

Železářská struska z etruské lokality Populonia

Jiří Merta, Antonín Buchal, Karel Stránský

Při návštěvě Toskánska na podzim roku 2002, sebral spoluautor příspěvku několik vzorků strusek na břehu zátoky Barrata v místech zaniklé etruské lokality Populonia.

Historie etruského železářství

Po tisíciletí, zajisté po více jak 4000 let dodávaly doly na ostrově Elba suroviny pro výrobu kovů. Nejdříve to byly měděné rudy, později rudy železné, jejichž těžba svým významem daleko převýšila význam prvních a dala již od 9. století před naším letopočtem základ místnímu významnému železářství. To vznikalo v Itálii ještě v prostředí Villanovské kultury, na jejíž hmotných základech se vytvářela etruská civilizace s níž je rozvoj místní metalurgie železa spojen. Již kolem roku 1000 př.n.l. byly v provozu první železářské pece na východním pobřeží ostrova Elby. Šachtové železářské pece byly zakládány v blízkosti výchozů železné rudy, případně na mořském břehu při ústích štol. Byly v nepřetržitém provozu ve dne v noci, takže byl ostrov Elba nazýván „ostrov tisíce ohňů“, nebo také řeckými plavci „ostrov černý od kouře“ (*Aethalia*, možná *Aesthalia* – přičemž *aes* značí kov, později snad z tohoto názvu Italia). Produkce kvalitního železa trvala po následující staletí. Tak v Eneidě je vzpomínáno na 300 válečníků z Elby a 600 z blízké Populonie při obléhání Tróje, kteří byli vyzbrojeni zbraněmi vykovány na ostrově. Takřka průmyslová výroba železa vedla k likvidaci ostrovních porostů nutných pro výrobu dřevěného uhlí. Nařízení, že porost může být kácen vždy po 20 letech, již situaci nezachránilo. Bylo nutno přijmout opatření srovnatelné s moderní technologií transportu surovin loděmi přes Piombinský průliv, široký 10 km, do nově zakládaných hutí na přilehlém pobřeží Toskánska. Kromě jiných hutí založili Etruskové na příhodném chráněném kotvišti Barratského zálivu nové město nazývané Římany Populonia (původně etrusky Pūpluna či Fufluna). Toto město, jehož bohatství se opíralo o rozvinuté železářství, dosáhlo vrcholného rozkvětu ve 4. a 3. století před naším letopočtem. Město bylo rozděleno do dvou částí. Horní část města, akropole byla chráněna silnou hradbou, spodní tvořily průmyslové objekty železářských hutí a přístav. Ten byl důležitý nejen pro přísun železné rudy, ale také pro export výrobků z významného výrobního a obchodního střediska zásobujícího prostřednictvím etruských, řeckých a fénických lodí západní Středomoří. Místní hutě zpracovávaly jednak magnetitické a hematitické rudy dovážené z Elby, ale také rudy těžené v podhůří blízkých na metalické rudy bohatých Toskánských hor (Colline metalifere). Od 3. století docházelo k postupnému překrývání původních objektů železářských provozů mocnými vrstvami strusek, které postupem času pokryly i blízkou nekropoli. Toto území, dnes pokrývající na 80 ha plochy, tvoří část Archeologického parku Populonia (Museo Archeologico del territorio di Populonia). Existence osídlení a výroby trvala do změny letopočtu, kdy bylo město obyvateli po zhruba sto letech úpadku završeném zničením Sullovým vojskem během občanské války (roku 80 př.n.l.), zcela opuštěno. Současně zanikla těžba rud na samotné Elbě. Výroba železa pokračovala v okolních villách ještě další staletí, ale jen pro místní potřebu. Po roce 1250 vyrostl na troskách akropole hrad, mocné vrstvy strusek byly čas od čas zpracovávány skupinami tavičů. Z metalických rud z podhůří Toskánských hor byly v nově zakládaných opevněných osadách získávány barevné kovy a stříbro, které byly stejně jako železo finálně zpracovávány v Pise. Centrem oblasti se stalo město Massa Marittima, kam si do místní katedrály přenesl vlastník krajiny, biskup, i ostatky místního patrona Populonie, svatého Cerbona.

