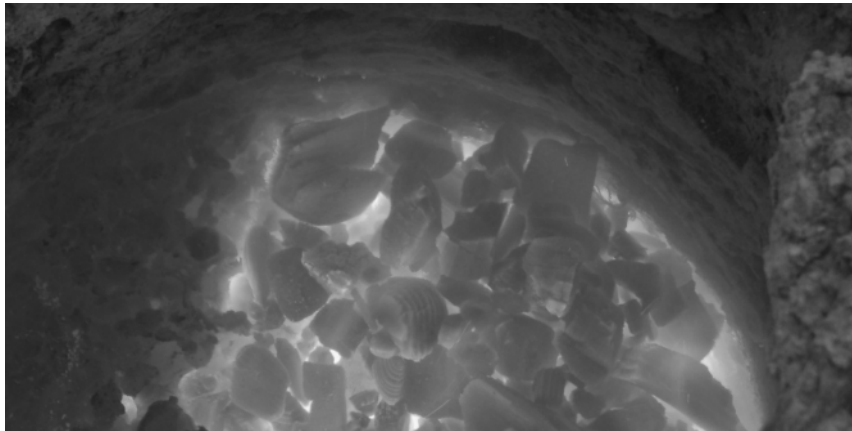


Střední odborná škola
Střední odborná škola odborná činnost 2007/2008

Obor 9 - strojírenství, hutnictví, doprava a průmyslový design

REKONSTRUKCE PRAV KÉHO HUTNICTVÍ ŽELEZA



Autor práce:
Jiří Kmošek
SUPŠ a VOŠ Turnov,
Skálova 373, 511 01
2. ročník

Konzultant práce:
PhDr. Jiří Merta
TM Brno



Prohlašuji tímto, že jsem soutěžní práci vypracoval zcela samostatně a uvedl jsem v seznamu literatury veškerou použitou literaturu a další informační zdroje včetně internetu.

V Sebranicích dne 18.5.2008

.....

Annotation

Kmošek, J. Reconstruction of prehistoric ferrous metallurgy.
Secondary vocational activity. Sebranice, 2008.

My work deals with reconstruction of working procedures of iron in prehistoric times. It describes a brief technological and historical development of metallurgy in Europe. My own metallurgical experiments of reconstructed prehistoric iron furnaces are given in more detail.

Anotace

Kmošek, J. Rekonstrukce pravěkého hutnictví železa.
Středoškolská odborná činnost. Sebranice, 2008.

Práce se zabývá rekonstrukcí výrobních postupů železa v pravěku. Popisuje stručný technologický a historický vývoj hutnictví v Evropě. Detailně zde jsou popsány vlastní metalurgické experimenty v rekonstruovaných pravěkých železářských zařízeních.

Tato práce by měla posloužit dostatečně pozornému diváku k osvojení základních vědomostí o pravěkém železářství a zejména svou praktickou stránkou přispět vědcům při řešení problematiky pravěkého hutnictví .

Obsah

I. HISTORICKÝ VÝVOJ ŽELEZÁŘSTVÍ	6
Vznik železářství	6
Počátky železářství v českých zemích v době halštatské	7
Laténské železářské hutnictví	7
Vývoj hutnictví od změny letopočtu po současnost	8
II. SUROVINY UŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ ŽELEZA	11
Železné rudy	11
Palivo starých železářů	14
Problematika umělého přívodu vzduchu do pecí	19
III. VÝROBA ŽELEZA PŘÍMOU A NEPŘÍMOU METODOU	21
IV. POKUS O REKONSTRUKCI VÝROBY ŽELEZA V NĚKTERÝCH TYPECH PRAVĚKÝCH PECÍ	23
Pokusné tavby v miskovitých zahloubených pecích	23
Pokusné tavby v šachtových pecích typu Podbořany	27
Rekonstrukce hutnictví železa v pravěku	33
Seznam použité literatury	39
PŘÍLOHY	40

I. HISTORICKÝ VÝVOJ ŽELEZÁŘSTVÍ

V této kapitole bych rád stručně nastínil historický vývoj železářství, zaměřený především na vznikající a rozvíjející se hutnické řemeslo, s přihlédnutím ke kulturní civilizací změnám před letopočtem na našem území.

Vznik železářství

Prvotní železo se vyrábělo za poměrně nízkých teplot přímo rudy a nezkoumáním tekutého železa, jak je tomu dnes.

Výroba železa ale předcházela zaběhnutá výroba a zpracování mramří a jejich slitin, která má v Evropě kořeny již na sklonu *eneolitu*, ale předtím však již v 7. až 5. tisíciletí př. n. l. některé kmeny na Předním východě tuto technologii ovládaly. V průběhu doby bronzové se začala projevovat vyčerpanost dosud známých ložisek, což byla jedna z příčin, proč se lidé začali ohlížet po jiném kovu, který by uspokojil stále se zvyšující poptávku. Na základě velice ojedinělých nálezů lze předpokládat, že první setkání člověka s kovovým železem, nastalo již dávno před rokem 3000 př. n. l., na území ve východním Středomoří. Zpočátku se jednalo hlavně o železo meteoritické (charakteristické vysokým obsahem niklu), které železo náhodně vyrobené. V 3. a 2. tisíciletí př. n. l. začaly pracovat první železářské pece v Přední Asii a Anatólii, kdy se jednalo především o zbraně a předměty mimořádného významu. Vznik železářství je úzce spojen se zaběhnutou technologií výroby mramří, kdy tavbou sulfidických rud (CuFeS_2) vzniká železo jako vedlejší, odpadový produkt. K oddělení obou technologií došlo ke konci 2. tisíciletí př. n. l., kdy se v objevují v 12.-11. st. př. n. l. železné zbraně i výjimečně zemědělské nářadí, ale stále se jedná o okolí východního Středomoří. Otázka, kde vznikla metalurgie železa, je stále nezodpovězená, zda-li se objev uskutečnil na jednom místě kulturního dějiště, či zda se jedná o jev polygenetický. Do Evropy se znalost výroby železa dostávala přes Středomoří, Makedonii, dnešní severní Jugoslávii a do východních podhůří Alp, odkud se pak volně šířila do ostatních částí střední a severní Evropy. Do střední Evropy se znalost zpracování železa dostala až v halštatském období, okolo 8. st. př. n. l.

Počátky železářství v českých zemích v době halštatské

Do českých zemí se znalost metalurgie železa šířila z podhří Alpy, kde byly výhodné podmínky pro pokusy s výrobou nového kovu, především velké rudné zásoby norických hornů. Nejprve se museli evropští hutníci přizpůsobit změně výrobní technologie, především správnému zpracování železné rudy a zpracování polotovaru v pevném stavu do *houbovitého útvaru*. Ovládnutí technologie znamenalo vítězství kovu a jeho pozvolné rozšíření. Nejvážnějšími odvětvími byly zbrojnické a vlivné vrstvy, kde se jednalo především o ozdobné předměty a zbraně. Do křesťanských a zemědělských národů kov pronikal velice sporadicky. Tavení mohly probíhat jednak v nízkých nadzemních šachtových pískách nebo v prostých výškových objektech. Ke kovodělným kmetům, jako je šperkárství a slévárství, přibývalo nově i kovářství železa, které s sebou přineslo i nové technologie zpracování kovů. Především je to *cementování* a kovářské *svařování* v ohni. Cementování se uplatňovalo u předmětů vysoce mechanicky namáhaných, jelikož železo, vyráběné přímou cestou primitivním způsobem v jámových výhních, nemělo možnost získat v takovém množství uhlíku. Dalo se tak až sekundárně, opakovaným vyhíváním v dřevěném uhlí při teplotě 800 – 900°C, kdy byl kov opatřen vrstvičkou s vyšším obsahem uhlíku schopnou *kalení*.

Laténské železářské hutnictví

Keltská expanze ve 4. st. př. n. l., která v mnoha oblastech přinesla zvýšení počtu obyvatel a jisté výrobní vzepjetí, předpokládala alespoň minimální materiální zabezpečení. To byl krok k masovému rozšíření železných předmětů do téměř všech křesťanských i bojových činností. Rozkvět keltského kmetství, zejména v poslední fázi dojde Keltů v středoevropském prostoru, lze vysvětlit výrazným přiblížením expandujících Keltů na pouti Evropou, zejména s jejich koloniemi.

I keltské slévárství bronzu přetrvalo a dosáhlo vrcholné dokonalosti, hlavně ve výrobě šperků a uměleckých předmětů. *Nejdůležitějším kmetem se stalo však kovářství, jehož výrobky se staly nedílnou součástí života Keltů*. Výrobu železa prováděli hutníci ve dvou typech šachtových pecí doložených archeologickými nálezy (Pleiner). U nás typ východokeltské se zahloubenou nýstí (viz. obr. 12., nebo

v kapitole 4.) Železo vyráběly redukcí oxidických rud, získávaných především formou povrchové těžby. Laténské železné výrobky se rozšířily téměř do všech obor lidské činnosti, od zemědělství (kosačky, srpky, radlice, rýče...), přes zemědělské nářadí (sekery, kladiva, pilky, pilníky, dláta...), až po zbraně. Umenění a zkušenosti keltských kovářů, především tavičů a kovářů, dosáhly již takové úrovně, že značně ovlivnily veškerou železářskou výrobu v dobách pozdějších.

Vývoj hutnictví od změny letopočtu po současnost

Římské železářství

Po změně letopočtu se začaly vytrácet ucelené keltské kmeny a rozsáhlé sídlištní aglomerace a došlo k určení splynutí keltského lidu ke skupinám o stejném civilizačním stupni vývoje (germánské a římské kmeny). Lidé v českých zemích se soustředili k vesnickému osídlování a shlukování v menších osadách, kdy ke každé náležela alespoň jedna malovýrobní hutnická a kovářská dílna. Zkušenosti v kovářství a hutnictví do jisté míry přetrvávají podle silně zažitého vzoru keltských kovářů. Redukce byly prováděny v několika typech zařízení. Jednak v polozahloubených pískách, podobných keltským, dále v jámových zahloubených pecích anebo ve volně stojících šachtových pecích, které jsou známy z archeologických nálezů.

