzhledem i velikostí přibližují starším nálezům z jižního svahu Milenek.

Dyzny, dochované 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 a světlost kruhového otvoru dyzen dosahuje asi 24 mm. K souboru nálezů patří tři exempláře dochovaných ústí dyzen, jejichž stěny jsou pokryty vrstvami strusek a zčásti též zalité struskou. Podobné nálezy dyzen se nacházejí také v hutnických dílnách ve střední části Moravského Krasu, což umožňuje jejich předběžné časové určení do střední doby hradištní [2,3].

Analýzy strusek a dyzny

Pozoruhodné výsledky přinesly analýzy železářských strusek a dyzny z nálezů v letech 1991 až 1993 [3]. Chemické složení strusek a materiálu dyzny je uvedeno v *tab. 1*. Strusky č. 1 a č. 2 byly vybrány jako typické (převládající) vzorky ze souboru nalezených strusek. Struska č. 3 byla zalita v analyzované dyzně. 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 o tloušťce cca 10 mm k chemické analýze strusky zalité v dyzně a materiálu dyzny.

Strusky. Z *tab. 1* plyne, že všechny tři analyzované vzorky strusek mají podobné základní složení. Strusky jsou charakterisovány 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 $IB = (CaO)/(SiO_2)$ o průměrné hodnotě $IB = (0,046 \pm 0,017)$. Strusky se však významně odlišují obsahem oxidu fosforečného, který je jistým ukazatelem redukčně-oxidační povahy strusek a pochodu, z něhož strusky jako odpad pocházejí. Čím vyšší je za jinak stejných podmínek koncentrace oxidu fosforečného ve strusce, tím větší je pravděpodobnost, že provázely spíše oxidační a nikoli redukční železářský pochod [4]. Na základě srovnávacích analýz lze proto usoudit, že strusky č. 2 a č. 3 u nichž je obsah oxidu fosforečného velmi nízký (0,34 a 0,08 hm.%) provázely přímou výrobu železa z rud v redukčních pecích (pro strusku č. 3 je to zcela evidentní neboť byla zalita v dyzně, kterou byl dmýchán vzduch do pece), zatímco struska 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 v *tab. I* č. 2 byla analyzována zrnka metalického železa o 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, Si, P, S a Mn ve velmi čistém železe. To svědčí o tom, že teplota vzniku těchto zrn byla hluboko pod teplotou tavení čistého železa, která je 1535 °C (nejde tedy v žádném případě o strusky provázející například zkujňovací pochody surového železa ve výhních, kde mají zrna Fe koncentraci příměsí podstatně vyšší a nad mezí detekovatelnosti použité metody). Nízké koncentrace síry ve struskách svědčí o tom, že jako paliva bylo v příslušném železářském pochodu použito dřevěného uhlí.

Dyzna. Podle složení v *tab. I* byla dyzna vyrobena z kaolinitického jílu s podílem obou základních složek 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 tohoto poměru menší než 2) [5]. Šlo spíše o nízko, než středně žáruvzdornou keramiku, jejíž stupeň žáruvzdornosti by bylo možno hodnotit podle [6,7] stupněm 26 až 30 Segerových žároměrek. Kontrolní výpočet teploty tavení této keramiky byl proveden podle dvou nezávisle stanovených semiempirických vztahů

$$T[^\circ\text{C}] = (360 + \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{RO})/0,228, (1)$$

kde RO je součet hm.% zásaditých oxidů [5] a vztahu

$$T[^\circ\text{C}] = 4,2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 158 (2)$$

těž uvedeného v práci [5]. Výpočet vede k hodnotám 1653 °C pro vztah (1) a 1704 °C pro vztah (2). Vypustíme-li z analýzy dyzny v *tab. I* obsah železa a zbytek normujeme na sto procent (může jít totiž o vliv strusky zateklé do pórů žáruvzdorné keramiky) vypočteme podle rovnice (1) teplotu tavení 1703 °C, která je shodná s teplotou vypočtenou z 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 teploty tavení strusek, stanovené v *tab. I* podle rovnice (1), jeví jako vyhovující žáruvzdornost.