Počátkem 20. století došlo k postupnému využívání bohatých depozit etruských železářských strusek, pro další výrobu železa. Ty se nacházely jak na východním pobřeží ostrova Elby, Tak ve Follonice na pobřeží, ve vnitrozemí u Massa Marittima a konečně nejhojněji v Barrati u zaniklé Populonie. Zde pokrývaly strusky v až 7 metrů mocné vrstvě plochu více jak 200 ha. Tvořily soustavu pahorků, které nebylo možno využívat pro jakoukoliv zemědělskou činnost. Ještě na samém konci 19. století došlo k nálezům a průzkumu místních hrobek a nekropole (Isidoro Falchi 1897). Rostoucí potřeba oceli během 1. světové války vedla ke zvýšené těžbě strusek a jejich transportu pomocí lanové dráhy na nákladní lodě, které surovinu dopravovaly k hutím, nejvíce do

blízkého Piombina. Skrývka vrstev strusek vedla na jedné straně k dalším nálezům hrobek a dalších artefaktů dokládajících dovednost Etrusků při zpracovávání obecných a vzácných kovů, na straně druhé byly neodvratně zničeny hmotné doklady etruské železářské výroby. Až do počátku 60. let minulého století pokračovala exploatace strusek pro potřeby hutí společnosti ILVA. Souběžně byla exploatována železná ruda z ostrova Elby a dopravována do hutí v Janově, Portoferraiu, Piombinu a Bagnoli. Do útlumu těžby v roce 1981 bylo od roku 1903 vytěženo na 16 miliónů tun železné rudy s obsahem 38 až 44 % Fe.

Konstrukce etruských železářských pecí

Etruské železářské pece pro přímou výrobu železa byly šachtové konstrukce. Patrně šlo o první konstrukci šachtové pece, která se vyvinula z výhně, užívané v prostředí západního Středomoří souběžně až do 19. století (katalánská, či korsická výheň). Údaje o možné výšce pece se různí. Od udávané výšky několika metrů (*Berveglieri a Valentini 2003*), po reálný údaj o výšce šachty pece asi 120 cm (*Brambilla 1993*). Tento autor a zároveň experimentátor popisuje konstrukci tzv. nízké redukční pece takto: základ pece tvoří tři granitové bloky, pravouhle k sobě uložené, které byly na straně z níž byla pec obsluhována doplněny menšími kamennými bloky dotvářející válcové těleso pece. Nístej pece byla vydusána z menších granitových kamenů, které byly překryty vrstvou vypáleného ohnivzdorného jílu. Drobnější kameny spojené jílem vytvářely vnitřní válcový prostor pece do výše 120 cm. Ve výšce 45 cm nade dnem nísteje byl otvor pro dyšnu. Průměr tohoto otvoru byl cca 25 cm. Popis konstrukce pece odpovídá galořímské peci z Les Martyrs datované k přelomu letopočtu.

Průběh experimentální tavby

Vlastní proces tavby je znám pouze z experimentu (*Brambilla*). Nejprve byla pec vyplněna dřevěným uhlím, které bylo zapáleno. Dmýhací aparát se skládal z dvojice měchů, které mohly nepřetržitě dodávat proud vzduchu do pece. Hematitická místní ruda byla podrcena na drobné kousky, případně prach a její vrstva byla vsypána šachtou do pece. Další šarže rudy byly přidávány po půl hodině, střídavě s dřevěným uhlím. Čtyři hutníci obsluhovali pec. Redukční pochod trval 10 až 12 hodin. Po 6ti hodinách tavby byl unavený personál vyměněn další čtveřicí hutníků, z nichž vždy dva obsluhovali měchy, další dva sázeli materiál do pece. Struska byla vypouštěna již po 2 hodinách tavby otvory v jižní stěně pece, odkud byla tato obsluhována. Ve středu pece se zatím formovala železná houba. Pomocí železné tyče bylo houbou posunováno a odstraňovaly se z ní hrubé nečistoty. Po skončení tavby byla částečně rozebrána čelní stěna pece a houba z pece vyjmuta. Houba byla rozlámána na 5 až 6 kusů a znovu vyhřívána na teplotu 1300°C (bílý žár). Takto vyhřátá houba obsahovala stále na 10% vměstků, 90% tvořilo Fe o obsahu 0,06 %C a byla kována dřevěným kladivem. Po víceterm ohřevu a kování (7 až 8 krát – pokaždé došlo k obohacení o 0,06 % C), byla zpracována do tyčového polotovaru, který byl předmětem dálkového obchodu. Experimentátoři nacházeli menší hromady strusek v okolí hutí. Tyto strusky s nízkým obsahem Fe neobsahovaly destruované části pecí, ani výmazů. Při experimentech bylo ověřeno, že zmíněných strusek bylo užíváno jako přísady při tavení většího množství hematitu. Při ukončení tavby byla vsázka pece zasypána vrstvou této strusky a dřevěného uhlí.