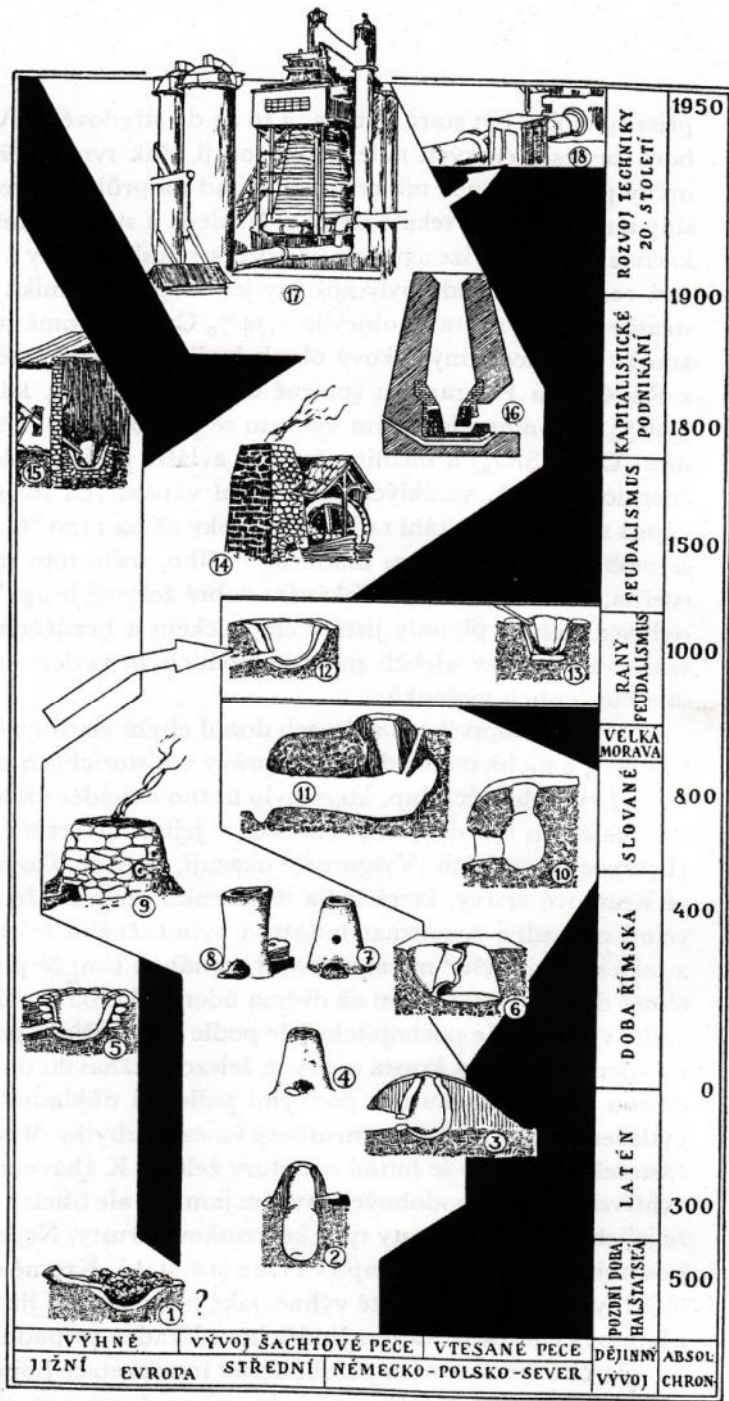
Slovanské železářství

Po urovnání poměrů v kmenové příslušnosti populace po dobrotování národů v Evropě, byly někdy v 5. – 6. století osídleny naše země západně a východně slovanskými kmeny. Slovanští mistři byli schopni zásobit všechny obory lidské činnosti množstvím železných předmětů. Železáři, kteří pracovali již v plně organizovaných hutích (Želechovice), se stávali odbornými kováři. Hutě byly zakládány v blízkosti surovinových zdrojů a nejprve pracovaly s typem vtesané železářské pece (viz. obr. 1. uprostřed). Pomalu se rozvíjel obchod s železnými polotovary/hutinami nebo již hotovými výrobky. Takto rozvinutý hutnický „prmysl“ byl v tomto období jedním z předpokladů zdárného rozvoje feudálních vztahů v českých zemích.

Vývoj hutnictví od změny letopočtu po současnost

Hutnictví bylo klíčovou složkou v soustavě výroby železa a v této době již na něm závisel pokrok v mnoha oblastech hospodářství. Ve 13. až 16. století v různých částech existovalo na 250 železných hutí. V tomto období již lze hovořit o organizaci, ekonomice a obchodu se železem a je to také období vznikajících hamrů (od počátku 14. st.). Koncem 16. st. se u nás začínají objevovat vysoké pece, které pracují na principu nepřímé redukce, kdy konečný produkt již není houbovitý, ale ve stavu tekutém s vyšším obsahem uhlíku, nazývaný surové železo (litina). V důležitějších podmínkách se surové železo upravovalo zkujováním, tzv. *svákováním*, kdy bylo vystavováno vysokému stupni oxidace v ohništích a vznikalo kujné železo, nebo-li v dnešní terminologii ocel. V 19. století došlo k velkému rozmachu a koncentraci hutnictví, rušení malých a ojedinělých pecí a výstavbě velkých hutí, využívající již plně nepřímou výrobu železa.

18. Rotační troubová pec na přímou výrobu železa (Králov Dvůr)
17. Vysoká pec s cowpery
16. Dřevouhelná vysoká pec s otevřenou hrudí (Adamov 1793)
15. Katalánská výheň ve francouzských Pyrenejích, 19. stol.
14. Štýrská kusová pec s vodním pohonem dmychadel
13. Redukční výheň z Kleivseteru (Norsko), doba vikinská až 15. stol.
12. Redukční výheň z Hofu (Westerwald), časný středověk
11. Vtesaná pec s umělým přívodem vzduchu (Želechovice, Morava), hranice 8.-9. stol.
10. Vtesaná pec z Prahy-Košíř
9. Římská šachtová pec s kamenným pláštěm, (Lölling, Noricum)
8. Nadzemní pec jílová z Lodčnic u Berouna, doba římská
7. Nadzemní pec jílová s přirozeným přívodem vzduchu (Netřebo, Čáslavsko), doba římská
6. Zahloubená konická pec ze Slánska
5. Římská tavicí výheň z Hüttenbergu (Noricum)
4. Šachtová nadzemní pec s jílovým pláštěm z Prahy-Podbaby (VII), doba římská
3. Vestavěná větrná pec z Vyklic (II), doba laténská
2. Pec se zahloubenou nístějí typu Podbořany, doba laténská
1. Předpokládaná tavicí výheň se struskovým obložním (srov. Králová u Litovle), doba halštatská



Obr. 1 Vývoj železářských zařízení (podle R. Pleinera 1958)

II. SUROVINY UŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ ŽELEZA

Železné rudy

Železná ruda a její druhy

Pod obecným pojmem ruda se rozumí hornina o takovém množství kovu a chemické vazbě, která je vyhovující pro využití v hutnictví.

Rudy se soustřeďují v místech, která nazýváme *rudnými ložisky*. Ta se podle vzniku dělí na *magmatická*, *hydrotermální*, *žilná*, nebo *sedimentární*. Dále železné rudy vhodné pro průmyslové hutnictví dělíme podle toho, v jaké podobě je v nich železo obsaženo, na rudy *oxidické*, *kemičtí* a *uhlíkaté*. Pro stavby v dřívějších primitivních zařízeních byly nejvhodnější a nejsnáze redukovatelné rudy *oxidické*. Stručně uvedeme některé druhy železných rud, které jsou vhodné pro využití v průmyslovém železářství.

Hematit (krevet) Fe_2O_3

- snadno redukovatelná ruda, tmavě červené až ocelově šedé barvy
- spolu s $\text{Fe}(\text{OH})_3$ jsou považovány za nejdostupnější a nejsnáze redukovatelné rudy, uplatnila se jako základní surovina pro staré hutníky ve všech historických obdobích
- vyskytuje se v přírodě s 40 – 65 % Fe a malým množstvím dalších prvků

Limonit (hnědel) $\text{Fe}(\text{OH})_3$

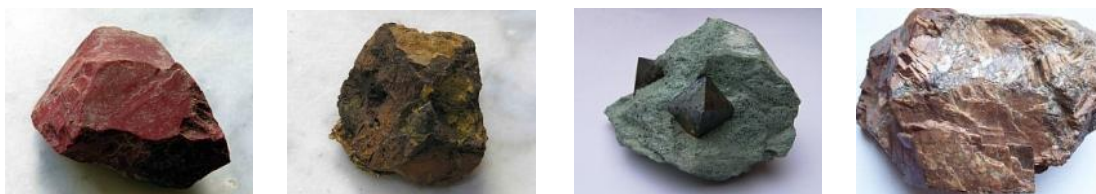
- velice snadno redukovatelná ruda, rezavé až hnědé barvy
- některé druhy hnědel vznikají usazováním železitých vod, kdy se vytvářejí tzv. **bahenní rudy**, které jsou velice bohaté na železo
- obsahuje 28 až 45 % Fe, jinak je složení velmi rozmanité

Magnetovec (Magnetit) Fe_3O_4

- tato ruda se redukuje velice neschopně, charakteristický je svým černým zbarvením a magnetickými vlastnostmi
- obsahem je nejbohatší ruda na železo, 55 až 68 % Fe, s malým množstvím dalších prvků

Ocelek (Siderit) $\text{Fe}(\text{CO})_2$

- ruda žlutého až našedivlého zbarvení s obsahem 25 až 40 % Fe a malým množstvím manganu a fosforu
- redukce sideritu není obtížná, je-li předem vypražen za přítomnosti vzduchu



Obr.2.,3.,4.,5. Charakteristické ukázky železných rud. Zleva doprava – Hematit, Limonit, Magnetovec, Ocelek.

Výskyt a dobývání železných rud

Nejprve je nutné si uvědomit, že stačí hutníci se neomezovali pouze na námi známá naleziště železných rud. V současné době je území České Republiky pokryto velkým množstvím povrchových nalezišť železných rud, která jsou pro potřeby současného hutnictví již nevhodná z důvodu absolutní vyčerpání bohatších ložisek. V dřívějších dobách hrála tato naleziště nepochybně velkou roli. S odstupem doby se stačí železáři potýkali se stejným problémem jako my dnes, a to s nedostatkem bohatších zdrojů železných rud. Při řešení tohoto problému dávali přednost zpracování železa z chudších rud, nacházejících se v blízkosti jejich produkce, před dálkovým exportem z lokalit s bohatší rudou. V opačném případě by bylo mnohem snazší expedovat vytavené polotovary i finální výrobky.

V pravděpodobně byly železorudné suroviny pro většinu hutnické dílny získávány především formou povrchové těžby, výjimkou jsou v Evropě známy i doklady podzemní těžby. Železáři s velmi nízkou produkcí si surovinu obstarávali i formou povrchových sběrů vhodné horniny. Důležitostí se rozumí namáhavé dobývání železných rud ražením jednoduchých jam a štol s použitím naprosto primitivních železných nástrojů a přirodních inítel. Na území ČR není doložen žádný případ hlubkové důlní těžby, ale zato máme bezpečně potvrzenou těžbu v místech povrchových oxidací pásů nebo železorudných výchozů. Dokladem této

povrchové t žby jsou rozměrné jámy, nejstarší archeologicky doložené z období latěnu.

T žba v takovémto prostředí nebyla nijak namáhavá, jak jsme měli možnost si sami vyzkoušet. Povrchovou t žbu jsme provedli na jednom z mnoha povrchových výchoz železné rudy ve Skuhrově nad Bělou v Orlických horách. V lesním porostu vystupoval přímo na povrch výchoz velice navátralé železné rudy, vyznačující se charakteristickým zabarvením pudy. Jednoduchými prostředky (motykami, lopatami) jsme rudu natěžili a lehce přebrali od hlušiny. Obsah železa v těchto místních rudách nebyl vysoký, pohyboval se kolem 20 - 25 % Fe. Snadno přístupná ložiska bohatší na železo jsou v současné době v České republice v důsledku t žby trvající několik století již definitivně vyčerpána. Proto jsme nuceni při vlastních pokusech sáhnout po nabízených surovinách, které již ale nejsou autentická pro naše prostředí.

Úprava získané suroviny

Vytěžená ruda musela projít ještě úpravami určitého druhu, než se mohla redukovat v železářských zařízeních. Vždy bylo nejdůležitějším krokem při úpravě získané suroviny zbavit rudu veškeré hlušiny a rozdrtit rudu na menší části z důvodu lepší redukovatelnosti. Další důležitou metodou při současné obohacování železné rudy je její pražení.

Třídění rudy se provádělo s cílem odstranit ze získané horniny nežádoucí hlušinu (hlinité a kamenité složky). Třídění bylo prováděno jednak ihned na místě t žby nebo až po drcení na místě spotřeby.

Drcení rudy se provádělo před samotnou tavbou nebo až po samotném pražení, kdy ruda ztratila svou tvrdost. Velikost drceného koncentráту je úměrná velikosti výrobního zařízení. Optimální velikost se pohybovala od velikosti lískového ořechu, až po velikost drceného štrku. Na které železářny pracovaly i s rudou rozemílanou těmito na prach, ale v tomto případě hrozí nebezpečí zahlcení a znesnadnění průběhu tavy.