Kunštátské železné rudy a jejich analýzy

Kunštátsko je zároveň oblastí bohatou na poměrně kvalitní železné rudy. Například pernštejnské železářny otevřely ještě v roce 1847 a dalších doly na železnou rudu v lokalitách *Mokřina*, *Suchá louka* a *Spálivá*. V dolech nazvaných Anna, Pavlína, Emilie, Tekla, František, Kuno a Jana by těžen limonit o obsahu 15 až 28 % železa. Některé z těchto dolů byly opuštěny už po dvou letech provozu, například Kuno a František už v roce 1849. Jinde pokračovala těžba až do šedesátých let 19. století, kdy bylo důlní dílo opuštěno definitivně [8]. Tehdy 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 nedaleko 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* (obr. 1) na severovýchod od města Kunštátu, kde byl důl Jan. Zde se těžil krevet a limonit pro barvírenské účely dokonce ještě v padesátých letech 20. století. Doposud (tj. do roku 2000) se zde zachovaly na březích jezírka haldy částečně zvětralých, červeně a hnědě zbarvených železných rud o rozměrech základny kolem 11x38 m² a výšce asi 1,5 až 2,0 m, které mohou obsahovat velká sta tun železné rudy.

K analýze byly z této lokality odebrány celistvé nezvětralé vzorky rud, z nichž byly připraveny metalografické výbrusy a tři z nich byly podrobeny chemické, rentgenové spektrální mikroanalýze. Nalezené složení udává *tab. II*, která je pro srovnání ještě doplněna analýzami železné rudy ze Slatiny u Biskupic, z opuštěného dolu František Xaverský u Adamova, rudy z komerční dodávky z Brazílie, analýzou goethitu – $\text{FeO}(\text{OH})$ z mineralogických sbírek Univerzity Karlovy a jsou v ní též zahrnuty již dříve zveřejněné výsledky analýz kunštátských a rudických železných 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 R. Pleinerem v roce 1958 [1]. Shodují se

koncentrace všech tří základních složek rudy, tj. oxidů železa, oxidu křemičitého a hlinitého (*tab. II*). Analýzy svědčí o dobré kovnatosti (bohatosti) kunštátských rud, která měla určující vliv na výtěžek pochodu v raně středověkých redukčních hutnických pecích, ať již šachtových, nebo výhňových. Ve srovnání s tím zároveň vyniká na jedné straně vysoká jakost brazilské rudy a goethitu, který bývá i jako minerál součástí některých železných rud. Na druhé straně však představuje extrém nízká kovnatost železné rudy (limonitu) z opuštěného povrchového dolu František Xaverský u Adamova, a také z opuštěného důlního díla ve Slatině u Biskupic, které obsahují pouhých 24 a 34 hm.% oxidů železa, což jsou koncentrace zcela nevhodné pro přímou výrobu železa z rud ve středověkých hutnických redukčních pecích.

Kde pracoval na kunštátském panství železný hamr?

Předchozí výsledky analýz přesvědčivě ukazují, že hutníci měli na Kunštátsku k dispozici jakostní železnou rudu a rovněž kvalitní kaolinitické jíly pro výrobu dyzen a pro výmaz stěn hutnických pecí. To bylo zřejmě důvodem, že výroba železa z rud se zde udržela nejméně do 14. století, kdy je na kunštátském panství písemně uváděn hamr [9]. Hamrem se podle zpráv ze 14. až 16. století rozumí železárna sestávající z redukční pece, zpravidla šachtové, v níž se vyrábí železná houba přímo z rud, dále z vyhřívací pece a z hamerského kladiva poháněného vodní silou.