Gino Brambilla, president Gruppo Naturalistico Elbano (1993) popisující experiment v rekonstruované „nízké elbánské peci“ uvádí mimo jiné, v jakém zařízení bylo páleno dřevěné uhlí. Zdrojem bylo dřevo vřesovce stromového (*Erica arborea* – dnes známého zejména jako surovina pro výrobu dýmek). Do jámy o průměru a hloubce 2 m byly naházeny hořící otepi dřeva, na něž byly vyloženy špalíky dřeva až po okraj jámy. Celá hromada byla překryta vrstvou vypáleného jílu z předchozího pálení. Jíl byl upěchován do kupole, do níž byly proraženy dva otvory „přiměřené velikosti“, aby v jámě proběhla suchá destilace. Vysoký obsah pryskyřic v dřevěném uhlí pomáhal dosáhnout při jeho spalování vysoké teploty.

Experiment byl prováděn na lokalitě Chiessi v obci Marciana (Comune di Marciana), v nadmořské výšce 420 m na místě zaniklého etruského osídlení (zničeno roku 453 př.n.l.), které bylo znovu osídleno ve 12. století za nadvlády městské republiky v Pise. Dnešní samota se stala v té době jednou z farností ostrova. Zde se zachovaly části pece popsané v předchozí části příspěvku. Není zřejmé, zda středověké pece navázaly na etruské typy pecí, které v období produkce železa pokrývaly přístupnější části východního pobřeží ostrova Elby, vždy v blízkosti rudních zdrojů. Podle Brambilly

nebyl na žádné z lokalit proveden archeologický průzkum.

7

Analýzy

K rozborům strusky z Populonie byly aplikovány dvě analytické metody:

1) **Metoda rentgenové difrakční analýzy** aplikovaná s cílem stanovit fázové (mineralogické) složení vzorku železářské strusky. Za tím účelem byl použit rentgenový difraktometr SIEMENS D500 spojený s databázovým systémem obsahujícím cca $8 \cdot 10^4$ difrakčních spekter anorganických látek, převážně minerálů. Železářská struska byla nejprve rozdracena na menší části (cca 2 až 4 mm) a poté v achátovém mlýnku během několika hodin rozemleta na prášek o zrnitosti 1 až 10 μm . Homogenizovaný prášek byl poté vsypán a stlačen do plexisklového držáčku o průměru 25 mm a výšce 4 mm. Difrakční spektrum bylo sejmuto standardním způsobem za rotace v komoře difraktometru v úhlu 2θ v rozsahu 10 až 120 stupňů za dobu 24 hodin. Testování sejmutého spektra se standardy a stanovení mineralogického složení proběhlo na základě chemické mikroanalýzy. Ke kvantitativnímu stanovení nalezených fází byla na závěr aplikována metoda kvantitativního zpracování difrakčních spekter podle Rietvelda.

2) **Metoda energiově disperzní rentgenové spektrální mikroanalýzy** ke stanovení chemického složení práškového vzorku. K tomuto účelu byl použit elektronový rastrovací mikroskop PHILIPS opatřený energiově disperzním mikroanalyzátozem EDAX. Práškový vzorek železářské strusky byl nanesen na speciální karbonovou pásku a poté analyzován při urychlovacím napětí elektronového paprsku 20 kV, době načítání rentgenového spektra 100 s, celkem v šesti různých místech vrstvy, vždy na její ploše o velikosti cca $1,0 \times 1,0 \text{ mm}^2$. Ke kvantitativnímu zpracování rentgenových spekter byl aplikován systém korekcí ZAF, který zahrnuje korekce na atomové číslo Z, absorpci A a fluorescenční zesílení F.