Pražení je přípravný proces na principu zahívání suroviny za přístupu nebo nepřístupu vzduchu. V současné technologii se pražení provádí s hlavním cílem usnadnit práci samotné peci a zmenšit výrobní náklady.

Samotné pražení má několik základních cíl :

- uvolnit uhlík a síru z rudy
- usnadnit redukovatelnost hutných a těžce redukovatelných rud
- zlepšit drtitelnost příliš pevných rud

S jistotou nelze říci, zda-li staří železáři užívali pražení jako základní metodu při výrobě železa nebo jen při samotném redukčním pochodu, kdy je ruda v n kterých případech vystavená podobným útokům jako při pražení.

Pokud k němu jakému obohacování rudy docházelo, dělalo se tak především cestou mechanické úpravy, než nějakým cíleným tepelným i chemickým procesem.

Palivo starých železářů



Obr.6. Ikonografie z roku 1540, znázorňující postup při výrobě dřevěného uhlí v uhelných jamách (podle Pleinera 1958).

S jistotou můžeme označit dřevěné uhlí jako jediné užívané palivo od nejstarších dob až do poloviny 19.st., kdy bylo ve vysokopecním průmyslu pomalu nahrazováno ekonomičtějším koksem.

Historie pálení dřevěného uhlí

Historie výroby dřevěného uhlí je úzce spjata se samotným vznikem metalurgie. Jako počátek výroby v různých zemích lze označit minimálně starší neolit, kdy se uplatňovalo zároveň se vznikající metalurgií železa.

O nejstarším způsobu pálení dřevěného uhlí nemáme příliš mnoho přesvědčivých důkazů, ale domníváme se, že proces zuhelnatění dřeva probíhal v zahloubených

válcových jamách (viz. obr. 7.) a uhlí si vyráběli sami hutníci pro své potřeby. Postup pálení v těchto **uhelných jamách** probíhal nejspíše tímto způsobem:

Nejprve se válcová jáma hluboká asi 1 m pod úroveň terénu zaplnila kletím a zbytkovým dřevným materiálem (pařezy, nahnilé dřevo...). Po zapálení dříví zvolna ho slo a po určité době byl přístup vzduchu zamezen uzavřením horního otvoru zeminou a omazáním hlínou.

V této izolované vrstvě mohlo být dále vytvořeno několik otvorů pro zlepšení regulace zuhelnatí dřeva.

Postupem času se hutníci naučili rozeznávat rozdílné vlastnosti dřev vhodných pro různé oblasti v tomto oboru. Při výrobě paliva do železářských pecí nejčastěji sahalo po tvrdém dřevu z listnatých stromů, které výrazně ovlivňovaly pochody v železářských záležitostech.

Rostoucí produkce železné výroby byla přímo závislá na dodávání velkého množství dřevného uhlí, tudíž se postupovalo k produktivnějším metodám výroby.

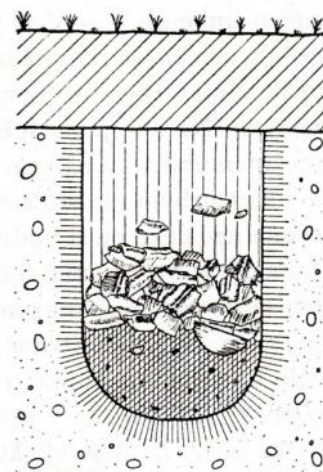
Ve středověku a na počátku novověku je z archeologických průzkumů potvrzena výroba dřevného uhlí v nadzemních *milířích*. Již se jednalo o činnost značně rozšířenou, přičemž značnou spotřebu dřeva znamenající velmi citelný zásah do přírodních zdrojů, projevující se velkým nedostatkem dřeva.

K samotné konstrukci milíře:

Obecně je milíř označován jako objekt ze svisle naskládaných polen kolem středového klu do kuželovité stavby, pokryté vrstvou drnů a mazanice. Pro názornost uvedu základní typy milířů, užívaných od středověku u nás i v zahraničí:

Milíř německý

Opisuje se dorys kruhu a tvar polokoule, kdy středem zemité podstavy milíře pozvolna převyšuje okolní terén. Středem celého milíře prochází svisle zaražené kůly, obložené snadno hořlavým materiálem, nejčastěji kletím. Této konstrukci se říká „*král*“ i „*knot*“. Kolem tohoto jádra milíře jsou natlačeno do kruhu svisle naskládaná polena v potřebném množství dřeva. Na toto vyrovnané dřevo následují



Obr. 7 Praha - Bubeneč, jámové uhlíště z doby laténské (podle B. Novotného)

další dvě izolací vrstvy složené z drn, mechu, chvojí a hlíny promíšené s *mourem* (uhelný prach).

Milíř slovanský

Konstrukce se velice podobá milířin meckému, ale liší se v několika dílech prvcích. Krále tvoří dvě polena zaražená do země v dostatečné vzdálenosti vůči sobě a dosahující pouze výšky první vrstvy narovnaných polen. Slovanský milíř se zapaluje oproti meckému zespodu pomocí zápalného kanálu, vzniklého dodatečným vytažením příného polena.

Milíř alpský

Milíř stojí na základně z paprskovitě poskládaných polen z jehličnanu, přes které se dále přichází paprskovitě vrstvy zbývající polena. Krále bývá sestaven ze tří typů procházejících celou výškou milíře. Zapálení může probíhat jak spodními kanálky, tak i obdobně jako u meckého typu vsypáním žhavých uhlíků do svrchní části krále.

Doba pálení milíře je závislá na velikosti stavby. Etnografické údaje udávají, že doba zuhelnění se u menších milířů o velikosti 2 - 4 m pohybuje od 3 do 7 dnů a u větších milířů o rozměru 5 - 10 m okolo 8 až 15 dnů.

Proces výroby dřevěného uhlí

Pálení dřevěného uhlí, označováno také jako pyrolýza nebo suchá destilace, představuje jednoduchý chemický proces, při němž zahíváním dřeva bez přítupu vzduchu dochází k uvolnění vody, vzniká CO_2 a množství dalších plynů.

Reakce začíná při **270°C**, kdy dřevo zpočátku hoří za plného přítupu vzduchu. V této fázi je přítok vzduchu omezen na minimum. Do **300°C** je reakce velmi rychlá, vzniká až 75% produktu. Při teplotě **350 - 400°C** vzniká už jen malé množství zuhelnatělého dřeva, tedy dřevěného uhlí.

Kvalitu dřevěného uhlí ovlivňuje několik důležitých faktorů:

Dřeva vhodná k zuhelnatění by měla být z listnatých dřevin středního stáří a starších jehličnatých, kácených mimo vegetační období. V milířině by nemělo dojít k smušování různých druhů dřevin z důvodu rozdílné rychlosti při zuhelnatění. Obecně platí

pravidlo, že čím je mílí v tšší, tím je v tšší množství i kvalita uhlí. Kvalitn vypálené dřevné uhlí by nemlo ho et plamenem, produkovat dým a ěrnit.

Zárove s výrobou dřevného uhlí vzniká v mílí i i **dehet**, který je vedlejším produktem výroby. V minulosti se hojn používal na impregnaci odv a obuvi, upravování k Źe, impregnaci dřevných sou ástek a pro mnoho dalších všedních operací.

Pokusné pálení dřevného uhlí v mílí

Ve dnech 14.8.-19.8.2007 jsme realizovali ve st edov kém archeoskanzenu **Villa Nova v Uh ínov pod Deštou** v Orlických horách pokusné pálení dřevného uhlí v mílí i s cílem vytvo it dostate nou zásobu dřevného uhlí, které bychom následn využili v r zných metalurgických pokusech.

Pro pálení jsme zvolili typ mílí e, který obsahoval díl í konstruk ní prvky ze všech t í zmín ných mílí (n mecký, slovanský a alpský). K dispozici jsme m li pouze bukové dřevn kolika m sí ního stá í a jehli naté dřevn velkého stá í o r zné kvalit . Z nedostatku paliva jsme sáhli po rozdílném druhu dřevin, celkem to bylo cca **5 m³** proschlého dřeva. Pokusného pálení se zú astnilo 6 osob p edevším z rodinného kruhu. Mílí jsme zakládali na p íhodném, nev trném, mírném svahu na míst , kde již d íve prob hlo n kolik výpal mílí .



Obr.8. ez mílí em, jehož p íbližné konstrukce bylo použito p í pokusném pálení v srpnu 2007.
1. um le vytvo ená pracovní plošina; 2. kuželovitá hlinitá podstava; 3. tve ice ty í vytvá ející „krále“; 4. snadno ho lavá výpl „krále“; 5. - 7. jednotlivé vrstvy poln (v našem p ípad pouze dv); 8. drnový kryt; 9. kryt ze sm si hlíny a mouru; 10. umíst ní spodních vzduchových kanálk .
(podle B. Dragouna)

1. den – Základním bodem bylo vyty ení uhlíšt o pr m ru 230 cm, se st edovým terénním náb hem ve tvaru kuželu, p evyšující okolní terén plošiny o 25 cm.

V dopoledních hodinách byl vztyčen „král“, následovně zaplněn klestím, a započato pokládání píleho paprskovitého roštu a vystavení dvou protilehlých vzduchových kanálků. V průběhu celého dopoledne dva lidé zajišťovali kopání tvercových drnů (30x30 cm) a dopravovali je na kolečku ze vzdálenosti 70 m. Zároveň s nimi jeden člověk transportoval jílovitou hlínu z nedalekého „hliníku“ a průběžně vždy jeden člověk štípal špalky na poloviny nebo třetinovou velikost o délce 90 cm. Naskládání dřevnatého a svisle ve dvou řadách trvalo dvěma lidem cca 3 h. Během následujících hodin pokrylo 6 lidí povrch celého míle vrstvou drnů o přibližné síle 15 cm, kdy se postupovalo od spodní části směrem nahoru, a hlínou promíšenou s uhlíovým prachem se ucpali veškeré otvory vzniklé mezi položenými drny.

2. den – Okolo 5. hodiny ráno byl s východem slunce míle zapálen pomocí vsypaných žhavých uhlíků do svrchní části krále. Během 1 hodiny se ohe rozšířil až do spodních partií a z celého pláště míle se mezerami valil hustý štiplavý dým. Po 1,5 hodině od zapálení míle byl vyhořelý král zaplněn poleny a ve vrchní části ucpán drnem. V této chvíli vnikal vzduch do míle hlavně spodními kanálky, kde se dle potřeby reguloval. Tato fáze pálení, kdy se z míle valil hustý kyselý dým, se nazývá *pocením míle*. Toto trvalo přibližně 12 hodin.

V poledních hodinách se začala prudce naklánět severní strana míle, což zapříčinila příliš mohutná polena na okrajích. Destrukci části míle jsme zabránili okamžitým podepením špalkem a utěsněním vzniklých otvorů hlínou a drny. Úhel naklonění se v průběhu pálení již nezvyšoval. Po dobu noční části výpalu se držely hlídky, které kontrolovaly proces pálení.

3. den - Intenzita kouře se snížila na minimum a spolehlivým indikátorem pálení nám byl charakteristický zápach, vznikající při pyrolýze dřeva. Velice důležitá při pálení byla pravidelná kontrola teploty v míli, která byla dobře patrná při kontaktu s pláštěm. V místech, kde byla teplota nízká (nejvíce ve spodní části míle), se prorazily rovným klackem díry, kterými vnikal do míle vzduch a napomáhal rovnoměrnému rozložení teploty.

V odpoledních hodinách se ze svrchní části míle odebralo zkušební množství dřevného uhlí (cca. 30 kg) pro potřebu tavby v hutnickém zařízení. Většina z odebraného množství byla rovnoměrně připravená na kvalitní dřevné uhlí, až na několik silnějších koncových částí polen, které neměly možnost zuhelnat. Velikost míle klesla na $\frac{1}{2}$ původní výšky.