Na Moravě se uvádí roku 1350 hamr na panství kunštátském a také hamry u Adamova. Z roku 1363 jsou zprávy o hamerníkovi Kuncmanovi, který vystavěl hamr u Žďáru nad Sázavou. První písemná zpráva o Kunštátu, kde se jeho zakladatelem jmenuje Kuna (syn Heralta z Obřan u Brna) který se již píše z *Kunštátu*, je z roku 1280 [10] a předchází tak o sedmdesát let první písemnou zprávu o hamru na kunštátském panství (1350). Krátce nato, roku 1360, se již Kunštát nazývá *městečkem* a v roce 1374 se pod kunštátským hradem připomínají *dva dvory poplužné a šest mlýnů* [10](s. 24).

J. Kořan soudí [9], že hamry na Kunštátsku byly v provozu již od 14. století, tj. od zmíněného roku 1350, *ale podniky zanikly roku 1733 pro nedostatek dřeva*. Uvážíme-li, že činnost hamrů na kunštátském panství trvala nejméně od roku 1350 do roku 1733, což činí více než 380 let, pak jde o období srovnatelné s dobou funkce hamrů například v horním povodí řeky Sázavy (tj. v hamrech v Ronově nad Sázavou, v Horní a Dolní Sázavě, v dnešních Hamrech u Žďáru, ve Žďáře nad Sázavou, Polníčce a v hamru pod rybníkem Velké Dářko). Předpokládali jsme, že tak dlouhá doba činnosti hamru na kunštátském panství by se měla odrazit v přiměřeném množství železářských strusek, to znamená v množství srovnatelném s hamerskými lokalitami v horním povodí Sázavy a pokusili jsme se na základě terénního průzkumu polohu hamru blíže určit.

Rozsah kunštátského panství v 14. století lze poměrně dobře stanovit podle údajů v *Historickém místopisu země Moravskoslezské* zpracovaného L. Hosákem [11]. Ve 14. století, přesněji v roce 1374, se uvádějí jako příslušející ke kunštátskému panství kromě Kunštátu tyto vsi: *Makov, Petrov, Rozseč, Rudka, Sulíkov, Sychotín, Ústup, Zbraslavce a Martiněves*, mezi Sychotínem a Zbraslavcem, která později zanikla. Na jejím místě však zůstalo několik chalup a od 17. století se nazývala *Víska*. Vidíme, že je to devět osad, které jsou všechny, kromě Ústupu, rozloženy v povodí říčky Petrůvky, která pramení v okolí Petrova. Z dalších vsí patřících ke kunštátskému panství stával železný hamr ve Víru, avšak tento hamr je písemně datován až od konce 15. století. Vír samotný náležel roku 1364 k hradu Pernštejnu, k roku 1384 přešel jako majetek k hradu Pyšolci a od roku 1591 k Louce. Louka náležela ke Kunštátu až od roku 1507 [11].

Poněvadž hamry byly zřizovány na vodních tocích lze hledat na kunštátském panství písemně zmiňovaný hamr pouze v povodí Petrůvky a to někde mezi Petrovem a Drnovicemi, které již k tehdejšímu kunštátskému panství nenáležely.

Povrchový průzkum. Několikrát proběhl v posledních deseti letech podrobný povrchový průzkum údolí říčky Petrůvky od jejích pramenů pod vsí Petrovem, až po hranice bývalého kunštátského panství v Drnovicích, s cílem zachytit stopy po zpracování železných rud. Průzkum byl zaměřen jednak na nejbližší okolí povodí této říčky a její náplavovou oblast, jednak na koryto Petrůvky v ročních údobích sucha, tj. v pozdním jaru a ke konci léta, a jeho cílem byl povrchový sběr keramických střepů a strusek. Při průzkumu bylo využito také znalosti terénu a místní tradice u kunštátských rodáků. Povrchovým průzkumem v údolí Petrůvky byly ojediněle nalezeny zlomky keramických střepů, které bylo možno typologicky zařadit do 13. až 15. století, avšak železářské strusky nalezeny nebyly.