Výsledky analýzy chemického složení železářské strusky z Populonie jsou uspořádány v *tabulce 1*, která zahrnuje aritmetický průměr, směrodatnou odchylku, minimální a maximální koncentraci, a uspořádání složek strusky podle jejich klesající koncentrace ve vzorku. Výsledky fázové analýzy jsou uspořádány v *tabulce 2*.

Závěr

Podle výsledků analýz jde o železářskou strusku tvořenou dvěma dominantními fázemi, wüstitem a fayalitem a s velmi nízkým obsahem síry a fosforu. Běží přitom o strusku kyselé povahy, jejíž index zásaditosti hodnocený podle kritéria $(\text{hm.}\% \text{ CaO})/(\text{hm.}\% \text{ SiO}_2) = 1,00/17,42 = 0,057$. Velmi nízký obsah síry svědčí o tom, že pochází z pochodu, při němž bylo jako paliva použito dřevěného uhlí, které neobsahuje síru.

Nízký obsah fosforu, velmi nízký obsah síry a poměrně vysoký obsah železa podávají informaci o tom, že struska je nejspíše produktem redukčního pochodu, který je typický pro přímou výrobu železa z rud v hutnické peci vytápěné dřevěným uhlím. Podle nízkého obsahu oxidu vápenatého lze usoudit, že během hutnického zpracování železné rudy nebyly použity struskotvorné přísady.

Tabulka 1 Chemická analýza železářské strusky z Populonie [hm.%]

Složka	Průměr x	Odchylka s_x	Minimum	Maximum	Složka	[hm.%]
Na ₂ O	0,64	0,12	0,45	0,75	Fe ₂ O ₃	73,92
MgO	0,87	0,11	0,76	0,99	SiO ₂	17,30
Al ₂ O ₃	4,72	0,14	4,60	4,94	Al ₂ O ₃	4,72
SiO ₂	17,42	0,37	16,94	17,80	CaO	1,00
P ₂ O ₅	0,17	0,14	0,00	0,39	MgO	0,87
S	0,08	0,08	0,00	0,23	Na ₂ O	0,64
K ₂ O	0,54	0,07	0,48	0,66	K ₂ O	0,54
CaO	1,00	0,13	0,92	1,24	MnO	0,32
TiO ₂	0,14	0,09	0,06	0,29	P ₂ O ₅	0,17
Cr ₂ O ₃	0,14	0,13	0,00	0,34	Cr ₂ O ₃	0,14
MnO	0,32	0,09	0,20	0,41	TiO ₂	0,14
Fe ₂ O ₃	73,92	1,13	72,17	75,21	S	0,08

Poznámky: – 6 měření při zvětšení 100x, analytický přístroj pro energiově disperzní rentgenovou spektrální mikroanalýzu PHILIPS–EDAX, urychlovací napětí 20 kV, doba expozice 100 s, aplikován systém korekcí ZAF

Tabulka 2 Výsledky difrakční fázové analýzy prášku železářské strusky z Populonie

Fáze	Stechiometrický vzorec	Minerál	Index v databázi	Hmotnostní procenta
1	FeO	wüstit	6-0615	38,39
2	Fe ₂ SiO ₄	fayalit	34-0178	61,61

Poznámka: – rentgenové difrakční spektrum je v databázi označeno: STRUSKA–ELBA MLETA – {1–MONO} R ss: 0,0500 tm: 116,00 CoK α 1 + 2.