4. den – Stav milí e nem nný, ho ení bylo usm r ováno otvory v plášti, milí slab namodrale dýmal a charakteristicky zapáchal. Mezery vzniklé vypálením d eva jsme mechanicky zmenšovali, aby se zabránilo náhlému propadnutí plášt .

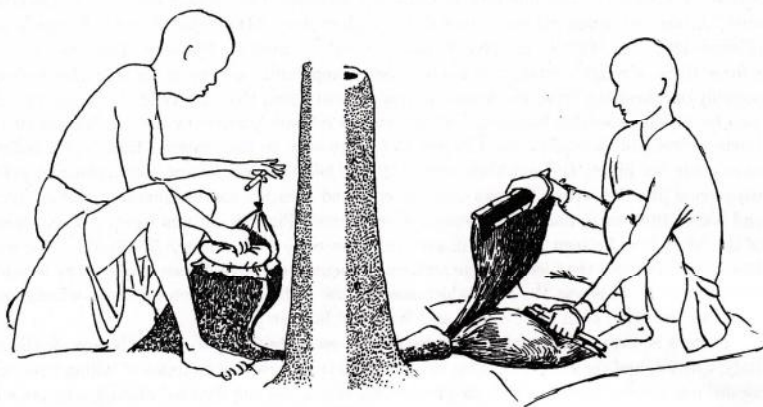
5.den – Milí poklesl na $\frac{1}{3}$ po áte ní výšky.

V 11 hodin jsme se rozhodli pokus ukon it odstran ním drnové a hlinité vrstvy a rozhrnutím vzniklého uhlí do stran. Místa, kde docházelo k vznícení d ev ného uhlí, byla kropena vodou. V odpoledních hodinách byly z vychladlého uhlí vyt íd ny nevypálené kusy d eva a následn bylo lehce navlhlé uhlí s malými zbytky zeminy napytlováno.

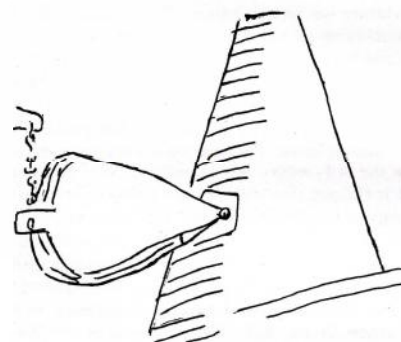
Celkem bylo vypáleno **240 kg** d ev ného uhlí, což se p ibližn rovná asi 1,5 m³ a 30% výt žku. Toto množství d ev ného uhlí by p ibližn sta ilo na uskte n ní 15 hutnických pokus s výrobou železa v menších šachtových pecích.

Problematika umělého přívodu vzduchu do pecí

Podmínkou správného pr b hu tavby je nutnost neustálého um lého p ívodu proudu vzduchu do výrobního za ízení. Vzduch byl ve v tšin p ípad pravd podobn do pecí p ívád n pomocí r zných typ m ch . Bohužel na evropské p d nejsou žádné evidentní archeologické nálezy m ch , užívaných v prav kých a st edov kých železá ských za ízeních pro dodávání proudu vzduchu, ze kter ých bychom mohli p i rekonstrukci výrobních pochod vycházet.



Obr. 9. Tradiční měchy. Vlevo: bubínkové měchy, Matakamští železáři, Z. Afrika. Vpravo: jedna z možností použití vakových měchů (Podle Pleinera 2000).



Obr.10. Úsov, Morava, harmonikový měch na ikonografii z roku 1613 (Podle Pilnáčka 1926).

Inspiraci můžeme hledat u domorodých afrických kmenů, kdy ještě v polovině minulého století pracovaly jejich primitivní železářny s typem bubínkového mchu (obr. 9 vlevo). Hrnčovitý mch byl složený z keramické a dřevěné nádoby s nabraným vzduchem. Ten byl vyhnán na spodku mchu skrze hlinitý tunel směrem do pece stídným tlakem na kožené víko nebo blánu, napnutou přes její vršek. Další možností mohou být klapkové harmonikové mchy (obr. 10.), které byly zavedeny v Evropě, ale až v období římském, jak ukazuje ikonografie. Na která zařízení mohla pracovat na principu přirodního zdroje vzduchu. Byla-li pec postavena na příhodném vrtném svahu, mohl vzduch do pece proudit v těsných otvory přídru zařízením. Byl tak velice jednoduše a bez námahy zajištěn pravidelný přísun vzduchu.

Můžeme se domnívat, že pravěcí hutníci využívali jednoduchého vaku nebo mchu ze sešitých pár zvířecích kůže, kterými stídným tlakem a zdvihem obstarávali neustálý přísun vzduchu. Podobné zařízení jsme se pokusili vyrobit (viz. obr. 9 vlevo nebo v příloze 8. foto 1.) a následně jsme ověřili jeho funkčnost opakovaným uvedením do praxe.

V současné době při metalurgických experimentech zdomácnělo použití elektrických ventilátorů s konstantním přísunem vzduchu a výjimečně i použití ručního harmonikového mchu (viz. příloha 8, foto 2.).

Při vlastních metalurgických pokusech se snažíme preferovat použití ručních typů mchů, kdy je v těsné podobnosti přiblížit se národnosti a autentičnosti starých technologií.

III. VÝROBA ŽELEZA PŘÍMOU A NEPŘÍMOU METODOU

Metoda přímé výroby zahrnuje doposavad nejdelší časový úsek výroby železa z rud.

Obecně rozlišujeme redukci železa jako:

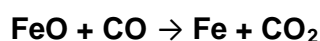
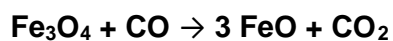
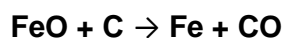
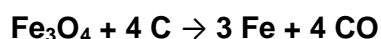
Redukce přímá – kdy reaguje uhlík s oxidy Fe za vzniku CO a

Redukce nepřímá – jako reakci CO s oxidy Fe za vzniku CO₂

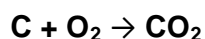
Jednoduše řečeno, v přímé redukci dochází přímo k výrobě železa a to tou nejkratší cestou. V moderní technice se většina železa vyrábí tavením rud v koksových *vysokých pecích*, kdy je hlavním produktem surové železo v tekutém stavu, ale s vyšším obsahem uhlíku (3 - 5 %) a nežádoucích prvků, které se s vysokou teplotou dostaly do železa. Tento produkt je velice tvrdý a křehký, proto se dále zpracovává v tzv. konvertorech metodou *okyslování* (oduhlíčení) na principu zpětné oxidace uhlíku a ostatních prvků, a výsledkem je kujné železo nebo ocel. Tato metoda se pro svou složitost nazývá *nepřímou redukcí*.

Redukuje-li se však ruda při nižších teplotách, nepřijde nikdy do tekutého stavu a pojme jen nepatrné procento uhlíku. Železo se po nějaké době tavení shromáždí v určité části pece a za příhodných podmínek se svaří v *železnou houbu*. Touto *nepřímou redukcí* bylo vyráběno železo od nejstarších dob, až do 16 - 17. st., kdy bylo nahrazeno produktivnějším vysokopecním procesem. Produkty získané přímou metodou jsou výborně kujné a obsahují minimální množství škodlivých prvků (mangan, fosfor, síra...).

Dále uvedu pouze základní vzorce procesů, které probíhají při redukci železných rud.



Proces výroby železa v pravých „*dýma kách*“ je popisován na základě principu přímé redukce. Ve skutečnosti má ale velký podíl na tvorbě železa i nepřímá redukce. Proces, který v peci probíhá, za účelem vzniku železa lze jednoduše popsat jako reakci železné rudy a redukčního média, v tomto případě CO_2 , který vzniká spalováním dřevního uhlí a uhlíku (probíhající pouze v malém okruhu hoření dřevního uhlí za nejnižšího přístupu vzduchu).



Při hoření dřevního uhlí za vysokých teplot vzniká oxid uhelnatý (viz výše), který při teplotě nad 600°C stoupá vsázkou a reaguje s kousky železné rudy za vzniku železa. I v místech nejnižší teploty (okolo 1350°C) zůstává železo po celou dobu v pevném stavu a k natavení dochází pouze v mikroobjemech.

Z toho vyplývá, že výsledkem je nikoliv tekoucí roztavený kov, ale nevzhledný spečenec částí kovu, strusky a zbytků paliva v pevném, tavitelném stavu, označovaný jako *železná houba*. Tento polotovár je nutné ještě dále kovásky zpracovávat, aby se odstranila nežádoucí struska a jednotlivé kousky železa mohly být kovásky svařeny do požadovaného polotovaru.

IV. POKUS O REKONSTRUKCI VÝROBY ŽELEZA V NĚKTERÝCH TYPECH PRAVĚKÝCH PECÍ

Velice podstatným krokem pro vytvoření ucelené představy o pravěkému hutnictví železa byla realizace několika metalurgických pokusů. Cílem bylo praktické seznámení se s omezenými prostředky starých želez a tímto primitivním způsobem vytvořit optimální prostředí pro vznik železa.

Podstatná část těchto metalurgických pokusů probíhala v areálu zahrady č.p.8 v Sebranicích, okres Svitavy, v časovém úseku červen - září 2007 a března - duben 2008. Součástí těchto letních metalurgických pokusů byly i další pra-archaické akce určené pro obeznámení veřejnosti s touto technologií. Probíhala stavba rekonstruované pravěké hrnčíkové pece a následná série několika výpalů na vyrobené keramiky nebo velice oblíbené pečení chleba v hliněné chlebové peci. O samotném hrnčíství nebo přípravě pokrmů v historických obdobích by se dala vypracovat samostatná obsáhlá práce. Tento letní projekt byl financován z projektu „*Make a Connection*“, určený pro vzdělávání a rozvoj mládeže a akce prospěšné okolí svého konání.

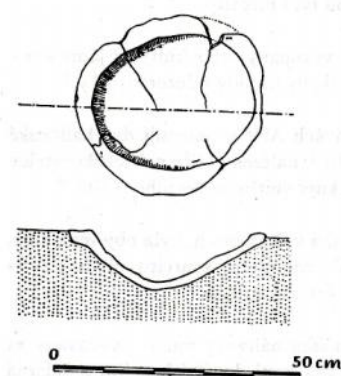
K realizaci samotných pokusů velkou měrou přispěly konzultace s členy sdružení „*Experimentální archeologie Věstary*“, jmenovitě Doc. PhDr. Radomír Tichý, Ph.D., Mgr. Richard Thér nebo s Mgr. Bohumírem Dragounem z archeoskanzenu Uhřetín pod Deštnou, ohledně železa s PhDr. Jiřím Mertou z Technického muzea v Brně.

Pokusné tavby v miskovitých zahloubených pecích

Jedním z neodmyslitelných způsobů výroby železa v Evropě je i ten nejstarší a nejprimitivnější v zahloubených miskovitých pecích (výhních) z doby Halštatské. Při našich tavbách jsme se řídili typem pece nalezeným na sídlišti Bylanské kultury v Praze – Hloubětín (R. Pleiner; 1958 str. 84.).

Konstrukce sepec nelší od vyívacích výhni používaných v n kolika následujících stoletích. Jedná se o zahloubenou kruhovou jámu, vymazanou žáruvzdorným materiálem, o průměru 35 cm a hlubokou 11 cm. S tímto typem jsme prozatím uskutečnili dvě zkušební tavby dne 15.3.2008 v areálu zahrady domu č.p. 8 v Sebranicích.