Na Petrůvce přitom pracovalo několik mlýnů až do poloviny 20. století. Byl to Horní mlýn v Sychotíně, dále Prostřední (též Porčův mlýn) a Hamerský mlýn, pod osadou Vísky, na samém počátku vsi Zbraslavce.

Bylo zjištěno, že Petrůvka zřejmě v minulosti měnila také svoje koryto a její dnešní tok, zejména v úseku pod Horním mlýnem ve směru k bývalému Prostřednímu mlýnu, není původní. Tamnější terén totiž svým reliéfem ještě dnes naznačuje, že původní koryto Petrůvky bylo v minulosti posunuto oproti současnému toku po proudu více doleva, až téměř pod samotný okraj svahů kopce známého pod místním jménem *Dianaperk*. Terén je zde zatravněn a zemědělsky využíván a strusky zde nebyly povrchovým sběrem nalezeny. Pouze v korytu Petrůvky (*obr. 2*) pod Horním mlýnem se ojediněle vyskytovaly úlomky silně feromagnetických strusek, z nichž jeden vzorek byl vyzvednut a podroben rentgenové difrakční fázové analýze.

Analýza strusky z koryta Petrůvky. Pro analýzu bylo využito automatického rentgenového difraktometru D 500 firmy Siemens a bezstandardové metody kvantitativní fázové analýzy založené na Rietveldovském modelování reálné struktury fází přítomných ve vzorku. Všechny vzorky určené k analýze byly připraveny v práškové formě rozdrčením úlomků, případně části vzorků kleštěmi a namletím drti na achátovém vibračním mlýnu na zrnitost cca 10 μm . Tento prášek byl posléze nalisován čelně do plexikového rámečku tak, aby ho bylo možno uchytit v ose goniometru.

Vlastní měření bylo provedeno na rentgenovém difraktometru D 500 firmy Siemens ve středovém semifokusačním uspořádání záření $\text{CoK}\alpha$ s krystalovým monochromátorem před detektorem. Byla proměřena oblast difrakčního spektra od 10° po 90° 2θ s velikostí kroku $0,05^\circ$ 2θ a s výdrží od 14 po 54 sekund v každé poloze. Po skončeném měření byl vektor naměřených intenzit rtg. záření uložen do vnější paměti připojeného počítače k dalšímu zpracování a k archivaci.

Identifikační analýza fází přítomných ve feromagnetické strusce se uskutečnila srovnáním sejmutého difrakčního spektra s difrakčními spektry standardů uložených v databázi příslušející k rentgenovému difraktometru. Pro kvantitativní stanovení fázového složení bylo po identifikační analýze využito *Howardovy* modifikace *Wilesova* programu pro *Rietveldovu* analýzu difrakčního spektra [11]. Výsledky jsou uspořádány v *tab. III*.

Podle výsledků fázové analýzy obsahuje struska z mineralogického hlediska vysoký podíl albitu (sodného živce) a fayalitu, dále pak značný podíl křemene s nevelkým podílem jeho vysokoteplotní modifikace tridymitu. Dále byl zjištěn magnesianoferit, který se jako minerál v přírodě nevyskytuje a jeho přítomnost ve vzorku byla stanovena porovnáním se synteticky připraveným standardem. Struska obsahovala též nevelkou koncentraci metalického železa *alfa*.

Tridymit, který představuje alotropickou modifikaci křemene, vzniká nad teplotou 870°C a je stálý až do teploty 1470°C , kdy přechází v cristobalit. Fayalit (mineralogicky olivín) vzniká reakcí křemene a oxidu železnatého a je charakteristickou součástí železářských strusek. Jeho teplota tavení se pohybuje kolem 1200°C . Kovové železo vyžaduje ke svému vzniku přímo z železných rud v redukční atmosféře za tlaku 0,1 MPa teplotu nad 700°C . Uvedené parametry mineralogických komponent strusky tedy ukazují, že jde o strusku železářskou. Vysoký podíl albitu ve směsi s křemenem vypovídá o tom, že struska mohla být v kontaktu s hmotou výmazu železářské pece.