Literatura

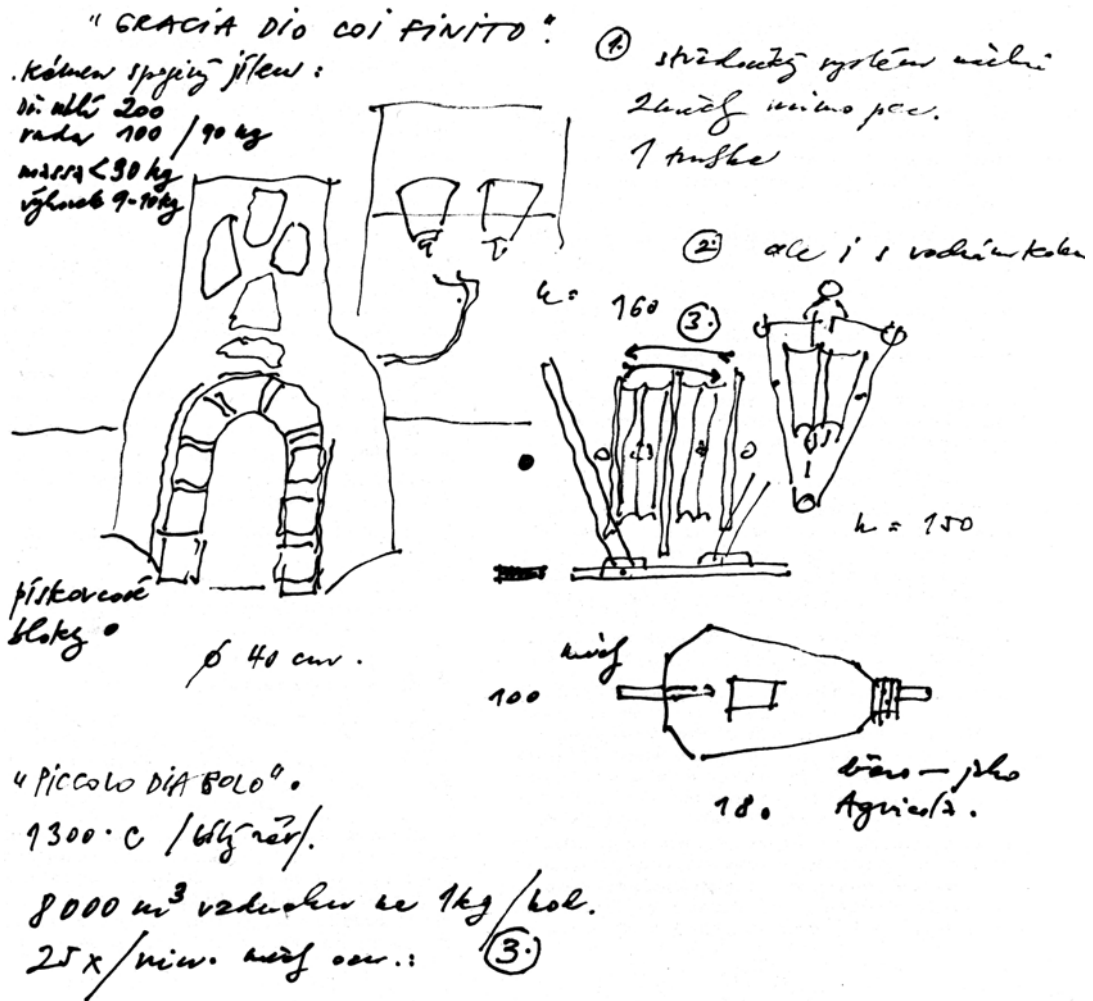
BRAMBILLA, G. 1993: Elban Low Bloomery, In: Comunicacions, 1^{er} Simposi internacional sobre la Farga Catalana, Ripoll 1993, nečíslováno.

Archeologia di un Paesaggio, Il promontorio di Populonia dalla preistoria ai giorni nostri. Museo Archeologico del Territorio di Populonia. Firenze 2002, nečíslováno.

BERVEGLIERI, A.; VALENTINI, R. 2003: Elba's iron mines and Etruscan smelting furnaces, blast furnaces ancestors, In: Archaeometallurgy in Europe II, Associazione Italiana di Metallurgia, Milano 2003, s. 437–444.



Obr. 1 Město Populonia v 6. století př.n.l. Areál etruských hutí napravo v oblouku nad přístavem v zálivu Barrati (převzato z Archeologia di un Paesaggio, Il promontorio di Populonia dalla preistoria ai giorni nostri)



Obr. 2 Poznámky z příspěvku Gino Brambilly předneseného na semináři Farga Catalana v Ripoll roku 1994, náčrty pece a měchů podle diapozitivů promítnutých během přednášky