První série taveb (2 tavby) – tavba č.1. (dále jen T1) probíhala souběžně s T2 pro lepší porovnání rozdílností pochodu (viz. tabulka v příloze č.1.), zapíčině v prvníadě zvolením rozdílných zdrojů umělého přívodu vzduchu. U T1 byl zvolen jako zdroj vzduchu elektrický ventilátor o konstantním přívodu přibližně 45 l vzduchu za minutu (metoda orientace metodou zavzdušnění igelitového pytle při ústí zdroje vzduchu a následné změně objemu). U druhého pokusu (T2) posloužil jednokomorový kožený klapkový mch (příloha č.8., obr. 2.) o přibližném objemu 40 l a přerušovaném přívodu vzduchu (zapíčině dvoufázovým dmýcháním - nádech/výdech) přibližně 60 l vzduchu za minutu. Železoxidová vsázka sestávala při obou tavbách ze 2/3 Fe_2O_3 ve formě drcených pelet o 64% obsahu železa, získané ze slévárny ve Žďáru nad Sázavou a z 1/3 vytavenou struskou z předchozích taveb (viz. níže) s vyšším obsahem železa, získané z předchozích taveb v šachtových pecích, použité pro zlepšení struskotvorných vlastností. Rudná vsázka byla drcena na přibližnou velikost hráškového zrna. Palivem pro obě tavby posloužilo kvalitní dřevěné uhlí z tvrdého a měkkého dřeva, pálené v mlíci. Uhlí bylo před použitím drceno na velikost vlašského ořechu a vlhčeno vodou.



Obr. 11. Praha- Hloubětín; vymazaná miskovitá výheň z bylanského sídliště (podle B. Soudského 1953)

Stavba pícky probíhala v obou případech těsně před samotnou tavbou ze smíšené jílovito-sprašové zeminy s menší podílem písku a dřevouhelného mouru. Přívod vzduchu byl vyústěn pomocí keramické dyzny (keramická trubice) o vnitřním průměru T1=16mm a T2=12mm, zavedené přes okraj pícky pod úhlem 35° od roviny terénu a zasahující do 1/4 šířky pece. Tavba byla započata ve vlhké píce rozdáváním ohně a následným vysušením horkým dřevem a později uhlím. Doba předehřevu se pohybovala u T1 30 min. a T2 40 min. Se vsázkou železné rudy se započalo ve chvíli, kdy teplota rovnající se minimálně 850 °C (světle třešňově červená barva)

byla dobře pozorovatelná alespo ve 2/3 šíky pece. U T1 byla ruda vkládána ve 250 g dávkách po dobu 2 hodin o celkovém množství 2,25 kg. Jednotlivé vsázky rudy byly prokládány 250 g vlhkého devného uhlí. Při T2 vsázku tvoily stídav 100 g rudy a 250 g vlhkého uhlí po dobu 2,5 h v celkovém množství 1,8 kg železné rudy. Teplota vyšší než 800°C se držela pouze ve 2/3 šíky pece smrem od pívád ného vzduchu. V následující fázi za stálého pívodu vzduchu bylo pídáváno jen devné uhlí po dobu T1 4,5 h a T2 1,5 h. Vrstva uhlí pe vyšovala o 7 cm horní úroveň pece. Při nahlédnutí pomocí kovové tyky do prostoru uvnit pece byl v obou případech dobře pozorovatelný jakýsi t stovitý útvar, tvoící se v horní ásti pícky, ale na dn byly patrné drobné slitky ochlazované pívád ným vzduchem. Ke konci tavby, kdy vsázku tvoilo jen devné uhlí, se teplota rovnomrn rozložila po celé ploše pícky a byly dobře pozorovatelné namodralé plamínky vznícených kychtových plyn. Nutno podotknout, že teplota podle vizuálního posouzení nep ekro ila v obou tavbách 1150°C. Po ukon ení dmýchání byla T1 téměř okamžit demonstrována vyhrábnutím obsahu mimo plochu pícky a za tepla vytídny zbytky paliva od žhnoucích spe enc. Po vychladnutí se p ešlo k p ebrání produkt tavby. 20% obsahu tvoila p etavená železná ruda na dn pece a zbytek celistvý struskovitý spe enec velice porézní, v lomu bublinaté strusky o velmi malé m rné hmotnosti, nacházející se pi okraji vrchní roviny pece. K demonstraci T2 došlo až po 14 hodinách pasivního období, kdy se lépe lokalizovaly studené vytavené produkty. Výsledkem T2 byly z v tší míry pouze p etavené a spe ené kousky rudy s malým množstvím vytvo ené strusky. Povrch železoruďného spe ence byl siln zoxidovaný p ebyte ným p ívodem vzduchu. V žádné z taveb pravd podobn nevzniklo železo v metalickém stavu.

Následným d ležitým pokusem bylo vysledování hloubky propálení výhn .1 a srovnání s dochovaným nálezem. Slabá povrchová vrstva erveného vypálení se nachází pouze na 2/3 plochy výhn smrem od pívád ného vzduchu a k hlubšímu propálení došlo jen v malém okruhu vyúst ní dyzny. Ostatní ásti jsou jen slab poznamenány p sobením vysoké teploty. Obrázková dokumentace v p íloze . 4.

Záv rem: Podle získaných výsledk lze t žko usuzovat o správnosti zvolených postup . Pouze lze poukázat na fakt, že množství pívád ného vzduchu bylo p íliš vysoké a doba tavby byla naopak p íliš nízká.

Druhá série taveb (2 tavby) – T3 prob hla dne 18.4.2008 v areálu zahrady .p.8 v Sebranicích a T4 dne 3.5.2008 zároveň s R6 při Dni živé archeologie v archeoskanzenu Všešary u Hradce Králové.

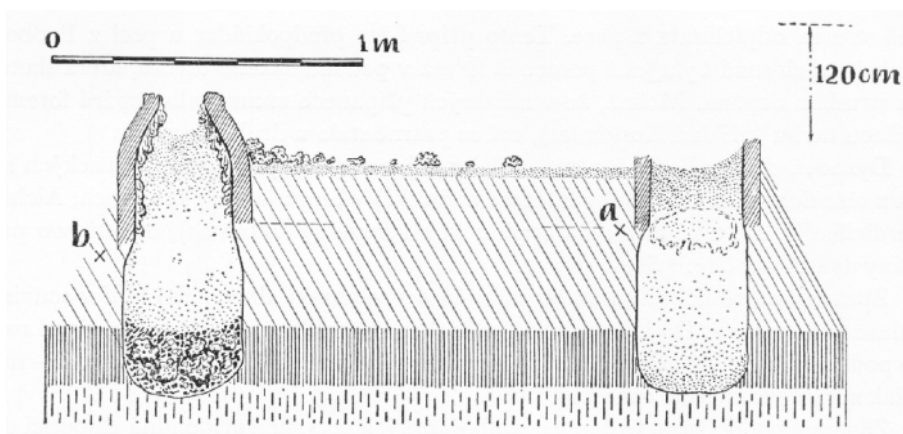
Tavby prob hly v rekonstrukci železářského zařízení z Prahy - Hloubčina, postavené bezprostředně před samotnou tavbou z jílovito - sprašové zeminy (více tabulka 3 v příloze .1). Zdrojem vzduchu pro obě tavby posloužil vakový kožený mch (viz. příloha 8, foto .1), s průměrným průtokem T3 - 45 dm³/min a T4 - 40 dm³/min vzduchu. Dyzna smývala v obou případech do středu pece a zasahovala do ¼ šířky, ale sklon se od počáteční tavby přiblížil vodorovné poloze, T3 - 20° a T4 - 12° od roviny země. Redukovaly se dva druhy železných rud. U tavby T3 tvořila vsázka houbovitá masa z R3 v obou případech drcená na velikost hráškového zrna a u T4 byla použita železná ruda nasbíraná na polích v okolí Sebranic s obsahem okolo 10 % Fe. Před samotnou tavbou bylo zařízení .3 vysoušeno a pehříváno dřevěným uhlím po dobu pouhých 10 min a zařízení .4 až 1 h a 15 min. Doba, kdy byla rudná vsázka o množství 1 kg a 2,1 kg vystavena redukčnímu prostředí, se pohybovala u T3 okolo 3 h a T4 - 5 h. Rychlost průchodu železné rudy činila u T3 - 0,57 kg/h a T4 - 0,42 kg/h. S rudnou vsázkou se přispávalo i kvalitní suché dřevěné uhlí o max. velikosti vlašského ořechu v poměru 5:1 vůči rudě. Výsledkem obou taveb bylo malé množství strusky a zbytek tvořily přetavené kousky rudy.

Závěr: Při obou tavebách nevzniklo žádné železo, ale pouze malé množství strusky. To bylo nejspíše způsobené nevhodností zvolené železné rudy (malý obsah železa, případně vysoká teplota tání strusky). Ze získaných poznatků lze předběžně vyvodit základní operativní body pro následné pokusné tavby v hloubčinském zařízení. Vsázka, tvořená kvalitní železnou rudou o maximální velikosti hráškového zrna a dřevěného uhlí, by měla odpovídat váhovému poměru 1:5. Dále by množství průváděného vzduchu nemělo překročit hladinu 50 dm³/min a optimální sklon dyzny, vložené přes okraj pícky, by se měl pohybovat mezi 10-20°. Tolik závěrem z dosavadních taveb v miskových píckách.

Pokusné tavby v šachtových pecích typu Podbořany

Pokusné redukce v šachtových zahloubených pecích byly realizovány v rekonstruovaných pecích podle archeologického nálezů laténské huti v Podbořanech (podle R. Pleinera; 1958 str.119.), (viz. obr. níže).

Pec .1.se dochovala celá a byla postavena ze speciálně připravené žáruvzdorné směsi, následkem taveb vypálená do bílé. Ve tvaru komolého válce o vnitřním průměru 30 cm a mírně zaklenutou horní částí/kychtou na 20 cm. Žáruvzdorná konstrukce o síle 10 cm vyčnívala o 40 cm nad terén, ale dalších 50 cm byla zapuštěna do země a zakončena kotlovitou nísticí. Spolu s objevem dvou tavících zařízení byla nalezena i dyznová cihla, která dokazuje možnost umělého přívodu vzduchu do pece.



Obr.12. Podbořany-
laténská huť (podle Ratta)

Každá redukce probíhala jiným způsobem a za jiných podmínek, proto v každé redukci vlastní část textu.

Redukce I.

Tavba proběhla dne 1.8.2007 v areálu zahrady .p.8 v Sebranicích, které předcházela stavba pece s dvou týdním předstihem. První nezkušenosti při stavbě píčky zapíjely některé konstrukční chyby, které neodpovídají nálezové situaci, a negativně se projeví i v průběhu samotné tavy. Tavící zařízení bylo postaveno z dovezené směsi jílu a sraše s menším množstvím písku a pojené obilnými klasy (složení viz. příloha .1, tabulka . 3.). Konstrukce pece o vnitřním průměru šachty 37 cm a šířce kychty 15 cm následně zamezila rovnoměrnému vkládání suroviny. V horní části pece s úrovní terénu byla vyhloubena dutina

o rozměrech 25x15 cm pro vodorovné usazení dyznové cihly a lepšímu vyjmutí produktu tavení. Pec z jedné poloviny dodatečně zapuštěná na do umělého terénu pro lepší izolační vlastnosti. Před tavením byla níst j naplněná slámou, čímž se ušetřilo drahé uhlí, které by jinak zaplnilo níst j. Tavení se s nepraženými a nedrcenými *peletami* (prmyslově upravený železo-rudný koncentrát o velikosti kulíky 8-20 mm) a složením 90 % Fe_2O_3 , 7 % oxid křemičitý a menší množství dalších prvků. Kompletní složení viz. příloha 1, tab.4. Jako palivo posloužilo nedrcené komerční drahé uhlí. Vyschlá pec byla předehřívána drahým uhlím za stálého dmýchání po dobu 1,5 h, pak se přistoupilo k stálému pískování rudy a paliva. Vsázka sestávala z dávek 500 g Fe rudy a stejného množství drahého uhlí po dobu 3 hodin. Průměrná rychlost průchodu vsázkou činila 4kg/hod. Horko bylo podporováno stálým dmýcháním jednokomorovým koženým mchem o velice blízkém množství 100 dm³/min vzduchu.