Přepočteme-li údaje fázové analýzy na koncentrace oxidů jednotlivých prvků (tj. Na, Mg, Al, Si a Fe) za předpokladu, že za vysokých teplot v peci tvořily jednotlivé oxidy homogenní kapalný roztok, pak získáme složení [hm.%]: 6,24 Na_2O , 1,96 MgO , 10,55 Al_2O_3 , 51,37 SiO_2 a 29,89 Fe_3O_4 a podle rovnice (1) teplotu tavení $1458,2^\circ\text{C}$. Tato hodnota se jeví přijatelná, neboť teplota tavení strusek které nebyly v kontaktu s výmazem pecí je podle *tab. I* o hodnotě $(1276,3 \pm 45,2)^\circ\text{C}$, tedy o cca 182°C nižší.

Lze tedy strusku nalezenou v korytě Petrůvky s velkou pravděpodobností označit za odpadový produkt výroby a zpracování železa. Vysoký podíl křemene a živce nasvědčuje, že šlo nejspíše o strusku, která byla v kontaktu s výmazem železářské pece.

Zda se jednalo o strusku z redukční hutnické pece, či pece výhňové, určené ke kovářskému zpracování již vyredukovaného železa, lupy či houby, nelze s určitostí říci. Rovněž tak lze jen s jistotou, a to s nevelkou pravděpodobností lokalizovat dosud blíže neidentifikovanou polohu kunštátského hamru, o němž se píše již roku 1350, někde do prostoru bývalého Horního mlýna v Sychotíně na říčce Petrůvce.

Závěrem

V příspěvku je pojednáno o nejstarších nálezech vztahujících se k železářskému hutnictví v Kunštátu a v jeho blízkém okolí. Nejstarší nálezy strusek a dyzen redukčních pecí pocházejí z 11. století. Rozvoj hutnictví zde byl podmíněn výskytem poměrně jakostních železných rud a kvalitních žáruvzdorných jílu. Železářská výroba se zde proto udržela až do pozdního středověku, neboť již v roce 1350 je na kunštátském panství písemně doložen hamr, který zde pracoval až do roku 1733, kdy zanikl pro nedostatek paliva z okolních lesů. Hamr lze podle historických pramenů lokalizovat do údolí říčky Petrůvky, zhruba od Petrova pod Zbraslavcem, kde byla hranice tehdejšího kunštátského panství. Přesná lokalizace hamru je však nejistá. Železářská struska byla nalezena v korytě Petrůvky pod Horním mlýnem.

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] STRÁNSKÝ, K. – SOUCHOPOVÁ, V. – REK, A. – HOCH, V.: Nejstarší železářské nálezy na Kunštátsku a jejich analýza. In: Archeologia Technica 10, Technické muzeum v Brně, Brno 1996, s. 45-50.
- [4] STRÁNSKÝ, K. sen. – REK, A. – STRÁNSKÝ, K. jun.: Železářské hamry na Pelhřimovsku. Slévárenství XLVIII, 2000, č. 4, s. 265-269.
- [5] PETRŽELA, L.: Slévárenské formovací látky. SNTL, Praha 1955.
- [6] ANDERLÍK, K. aj.: Přehled chemie a chemické technologie. Díl I. Práce, Praha 1954.
- [7] DOBROCHOTOV, N.: Obsluha kuplovny. SNTL, Praha 1957.
- [8] KREPS, M.: Železářství na Žďársku. Blok, Brno 1970.
- [9] KOŘAN, J.: Staré české železářství. Práce, Praha 1946.
- [10] TENORA, J.: Vlastivěda moravská. Kunštátský okres. Musejní spolek, Brno 1903.
- [11] HOSÁK, L.: Historický místopis země Moravskoslezské. III Brněnský kraj. Společnost přátel starožitností čsl. v Praze. Tisk Kramerius, Brno 1934, s.321-326.
- [12] STALICK, J.K.: Accuracy in Powder Diffraction II. Gaithersburg, 1992, pp.34-37 (*citovaná práce obsahuje popis Howardovy modifikace Wilesova programu pro Rietveldovu analýzu difrakčního spektra*).



