

Karel S t r á n s k ý , VAAZ Brno,

Věra S o u c h o p o v á , Okresní vlastivědné muzeum Blansko

### Zaniklé pochody přímé výroby železa z rud a jejich rekonstrukce

---

Dějiště objevu přímé výroby železa z rud nemůžeme zatím označovat zcela přesně. Není vyloučeno, že k němu došlo v různých dobách na různých místech nezávisle, nebo na několika místech téměř současně. Podle známého nálezového bohatství a stavu archeologické a historické chronologie Starého světa se můžeme domnívat, že znalost dobývat železo z rud se rozšířila z oblasti mezi východní Malou Asií a Meziříčím do západní Malé Asie, Syrie, Palestiny a Egypta, jiným směrem pak na Kavkaz a do jižní Rusi a zároveň do oblasti egejské, italicke, makedonsko-thessalské, balkánské a pak přes východní alpské kraje do střední, západní a severní Evropy. V tomto sledu vznikly železné civilizace v období asi od 12. do 5. stol. před n.l. Pro střeoevropskou oblast platí, že obecným kovem se stalo železo v mladší době halštatské a na počátku doby laténské. Plného rozšíření se dočkalo až během vývoje laténské civilizace (2).

Český a moravský nálezový materiál dostačuje k bezpečnému prokázání domácí výroby železa v době halštatské. Je však pravděpodobné, že část kovu byla v této době do střední Evropy dovážena z jihu v podobě dvojhrotých hřiven, které se také patrně zpracovávaly v pověstné kovárně v Býčí Skále. V době laténské vytvořili Keltové spolu s ostatními etnickými skupinami první železnou civilizaci ve střední a západní Evropě a jejich zásluhou tradice hutnického řemesla nezanikla ani po ztrátě jejich politického významu. Produkce železa byla na sídlišťích pozdější doby římské skoro běžná a hutnictví se ve formě malovýroby provozovalo ve většině vsí, přičemž k redukci železné rudy sloužily nadzemní šachtové pece. Naproti tomu o hutnictví z rušné doby stěhování národů nejsou zprávy a nelze vyloučit, že došlo v 5. a 6. stoli k přerušení tradice laténské metalurgie, která

se udržela v Čechách a na Moravě až do konce 4. stol. Po osídlení našich zemí historickými Slovany se totiž objevil jiný typ železářské pece. Byla to vtesaná redukční pec, kterou přivedli Slované k velké dokonalosti tím, že využili dobrých vlastností tohoto typu, tj. poměrně velké kapacity, trvanlivosti a výtečné tepelné izolace. Slovanští metalurgové zakládali na příhodných terénech celé hutě s bateriemi těchto pecí, které měly až 25 redukčních jednotek. Příkladem může být objev nejzachovalejší a nejrozsáhlejší hutě v Želechovicích u Uničova na severní Moravě, která může být určena do 8. nebo na začátek 9. stol. (2). Svým významem se tomuto objevu blíží a variabilitou pecních jednotek ho dokonce předčí nedávný objev několika lokalit hutí na Olomučansku, který se časově zařazuje jednak do 8. a 9., jednak do 10. a 11. stol.

Zdá se, že vtesané redukční pece nebyly schopny dalšího vývoje, který pokračoval výhradně zdokonalováním nadzemních šachtových pecí. Tyto ve spojení s měchy poháněnými silou vodního kola vedly ve středověku ke zděným pecím kusovým a později, u nás na přelomu 16. a 17. století, nezadržitelně ke konstrukci skutečných vysokých pecí sloužících k výrobě surového železa.

Snaha blíže objasnit zaniklé technologie výroby železa je v poslední době provázena četnými pokusy teoretickými i pokusy o jejich rekonstrukci. I když je třeba na tyto rekonstrukce pohlížet kriticky, poněvadž jsou uskutečňovány za naprosto odlišných podmínek sociálních a za jiného stavu znalostí, zkušeností a myšlení, nelze jim upřít jistý význam z hlediska historického i technického.

Dnes chceme stručnou formou ukázat, které hlavní metalurgické parametry mohly významně ovlivňovat úspěšnost práce hutníků doby římské a slovanské při výrobě železné houby v nadzemních šachtových pecích. Při tomto výkladu vycházíme ze zkušeností a poznatků, které jsme získali zhodnocením 6 vlastních taveb a 15 taveb, jejichž výsledky byly převzaty z literatury (18). Modelem pro naše vlastní pokusy se staly rekonstruované varianty sudické pece (3. a 4. stol.) olomučanské pece (10. a 11. stol.).