Po 6,5 hodinách otevřeného chlazení byla vylomena dyznová cihla a vyhrábnut obsah pece. Po přebrání byla tavenba konstatována jako neúspěšná. Zvětší částí výsledek tvořily přetavené a spečené pelety, které byly použity v následujících tavebách. Sláma uložená v níst j zůstala neporušená.

Na stavu pece ponechané působení vnějších vlivů podnebí měžeme v březnu 2008 pozorovat pouze lokální vypálení pece do červeného odstínu a zřejmě, jakým dochází k destrukci pece. Po několika měsících nezůstane prakticky žádný viditelný doklad o železářském výrobním zařízení.

(Fotodokumentace taveb a destrukce pecí je v příloze 6. a 9. a souhrnné parametry všech taveb v příloze 1., tab. 2.)

Redukce II.

Tavení se dne 12.8.2007 na pokusné ploše v areálu zahrady p.8 v Sebranicích za odborného dohledu pracovníků z TM Brno. Stavba stále stejného typu píčky probíhala za teplého slunečného počasí asi dva dny. První den proveden výkop a výmaz níst je a stavba části šachty, následující den dokončení celé pece a výroby dyznové cihly (průměr vnitřního otvoru 16 mm). Po týdenním vysychání byla níst j zaplněná opět slámou až po ústí dyznové cihly a započato tavení, vsypáním žhounoucích uhlíků do šachty pece. Doba předehřevu drahým uhlím po dobu dvou hodin stačila pro vytvoření redukční atmosféry, projevu jící se vznícením kychtových

plyn (CO) nad kychtou. Vsázka sestávala z drcených pelet z p edešlé tavby o průměrné velikosti hráškového zrna a kromě ního devného uhlí o přibližné velikosti 3-5 cm, stídavé sázení ve 250 g dávkách. Vzduch byl umle pívád n pomocí jednokomorového mchu o přibližném objemu 40 l, kdy do pece proudilo okolo 100 dm³/min. Po ukonění vsázky železné rudy bylo dmýcháno jen za pídávání devného uhlí po dobu 1 h. Následn byla elní část pece ve vzniklých prasklinách vylomena a vyhrábnut obsah pece. Výsledkem byl jeden v tší a n kolik menších spe enc o celkové váze 1000 g, množství trusky a neredukované rudy. Nejv tší houbovitý útvar (10x10x5 cm) plochého oválného tvaru, v ezu spatrnou strukturou metalického železa ve tvaru p lm síce, byl lokalizován p i vyjímání z pece ve st edu šachty v úrovni dyznové cihly.

Za celkovou dobu 7 hodin tavení se spot ebovalo 13 kg železné rudy (pelet) a 26 kg devného uhlí. Výsledkem byla menší houba o váze 800 g a odhadovaným obsahem 20% metalického železa ve tvaru plášť neredukovaných pelet. Tento produkt není možné dále kovásky zpracovat, jelikož postrádá pospolité propojení železných částic do ur ité kostry, ale m žeme jej za adit do vsázky p i další tavb .

Propálení pece je rovnom rn erveného zbarvení ve všech částech, protože nebyla použita sláma a proces tavení byl úsp šn jší než p edešlý. Tato pec je ve skute nosti „vypálená cihla“, u které je možnost, že v p íhodných podmínkách vydrží i n kolik let (viz. fotografie v p íloze . 9.).

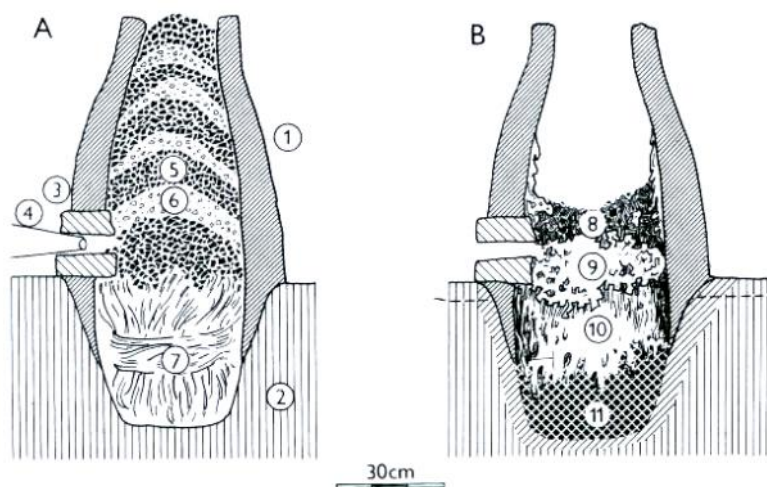
Rád bych pod koval pracovník m TM v Brn za odbornou pomoc a ob tavé dmýchání.

Redukce III.

Pokusná tavba probíhala v archeoskanzenu Villa Nova Uh ínov pod Deštnou dne 18.8.07. Konstrukce stav né pece odpovídá nálezu, byla stav na za vlhkého a deštivého po así po dobu 3 dn . Ke stavb byl použit místní jíl, množství devouhelného mouru a suché slámy. Níst j byla vystlána erstvým v tvovím a slámou. Byl proveden pokus o napojení dvou vzájemn se dopl ujících m ch pod úhlem 90° a sm ující vyúst ním dyznové cihly do st edu pece. P edh íváno bylo nejprve d evem a poté devným uhlím po 2 hodiny. Doba chodu pece s p isazováním 250 g dávek železné rudy a ve stejném pom ru i devného uhlí se rovnala 5 hodinám, když v polovin tohoto asu muselo být z technických d vod

odstaveno jedno z dmychadel (sho elo). Pr chod rudné vsázky pecí inil 3,1 kg/h za p ivád ní pr m rn okolo 120 dm³ vzduchu/min. Celkem bylo spot ebováno 30 kg uhlí a 16 kg drcených pelet. Po 1 h a 20 min dmýchání bez žádné vsázky byla pec postupn rozebrána. Výsledný produkt po zbavení p ebyte né strusky a natavené rudy vážil 5,5 kg a obsahoval jen zanedbatelné množství kovového železa, houbu tvo ila p edevším struska o velice vysokém obsahu železa ve form oxid .

Záv r: Použití dvou m ch v takto malém za ízení je zbyte n komplikované a p ebyte né množství vzduchu zap í i uje jen zbyte nou ztrátu železa, které p echází do strusky.



Obr. 13. Rekonstrukce železářské pece typu Podbořany
A – stav před tavbou; 1. plášť pece; 2. podloží; 3. dyznová cihla; 4. dmychadlo; 5. dřevěné uhlí; 6. železná ruda; 7. sláma, nebo prout í; B – stav po tavbě; 8. zbytky paliva; 9. železná houba; 10. struska; 11. vyhořelé palivo (podle Pleinera 2000)

Redukce IV.

Pokusná tavba probíhala v centru experimentální archeologie Všestary u Hradce Králové ve dnech 30.8 a 1.9 2007. Postavená pec se skládala z jílovito-sprašové sm si, pojené velkým množstvím travin. Rudná vsázka byla tvo ena drcenými peletami na velikost hráškového zrna a dev něho uhlí o velikosti vlašského o echu, páleného v milí i. Pec byla 1 h a 15 min. p edeh ívána d evem a následn žhavana d ev ným uhlím. P i dmýchání jsme se setkali s problémem malého p ísunu vzduchu do pece, který byl zap í in n malým otvorem v dyznové cihle (10 mm), ale ve výsledku se to následn projeвило velice p ízniv .

Za 5 h a 15 min pec pojmulu jen 7 kg rudy a rychlost pr chodu vsázky šachtou inila 1,4 kg/h a o p ívodu p íbližn 50 dm³ vzduchu/min. Tavba byla p erušena pouze z d vodu p edpokládané neúsp šnosti, ale mohlo se pracovat ještě n kolik

hodin. Produkty tavby ponechány bez přístupu vzduchu v redukční atmosféře chladnout skoro 18 h. Poté byla stále žhnoucí nadzemní část pece byla převrácena mimo pracovní plochu a po dodatečném výmazu prasklin schopná další tavby. Houbovitý útvar byl v tomto případě nataven na stěnu pece nad úrovní dyznové cihly. V peci se nacházelo i množství neredukované rudy a struskových slitek. Železná houba o váze necelých 3 kg v lehu nasvědčovala ovala úspěšnému vytvoření železa, které se při výrobě vytvořilo na protější straně od příváděného vzduchu. Zbytek objemu houby tvořila struska s velmi vysokým obsahem železa.

Redukce V.

Tavba probíhala dne 13.10.2007 v areálu zahrady č.p.8 v Sebranicích. Pec ze smíšené jílu, spráše a slámy byla postavena především za účelem tavení nízkoželezité rudy z povrchových výchoz ze Skuhrova nad Bělou. Rudu s obsahem 20 - 25% Fe jsme pražili v oxidační atmosféře 1 h v otevřeném ohni a následně ji drtili na velikost cca 1 cm. Proces výroby železa probíhal již zabíhnutými metodami. 1 h předehřívání, necelých 6 h chodu pece s 250 g vsázkami železné rudy a 10 h pasivní období, kdy se z produktu v redukční atmosféře případně odtavovala struska a chladnul. Celkem vsazeno 14 kg rudy a 24 kg vlhkého dřevěného uhlí vyrobeného v místě. Vzduch procházel 20mm otvorem v dyznové cihle a jeho objem se pohyboval se okolo 100 dm³/min a vsázka průměrně klesala 2,5 kg/h. Samotný průběh tavby vypadal velice slibně a přirozeně, po celou dobu nad kychtou hořely modré až nařezavé plamínky CO a žhnoucí uhlíky vystoupily až po úroveň kychty. Výsledkem tavby bylo velké množství strusky s vyšším obsahem železa. Na vnitřní stěně až po vnější okraj šachty se natavila a zesklovatěla struska. Závěr: Podle mého názoru bylo docíleno optimálního výrobního prostředí, schopno z rud bohatších na železo, než jsme nyní použili, vyredukovat a svařit železný produkt. I přes nulový výtěk, tavbu považuji za velice úspěšnou.

Redukce VI.

Tavba probíhala dne 3.5.2008 v archeoskanzenu Všešary u Hradce Králové. Cílem tohoto pokusu bylo ověřit možnost výroby železa z nízkoželezitéch rud, nasbíraných na polích v okolí obce Sebranice.

Stavba pícky již zabíhajícího konstrukčního typu byla za slunečního poasí postavena na 2 h z p edem p ipravených a vysušených formovaných ástí, použitý materiál viz. p íloha . 1 v tabulce 3. Po 1 h p edeh evu se p r b h tavby jevil velice klidn . B hem 5,5 h bylo vsazeno 5 kg polní hematitové rudy o obsahu okolo 10 % železa, drcené na velikost hráškového zrna , a celkem okolo 25 kg dev ného uhlí. Pr m rná rychlost p r chodu železné rudy nebo dev ného uhlí inila 1 kg/h p i p ívodu 90 dm³/min vzduchu pomocí jednokomorového harmonikového m chu. Teplota nam ená belgickými tavi i ke konci tavby p i ústí výfuy dosahovala 1210°C. Teplota byla m ena digitálním termo lánkem. Bezprost edn po ukon ení tavby byla pec rozbo ena a vyjmut houbovitý produkt, natavený na dyznové cihle . Jednotlivé stavební prvky pece jsou schopné opakovaného použití. Vytavený polotovár o váze 2,25 kg byl roz íznut a vybroušen. Na prot jší stran od zdroje vzduchu je ve velkém množství velice pórovité sklovité strusky obsaženo menší množství metalického železa. Výsledek tavby lze vzhledem k rud s nízkým obsahem železa ozna it jako úsp šný. P r b h tavby se již jeví velice ustálenou formou.