Obr. 1 Lokalita *U jezírka* poblíž *Suché louky* u Kunštátu. Krevel zde byl těžen pro barvířské účely ještě v polovině dvacátého století. Jezírko má tvar poněkud podobný osmičce. Během léta se v něm hladina vody snižuje, avšak jezírko nevysychá (skica tužkou v červenci roku 2000 K. Stránský)



Obr. 2 Místo četnějších nálezů železářských strusek v korytě Petruvky pod bývalým Horním mlýnem (foto 7/2000 V. Hoch)



Obr. 3 Bývalý Horní mlýn na Petrůvce v Sychotíně
(foto 7/2000 V. Hoch)

Tab. I Chemické složení strusek a dyzny z nálezů v letech 1991 až 1992 v Rudce u Kunštátu [hm. %] podle [3]

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	79,34	72,24	8,87
odhad teploty tavení [°C]	1324	1234	1271	1653

Poznámky:

- strusky č. 1 a č. 2 byly vybrány jako typické vzorky ze souboru nalezených strusek;
- struska č. 3 byla zalita v analyzované dyzně (úloemek 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 o tloušťce cca 10 mm k chemické analýze strusky zalité v dyzně a materiálu dyzny);
- analýzy strusek č.1 a č.2 na analytickém komplexu JEOL JXA-8600/Kevex Delta V Sezame (U = 15 kV, t = 300 s, systém korekcí ZAF);

- analýza strusky č.3 a dyzny na analytickém komplexu JEOL JSM-840/Tracor TN 2000 (U = 25 kV, t = 300 s, systém korekcí ZAF).

Tab. II Chemické složení železných rud z Kunštátu a dalších lokalit [hm. %]

Složka	Kunštát Jezírko u Suché louky	Slatina u Biskupic	Adamov důl Fr. Xaverský	Brazílie komerční dodávka	Minerál goethit UK Praha	Kunštát 1958 [1]	Rudice 1958 [1]
MgO	0,00	0,72	0,07	0,22	0,19	-	-
Al ₂ O ₃	20,46	15,97	1,36	0,66	0,06	20,07	32,21
SiO ₂	10,13	33,38	73,27	0,29	0,64	13,63	10,54
P ₂ O ₅	0,05	0,38	0,18	0,08	0,09	-	-
S	0,07	0,12	0,13	0,04	0,05	-	-
K ₂ O	0,07	0,22	0,07	0,09	0,04	-	-
CaO	0,09	12,89	0,22	0,13	0,07	1,49	stopy
TiO ₂	-	1,36	0,13	0,12	0,08	-	-
Cr ₂ O ₃	2,59	-	-	-	-	-	-
MnO	0,25	0,38	0,18	0,21	0,08	-	-
Fe ₃ O ₄	66,27	34,29	24,38	98,16	98,96	60,08	55,49

Tab. III Výsledky kvantitativní fázové analýzy železářské feromagnetické strusky z koryta říčky Petrůvky

Pořadové číslo	Identifikovaná fáze	Stechiometrický vzorec	Obsah [hm. %]	Poznámka
1	fayalit	Fe ₂ SiO ₄	28,52	
2	křemen	(β)SiO ₂	15,73	1)
3	magnesioferit	MgFe ₂ O ₄	9,80	
4	tridymit	(γ)SiO ₂	2,37	2)
5	železo <i>alfa</i>	Fe-α	1,57	
6	albit (živec)	NaAlSiO ₃	42,01	

Poznámky:

- 1) křemen (β) přechází při teplotě 573°C v křemen (α), přeměna je vratná,
- 2) křemen (α) přechází při teplotě 870°C v tridymit (α) který je stabilní do teploty 1470°C, při ochlazení přechází tridymit (α) postupně v tridymit (β) a poté v tridymit (γ), který je stabilní již za normální teploty [5] (s. 89).