Pro pokusné tavby bylo společné jejich rozdělení na čtyři údobí: 1/ zapálení a přehřívání pece zaplněné pouze dřevěným uhlím, 2/ rovnoměrné přísazování vsázky železné rudy a dřevěného uhlí, 3/ hoření pece doplňované pouze dřevěným uhlím, 4/ samovolné dohořívání paliva přirozeným tahem a vyjmutí železné houby (lupy). V údobích 1 až 3 byl dmýchán do pece vzduch jednou až dvěma dyznami. Rozhodující význam pro reprodukovatelnost pochodu mělo 2. údobí.

Výsledky pokusů byly vyhodnoceny tak, že bylo využito teorie fyzikální podobnosti ve spojení s rozměrovou analýzou (16, 17). Jako základní parametry byly vzaty v úvahu: průměr šachty v úrovni dyzen  $d$  (m), výška šachty od úrovně dyzen  $h$  (m), rychlost hoření dřevěného uhlí  $w_p$  /kg.s<sup>-1</sup>/, rychlost průchodu železné rudy šachtou  $w_r$  /kg.s<sup>-1</sup>/, rychlost tvorby železné houby  $w_{Fe}$  /kg.s<sup>-1</sup>/, doba rovnoměrného chodu pece ve 2. údobí /s/, teplota v definovaném místě pece  $T$  /K/, součinitel přestupu tepla z pece do okolí /kg.s<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>/, výhřevnost dřevěného uhlí  $c_p$  /m<sup>2</sup>.s<sup>-2</sup>/, teplo uvolněné nepřímou redukcí železné rudy  $c_r$  /m<sup>2</sup>.s<sup>-2</sup>/ a jako korekční parametr byl zaveden relativní železa v rudě vztažený k Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -  $b_r$  /pro hematit je  $b_r = 1$ /.

Vztah mezi 10 parametry, jejichž obecné rozměry lze vyjádřit pomocí 4 základních rozměrů (m, kg, s, K), je možno podle - teorému nahradit vztahem mezi 10 - 4 = 6 kritérii podobnosti:

$$w_{Fe}/w_r ; b_r w_r c_r / T d^2 ; w_p c_p / T d^2 ; w_p/w_r ; h/d ; c_p^2/d^2 .$$

Změny parametrů  $T$ ,  $c_p$  a  $c_r$  byly zanedbány a zpracováním dat pokusných taveb na počítači za předpokladu exponenciální závislosti výtěžku  $w_{Fe}/w_r$  na zbývajících kritériích byla získána rovnice

$$= 1,14 \exp - 0,148 d^2 / b_r w_r - 0,275 d^2 / w_p - 4,454 d/h - 0,00209 w_r / w_p - 0,0327 d^2 / c_p^2 \quad \text{dm, kg, h} \quad (1)$$

s koeficientem korelace  $R = 0,9226$  a testem adekvátnosti  $F = 17,16$  při 15 stupních volnosti. Jako významný se jeví vliv prvních tří kritérií na pravé straně rovnice (1).

Pro střední hodnoty kritérií v daném souboru  $d^2/w_r b_r =$

$= 2,45$ ,  $d/h = 0,240$ ,  $w_r/w_p = 1,41$  a  $d^2 / \dots = 1,85$  byl výtěžek podle rovnice (1) nahrazen jednoduchým vztahem

$$= 0,37 \exp - 0,38 / (w_p/d^2)$$

tj. závislostí na kritériu  $w_p/d^2$  /  $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$ , které v podstatě vyjadřuje tepelnou energii uvolněnou hořením paliva za jednotku času a připadající na jednotku charakteristického průřezu pece v úrovni dyzen. Průběh funkce (2) je spolu s experimentálními daty 21 taveb znázorněn na obr. 2. Ze zhodnocení experimentálních taveb plyne:

- pochod přímé výroby železa z rud v nadzemních šachtových pecích je za jinak stejných podmínek velmi citlivý na změny v geometrii pece a v režimu jejího chodu;
- postačující malé změny průměru pece a rychlosti hoření dřevěného uhlí (tj. v podstatě rychlosti dmýchání vzduchu), aby se významně změnil výtěžek pochodu, který buď poklesne (při zvýšení  $d$  a snížení  $w_p$ ) nebo se zvýší (při snížení  $d$  a zvýšení  $w_p$ );
- snížení výtěžku dává nízkou produktivitu pochodu, jeho zvýšení spojené se vzrůstem teploty zvětšuje pravděpodobnost výskytu surového železa (pig iron) v konečném produktu železné houby (lupy);
- na technologické nestabilitě pochodu (vyjádřené např. vysokou hodnotou derivace  $\dots / (w_p/d^2)$ ) patrně nic podstatného nezměnila skutečnost, že se ve feudalismu přešlo k rozměrným dmýchačkám s měchy poháněnými vodní silou;
- technologická stabilita pochodu se významně zvýšila teprve u dřevouhelných a později u koksových vysokých pecí, které jsou charakterizovány několikanásobně větší hodnotou  $w_p/d^2$  a nízkou hodnotou derivace  $\dots / (w_p/d^2)$ ;
- např. podle Quadrata (19) pro vysoké pece padesátých let tohoto století je  $w_p/d^2 = 7,62 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$  při  $\dots = 0,43$  (obr. 2);
- je možno usoudit, že hutníci vyrábějící železo v nadzemních šachtových pecích (3. a 4., popř. 10. a 11. stol.) pracovali s mimořádným citem pro vnitřní dynamiku procesu, vytríbeným zkušenostmi mnoha generací, který se promítal do přesného dodržování rozměrů pecí, přípravy vsázkových surovin a režimu celého procesu od zapálení pece, přes její účinný chod až po vyjmutí a zpracování železné houby.

## Literatura

- 1/ Kořan, J.: Staré české železářství. Práce, 1946.
- 2/ Ploiner, R.: Základy slovanského železářského hutnictví v českých zemích. NČSAV, Praha 1958.
- 3/ Grolich, V.: K historii hutnictví na Adamovsku. "In" K dějinám metalurgie na Moravě. TM, Brno, 1972, s. 58-62.
- 4/ Souchopová, V.: Slovanské železářství na Blanensku. "In" K dějinám metalurgie na Moravě. TM, Brno, 1972, s. 50-53.
- 5/ Pleiner, R.: Počátky šachtové pece v evropském pravěku. "In" Z dějin hutnictví. NTM, Praha, 1975, s. 77-84.
- 6/ Souchopová, V.: Nález hutnické dílny v Olomučanech. "In" Sborník OVM v Blansku, 5, 1973, s. 75-84.
- 7/ Grolich, V. - Souchopová, V.: Užití geofyzikálních měření při zjišťování lokalit železářských pecí. "In" Z dějin hutnictví. NTM, Praha, 4, 1977, s. 13-24.
- 8/ Pleiner, R.: Šíření železa do Evropy. "In" Z dějin hutnictví. NTM Praha, 5, 1979, s. 7-12.
- 9/ Souchopová, V.: Hutnické pece z velkomoravské dílny v polesí Olomučany na okrese Blansko. "In" Z dějin hutnictví. NTM Praha, 10, 1981, s. 14-25.
- 10/ Souchopová, V.: Velkomoravská dílna v polesí Olomučany. "In" Sborník OVM v Blansku, 10, 1978, s. 10-16.
- 11/ Ludikovský, K. - Souchopová, V.: Extenzivní hutnické centrum v Sudicích na Malé Hané. "In" Sborník OVM v Blansku, 10, 1978, s. 23-46.
- 12/ Souchopová, V.: Objev hutnických dílen z 8. století n.l. na Olomučansku. "In" Sborník OVM v Blansku, 12, 1980, s. 47-52.
- 13/ Pleiner, R.: Otázka přímé výroby ocele v protohistorické technice. Kovové materiály, 4, 1966, č. 2, s. 208-218.
- 14/ Jeníček, L.: Metal Founding through the Ages on Czechoslovak Territory. ČSVTS - NTM, Praha, 1963.
- 15/ Cenek, M. - Bezděk, L. - Stránský, K. - Souchopová, V.: Přímá výroba železa z rud na Blanensku. "In" Knižnice odborných a vědeckých spisů VUT v Brně, B/61, 1975, s. 79-85.
- 16/ Stránský, K. - Souchopová, V. - Ludikovský, K.: Pokusné tavby s přímou výrobou železa z rud v šachtových pecích na Blanensku. Slévárenství, 26, 1978, č. 11, s. 464-467.
- 17/ Stránský, K.: Teorie fyzikální podobnosti aplikovaná na pochody přímé výroby železa z rud v šachtových pecích. "In" Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami. TM, Brno, 1982, s. 108-116.
- 18/ Tylecote, R.F. - Austin, L.N. - Wraith, A.E.: Iron smelting experiments with an shaft furnace of the Roman period. "In" Die Versuchsmelzen und ihre Bedeutung für die Metallurgie des Eisens und dessen Geschichte. Schaffhausen, Prag, 1973, s. 25-49.
- 19/ Quadrat, O.: Základy metalurgie železa. SNTL, Praha, 1953, s. 50.