Závěr ze získaných poznatků

Na základ zhodnocení výsledk a získaných parametr z t chto šesti taveb lze poukázat na n kolik d ležitých poznatk , které výrazn ovlivnily proces redukce. Na první místo bych adil jako významný initel jakost a druh zpracovávané železné rudy, která výrazn ovliv uje vznik železa. Dalším d ležitým faktorem je i množství vhn ného vzduchu, se kterým p ímo souvisí i rychlost p r chodu vsázky šachtou. Je-li dmýchání p íliš slabé, nedosahuje se tak vysokých teplot a nedoch ází k odd lení strusky od železa, je-li naopak vzduchu p ebytek, následkem zp tné oxidace nastává zbyte ná ztráta železa, která p echází do strusky. Doba aktivního chodu pece je zárove rozhodující p i redukcí železné rudy. Ovliv uje jednak množství vsazené železné rudy, tudíž i potencionální výt žek, ale i as , p i kterém jednotlivé kousky železné rudy p icházejí do kontaktu s reduk ním médiem a ovliv uje tak množství vznikajícího železa. Domn nka o efektivnosti pasivního období tavby se nám zatím p i tak malých a rozdílných výsledcích taveb nepoda ila potvrdit. Množství nauhlení železa, p ípadn chemické složení železa a železné

strusky, potvrdí až chemické rozbor, kterými budeme v nejbližší době n které vzorky podrobovat.

Výsledky z těchto pokusných taveb dokazují, že v rekonstrukci Podbořanského železářského zařízení lze pomocí nejjednodušších prostředků a s minimálními znalostmi chemických pochodů, poměrně jednoduchou cestou získat železo.

Rekonstrukce hutnictví železa v pravěku

Nyní bych rád shrnul dosavadní zkoumání a praktické experimentování v oboru pravěkého hutnictví do stručného celku, alespoň byste m vyprávějící o dřívějším železářství na území střední Evropy.

Rekonstrukce halštatského hutnictví

Pokusíme-li se rekonstruovat halštatské hutnictví, tak máme k dispozici jen omezené množství hmotných dokladů, které by napomohly vytvořit obraz o hutnické výrobě ve starší době železné. Budeme-li vycházet z toho, co nám halštatské hutnictví zanechalo, tak jsou to především ojedinělé nálezy železných strusek v blízkosti sídelních objektů nebo v hrobech, výjimečně nálezy výrobních zařízení (Praha Hloubětín, Králové na Litovelsku). Můžeme se domnívat, že halštatské hutníci vyráběli železo v nevelkém rozsahu v primitivních vyhřívacích objektech (viz obr. 9.) Rudné suroviny mohly být získávány formou povrchových sběrů nebo povrchovou těžbou v povrchových výchozech zvrátných ložisek. Źízení obohacování rudy mohlo být prováděno nejvýše formou mechanickou (třídění a drcení). Použití rud se omezovalo na oblast, ve které se hutníci vyskytovali, nejčastěji se jednalo o lehce tavitelné hrdely a krevely. Jako palivo bezpečně posloužilo dřevné uhlí, které mohlo být vyráběno v uhelných jamách (viz kap. 3).

Samotný proces výroby železa ve vyhřívacích si mžeme jen těžko představit. Hoření dřevného uhlí mohlo být podporováno umělým přívodem vzduchu pomocí mchů z organických materiálů, které se nám nedochovaly. Po několika

hodinách tavení železných rud se mohlo na dn pícky vytvořit množství železa, které bylo pohlceno tekutou struskou, a tak muselo dojít k novému tavení s tímto polotovarem a vsázkou nové rudy. Po několika tavebách mohl vzejít minimální výtěžek ve formě houbovitého železa, promíšeného s množstvím strusky, které se pak ve stejném zařízení kovářsky odstranilo a zisk železa z několika taveb se svařil do požadovaného polotovaru.

Proces to byl jistě časově velice náročný a ziskový produkt určitě neodpovídal vloženému úsilí, protože se železářství během pár století vyvinulo tak, že historikové Keltové na něm postavili základy své železářské éry.

Rekonstrukce laténského hutnictví

Pokusit se znovu objevit zaniklé laténské hutnictví se nejevilo takovým problémem jako u hutnictví halštatského. V tomto období se již můžeme pokusit o určitou konstrukci výrobních zařízení a s určitou jistotou napodobit zaniklé technologické postupy. Redukce byly prováděny v nízkých polozahloubených šachtových pecích vzájemně si podobné konstrukce, nejlépe reprezentovatelné nálezy z Chýně nebo Podbořan. Šachty pecí o výšce 50 cm a vnitřním průměru 40 - 30 cm byly stavěny ze žáruvzdorné zeminy, schopné odolávat několika opakujícím se tavebám. Pece pracovaly na umělé průtok vzduchu, jak dokazují nálezy dyzen nebo dyznových cihel. Železné suroviny, se kterými se hutníci potýkali, byly tvořeny především limonitickými rudami, případně hematitovými rudami, které ale byly nějakým způsobem vystavované předem pražení, přímé doklady o tom nemáme. Rudy se získávaly formou povrchové těžby, jak dokazují dochovalé těžební jámy v okolí některých oppid. Podle uskutečněných pokusů můžeme přibližně stavbu celkem spolehlivě popsat. Postavená pec po důkladném vysušení prošla první, přípravnou fází výroby železa, a to především na potřebnou teplotu (1100°C), která se projevuje stálým hořením kyslíkových plynů namodralým plamínkem. Předehívání se mohlo provádět jak z poátku dřevem, tak následně dřevěným uhlím. Následovala další fáze přisazování železné rudy do pece spolu s palivem. Vsázka byla tvořena drcenou a (praženou) železnou rudou a dřevěným uhlím ve stejném hmotnostním poměru. Hoření dřevěného uhlí bylo stále podporováno vháněným vzduchem pomocí mch. Jednotlivé kousky rudy klesaly vsázkou a reagovaly s CO, nebo v míst

nejvyššího žárupřímě s uhlíkem (devným uhlím). Vznikající železo postupně klesalo do níže, vznikalo i množství železné strusky, která, je-li lehká než železo, se tak držela nad ním a zabránila sekundární oxidaci vytvořeného železa. Za příhodných podmínek bylo železo svařeno v kompaktní *železnou houbu*. Tavnice byla po několika hodinách usilovného dmýchání, kdy byl produkt vyjmut. Dělalo se tak více způsoby: jednak pomocí kleští šachtou pece nebo otvorem po dyznové cihle nebo způsobem jakým jsme to aplikovali my, a to odklopením nebo odvalením šachty pece a pohodlným vyjmutím produktu. Vyjmutí se mohla pec i rozbít. Výsledný produkt dosahoval maximálně 20% železa z množství vsazené rudy a obsahoval ještě velké množství strusky, která byla mechanicky odstraněna a odtavována ve vyhřívacích zařízeních a železo následně kovásky zpracováno. Finální produkt zbavený strusky mohl tvořit jen **5-10% železa** z množství vsazené železné rudy.

Exportním a prodejním produktem keltů byly *dvojhroté hřívny* o váze 6-7 kg.

Zvláštní poděkování na závěr patří panu Radomíru Pleinerovi z AU ČR za excelentně zpracovaný přehled hutnictví do 12. věku a především celé mé rodině za ochotu spolupracovat a podílet se na tomto náročném projektu.

Oponentský posudek práce

Mojmír Mazánek, SUPŠ Turnov

Předložená práce se zabývá praktickým výzkumem a ověřením znalostí o historických technologiích v praxi. Vzhledem k zaměření studia autora se pochopitelně vnuje hlavně výrobě železa a jeho slitin.

Výzkum pravěkých technologií se dnes ubírá těmi hlavními cestami. Jednak jsou zkoumány všechny reálné možnosti, které lze při výrobě určitého předmětu uplatnit.

Za druhé jsou konány pokusy s použitím různých technologických postupů a výsledky jsou srovnávány s archeologickými předměty.

Zatím se s nejvyšší možnou pečlivostí studují studie, které pravěká funkce předmětů zanechala na předmětech samých.

Studentská práce obsahuje všechny tři tyto cesty v různém stadiu rozpracovanosti. Dostatečný je úvod do historie hutnictví, který tená i pomůže objasnit historické souvislosti vývoje technologie výroby železných kovů od prvních stop až po současnost. Ve střední části se podrobněji zabývá technologickými, fyzikálními a chemickými podmínkami výroby těchto kovů a pomocných surovin, v rozsahu dostatečným pro středněškolskou úroveň.

Nejvýznamnější částí je ta, která popisuje praktické pokusy s výrobou a úpravou surovin potřebných k výrobě a následně (vzhledem k výsledkům pokusů) i následným zpracováním takto získaného kovu. Ověřuje se zde reálnost těchto postupů, které jinak poznáváme především jen v literární formě (obvykle jen teoreticky dovozené), a současně umožňuje vytvořit materiální předměty, které by byly archeologickými metodami srovnatelné s pravěkými. Metodou pokusu lze objevit také takové technologické postupy, které nebyly doposud zachyceny jinými v dobějšími metodami.

Na této části je obdivuhodný rozsah a vcelku jejich kvalitní systematické provádění, dobrá dokumentace i s realistickým závěrečným hodnocením. Rozporuplné výsledky dosavadních organizací, materiálních i zásob velmi náročných pokusů musíme vidět v kontextu historických faktů, kdy se tyto technologie postupně vyvíjely spíše stovky než jen desítky let a to v mnoha lokalitách. Jejich znovuobjevení je pro jedince nesmírně náročný úkol a aby byl proveditelný v relativně krátkém časovém úseku je nutné do pokusů zapojit i nemalé znalosti z moderních věd o chování těchto materiálů a i přesto je to pro člověka dnešní doby velmi náročný úkol. Drobné metodologické nedostatky nebo spíše zjednodušení jsou na této úrovni plně opodstatnitelné.

Provedené pokusy jsou na středněškolskou práci rozsahem i obsahem velmi kvalitní a na jejich výsledcích je možné úspěšně pokračovat ve snaze o dokonalé zvládnutí těchto historických technologií, a už je provede sám autor, nebo někdo další. Práce neopomíjí ani hodnocení provedených pokusů srovnávacími metodami s archeologickými nálezy.

V Turnov dne 25.3.2008

.....
zpracoval: Mojmír Mazánek
 učitel technologie SUPŠ Turnov

Posudek práce

PhDr. Jiří Merta, Technické muzeum v Brně

Předložená práce je dokladem samostatného postupu řešitele k složité otázce redukce železných rud přímo výrobou v kusové železářské peci. Je samozřejmé, že k praktickému řešení problému bylo zapotřebí prostudovat dostupné odborné texty, jimiž jsou bezesporu zejména práce profesora Radomíra Pleinera, který se výzkumem metod užívaných starými železáři zabývá již více jak pět století. Výhodou uvedených materiálů je bezesporu jejich odborná erudice i srozumitelném podání problému metalurgických pochodů, doplněných popisem a nákresem situací, zjištěných při archeologických nálezích. Hlavním z těchto materiálů Jiří Kmošek vycházel (viz jeho historický úvod k historii výroby železa v pravěkých zemích) se záměrem k metalurgii železa Keltů, o kterou se zajímá a kterou ověřil experimenty.

Je třeba ocenit teoretické zvládnutí a orientaci při řešení problému s maximálním využitím dostupné literatury, ale hlavním úspěšným rozvinutím získaných teoretických poznatků při vlastním složitém metalurgickém procesu redukce železa v kusové šachtové peci. Vlastní tavbu předcházel výběr a přeprava užitých Fe rud pražením a drcením, ale i výroba potrubného paliva – dřevného uhlí – mlíčováním za pomoci celé rodiny! Výše uvedenými experimenty se v současné době zabývají početné erudované týmy na evropských univerzitách a odborných ústavech. Výsledky jejich bádání při využívání nových přístrojů pro sledování a dokumentaci metalurgických pochodů při redukcii železa jsou srovnatelné s experimenty Jiřího Kmoška, které takovou materiálovou základnu a podporu samozřejmě postrádají. Popis jednotlivých experimentů dobře postihuje jejich průběh a výsledek tavy. Text je doplněn schémata a názornou fotodokumentací dokládající průběh a podmínky jednotlivých experimentech.

Předložená práce má velmi dobrou odbornou úroveň. Zvláště je třeba vyzdvihnout zvládnutí dokumentace jednotlivých experimentů i přehledné vedení záznamů o jejich průběhu. Pozoruhodné jsou výsledky samostatně řízeného průběhu všech experimentů a zejména jejich vyhodnocení. Dále je třeba podle mého názoru ocenit osobní nasazení a zájem autora experimentů o širší problémy sledování projevu každodenního života protohistorické společnosti.

Z uvedených důvodů hodnotím předloženou práci jako velmi dobrý příspěvek při rekonstrukci dnes již zaniklých výrobních pochodů a technologií. Vysoce si vážím zaujetí a hlubokého zájmu Jiřího Kmoška, který s podporou a s pomocí celé rodiny dosáhl výše uvedených výsledků.

PhDr. Jiří Merta
Technické muzeum v Brně

V Brně 9. května 2008

Poznámka: Jiří Kmošek referoval o výsledcích experimentů na 27. semináři Archeologia Technica v Technickém muzeu v Brně (15. dubna 2008). Přednesený referát vzbudil zájem zúčastněných – včetně odborných pracovníků muzeí, pracovišť Národního památkového ústavu a dalších zájemců, kteří ocenili jeho vystoupení i dosažené výsledky.

Seznam použité literatury

BOROVEC A. – BARTOŠ J. Výroba kovů I.; Praha 1977

DRAGOUN B. – MATOUŠEK V. Archeologie ve středních Čechách 8, str. 727-772; Praha

MALINOVI R. a J. Vzpomínky na minulost; Ostrava 1982

PLEINER R. Základy slovanského železářského hutnictví v českých zemích; Praha 1958

PLEINER R. Iron in archeology; Praha 2000

*STRÁNSKÝ, K. - SOUCHOPOVÁ, V. - MERTA, J.; Archeologia technica 11
Rekonstrukce pochodů přímé výroby železa z rud, str. 12. - 22.; Brno 1999*

Seznam použitých internetových serverů

<http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezo>

<http://starahut.com>

<http://antrak.cz>

Zdroje obrázků

Obr. 1.,7.,11.,12. - PLEINER R. - Základy slovanského železářského hutnictví... (viz. výše)

Obr. 9.,10.,13. - PLEINER R. – Iron in archeology (viz. výše)

Obr. 2.,3.,4.,5. - <http://cs.wikipedia.org>

Obr. 6.,8. - DRAGOUN B. – MATOUŠEK V. Archeologie ve středních Čechách 8

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA Č.1 – Tabulky

Tabulka 1. Parametry jednotlivých taveb v zařízení typu Praha -Hloubětín				
Datum tavy	15.3.2008	15.3.2008	18.4.2008	3.5.2008
Označení tavy	T1	T2	T3	T4
Doba přehřevu [h]	0,5	0,7	0,15	1,25
Doba aktivního chodu pece [h]	2	2,5	1,75	5
Doba chodu po ukončení vkládání rudy [h]	4,5	1,5	1,35	0
Průměrná rychlost průchodu Fe rudy [kg/h]	1,125	0,75	0,57	0,42
Množství vsazené rudy [kg]	2,25	1,8	1	2,1
Kovnatost rudy [%]	2/3 - 89% Fe ₂ O ₃ a 1/3 – Fe struska		Houba z R3	10-15% Fe ₂ O ₃
Spotřeba dřevěného uhlí [kg]	12	10	9	14
Množství přiváděného vzduchu * [dm ³ /min]	55	70	45	40
Sklon dyzny [°]	35°	35°	20°	12°
* Hodnota měřena orientačně				

Tabulka 2. - Parametry jednotlivých taveb v zařízení typu Podbořany						
Datum tavy	5.8.2007	12.8.2007	18.8.2007	1.9.2007	13.10.2007	3.5.2008
Označení tavy	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Výtěžek z množství vsazené rudy * [kg/ %]	0 /0,00	0,8 /6,20	5,53 /34,60	2,95 /42,10	0 /0,00	2,25 /45,00
Průměrná rychlost průchodu železné rudy a paliva vsázkou [kg/h]	4	2,3	3,1	1,4	2,5	1
Množství vsazené rudy [kg]	12	13	16	7	14	5
Kovnatost Fe ₂ O ₃ rudy [%]	89 %	89 %	89 %	89 %	20-30 %	10-15 %
Spotřeba dřevěného uhlí [kg]	20	26	30	19	24	25
Množství přiváděného vzduchu ** [dm ³ /min]	108	100	120	50	104	90
Doba přehřevu [h]	1,5	2,15	1,85	1,25	1,1	1
Doba aktivního chodu pece [h]	3	5,75	5,25	5,25	5,7	5,5
Doba pasivního chodu pece [h]	6,5	1	1,35	17,65	10,5	0
Průměr pece v úrovni dyzen/průřez [cm/ dm ²]	37/10,7	35/9,6	35/9,6	30/7,1	30/7,1	30/7,1
Objem pece + nístěj [dm ³]	34+28	43+26	30+33	32+50	32+40	32+30
* Houbovitý útvar s nezaručeným množstvím metalického železa						
** Hodnota měřena orientačně						

Tabulka 3. - Použitý materiál při stavbě pecí										
Označení tavby	R1	R2	R3	R4	R5	R6	T1	T2	T3	T4
Typ pece	P*	P	P	P	P	P	H**	H	H	H
Materiál										
Sprašová zemina	45,00 %	50,00 %	-	45,00 %	53,00 %	75,00 %	40,00 %	40,00 %	55,00 %	50,00 %
Jílová zemina	40,00 %	40,00 %	80,00 %	45,00 %	40,00 %	5,00 %	40,00 %	40,00 %	30,00 %	50,00 %
Písek	8,00 %	10,00 %	-	-	-	10,00 %	10,00 %	10,00 %	10,00 %	-
Uhelný popel	-	-	15,00 %	-	-	5,00 %	10,00 %	10,00 %	5,00 %	-
Organická pojiva	7,00 %	-	5,00 %	10,00 %	7,00 %	5,00 %	-	-	-	-

* Zařízení typu Podbořany
 ** Zařízení typu Praha - Hloubětín

Tabulka 4. – Chemické složení železorudných pelet			
Chemické složení	Ukazatel	Typická analýza	Jednotka
Oxid vápenatý	CaO	1,58	hm. %
Oxid hořečnatý	MgO	0,166	hm. %
Oxid křemičitý	SiO ₂	7,36	hm. %
Oxid hlinitý	Al ₂ O ₃	0,22	hm. %
Mangan	Mn	0,02	hm. %
Fosfor	P	0,007	hm. %
Síra	S	0,0089	hm. %
Železo	Fe	63,55	hm. %
Oxid železitý	Fe ₂ O ₃	88,85	hm. %
Oxid železnatý	FeO	1,72	hm. %
Oxid draselný	K ₂ O	0,15	hm. %
Oxid sodný	Na ₂ O	0,06	hm. %
Oxid titaničitý	TiO ₂	0,002	hm. %
Zinek	Zn	0,002	hm. %
Chrom	Cr	0,004	hm. %
Olovo	Pb	0,0001	hm. %
Vlhkost	W _t ^r	2,00	hm. %
Granulometrie	3 – 25 mm		

PŘÍLOHA Č. 2. - Fotodokumentace pálení dřevěného uhlí v milíři



PŘÍLOHA Č. 3. – Průběh pokusné tavby železa v miskových pecích (Tavba 2)



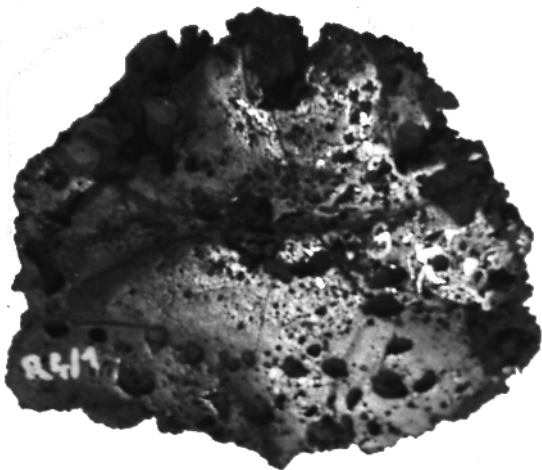
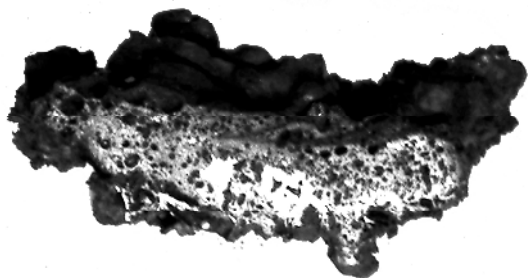
PŘÍLOHA Č. 4. – Sonda vypálení do pece č.1



PŘÍLOHA Č. 5. – Pokusné tavby železa v šachtových pecích typu Podbořany



PŘÍLOHA Č. 6. – Produkty jednotlivých taveb



PŘÍLOHA Č. 7. – Přibližná rekonstrukce dmýchacích zařízení



PŘÍLOHA Č. 8. – Destrukce redukčních zařízení č.1 a č.2 (stav k 1.3.2008)



Popis fotografií k přílohám 2-8.

(číslováno z levé do pravé strany, po řádcích)

- Příloha č. 2.; Foto 1. – Stavba milíře, vztyčení krále a položení dvou vzduchových kanálků
Foto 2. – Pohled do krále a na vyrovnané palivo, určené k zuhelnatění
Foto 3. - Počátek obkládání dřevěné části milíře izolační vrstvou z drnů
Foto 4. - Stoupající kyselý kouř - 1,5 h po zapálení
Foto 5. - Stav milíře po 3. dni pálení
Foto 6. - Rozebírání milíře – 5.den
- Příloha č. 3.; Foto 1. - Stav pece č.2. před tavbou
Foto 2. - Počátek tavby v peci č.2, rozehtívání dřevěného uhlí
Foto 3. - Průběh tavby č.2
Foto 4. - Výsledek tavby č.2
- Příloha č. 4.; Foto 1. - Sonda vypálení pece č.1 po jedné tavbě
- Příloha č. 5.; Foto 1. - Šachta zařízení č.6 – stav před tavbou
Foto 2. - Průběh redukce č.6
Foto 3. - Výsledek redukce č.6, natavený na dyznovou cihlu
Foto 4. - Průběh redukce č. 4
Foto 5. - Rozebírání zařízení č.6
Foto 6. - Rozebírání zařízení č.2
Foto 7. - Vznícené kychtové plyny při redukcí č.5
- Příloha č. 6.; Foto 1. - Řez produktu redukce č.2 (Na fotografiích 1.-3. byl vzduch přiváděn vodorovně z levé strany)
Foto 2. - Řez produktu redukce č.4
Foto 2. - Řez produktu redukce č.6
Foto 4. - Produkt redukce č.3 (vzduch přiváděn vodorovně z čelního pohledu)
- Příloha č. 7.; Foto 1. – Přibližná rekonstrukce koženého vakového měchu
Foto 2. – Přibližná rekonstrukce dřevo-koženého harmonikového měchu
- Příloha č. 8.; Foto 1. - Destrukce redukčního zařízení č.1
Foto 2. - Detail propálení redukčního zařízení č.2, při ústí výfucen
Foto 3. - Destrukce redukčního zařízení č. 2