

OBECNÉ POČÁTKY PŘÍMÉ VÝROBY ŽELEZA A JEJÍ VÝVOJ NA NAŠEM ÚZEMÍ

„Est magna differentia fornacium“ (Plinius)

Jiří Merta

V oblasti východní Anatólie započala již na konci 3. milénia př. n. l. výroba železa tzv. přímým způsobem, kdy je produktem tavby železná kovatelná houba. Tento prostor je shodný s oblastí počátků zpracování měděných rud. Odtud se znalost výroby železa šířila do Středomoří a do přilehlých městských států Předního východu. Z tohoto období není znám konkrétní typ železářské redukční pece, šlo patrně o výheň s postupně vznikající šachtou. Při pobřeží Středozemního moře vznikla postupně řada významných železářských středisek (západní Kréta, jižní Řecko, Elba). Do střední Evropy znalost železářské výroby pronikla přes Balkán. Již od 6. stol. př. n. l. zpracovávaly halštatské huti místní rudy. K rozmachu železářské výroby došlo ve společenství keltských kmenů, které užívaly šachtových pecí se zahluobenou nístějí, jejíž schéma převzaly později germánské kmeny a užívaly ji po více jak pět století. Dalším typem pece byl aparát s dómovým vnitřním prostorem schopný produkovat značně hmotné houby (do 50 kg). V západní Evropě známe šachtové pece o výšce až 2,5 m, které využívali také Římané (Les Martys), podobně jako peci z alpské oblasti (Magdalensberg). Z období raného středověku je známo několik hutí roztroušených po území Evropy, v nichž probíhal na sobě nezávisle vývoj výroby surového železa. Jednalo se o pece s kamennou obezdívkou a vnitřním průměrem šachty kolem 1 m a výšce cca 3 m.

V českých zemích vedl vývoj od zahluobených keltských pecí známých z výrobní komory severozápadně Prahy, přes samostatně stojící šachtové pece germánských kmenů (Boskovická brázda), po slovanské železářské huti užívací postupně zadlabané pece typu Želechovice a zadlabané pece s tenkou hrudí situované v bateriích (období Velké Moravy – severní Pomoraví, Moravský kras). Od počátku nového tisíciletí je užívána samostatně stojící šachtová pec. Dokumentace vývoje železářství v českých zemích v období 12. až 13. století, tedy v období formování městských aglomerací, je značně skoupá. Přitom právě toto období přináší řadu zásadních změn spojených se zvýšenou spotřebou železa krytou postupně zaváděnými železářskými hamry vybavenými vodními koly. Vodního kola bylo užíváno patrně nejdříve k pohonu zvětšujících se měchů, které umožnily i zvětšení tavicí pece a zvýšení její produkce. V alpských zemích dosahovaly v novověku kusové železářské pece výšky až 5 m a produkovaly železnou houbu o hmotnosti až 1000 kg. Tento v českém prostředí nový typ pece je užíván od poloviny 16. století do postupného zavedení vysoké pece vyrábějící nepřímým výrobním způsobem slévateľné surové železo s vyšším obsahem uhlíku (kolem 2–4 % C). Vysoká pec se vyvinula mimo naše území a její užívání se k nám rozšířilo ze saské strany Krušných hor na konci 16. století. V některých oblastech Evropy však bylo užíváno výhňových pecí, v oblastech Skandinávie vystřídaly na konci středověku šachtové pece, v západním Středomoří pokračoval jejich vývoj a užívání až do konce 18. století (korsická výheň, katalánská výheň).

klíčová slova: metalurgie obecných kovů – přímá výroba železa – výhňová pec – šachtová pec – železná houba – struska

A DIRECT PRODUCTION OF IRON AND ITS DEVELOPMENT ON TERRITORY OF CZECH LANDS

In area of east Anatolia, already associated with the beginnings of processing of copper ores, the iron production called as a direct method of producing malleable iron bloom started at the end of the third millennium BC. From that area the knowledge of the iron production spread to the Mediterranean and the adjacent city-states of the Near East. From that period any specific type of iron reduction furnace is not known, it was probably a hearth with a gradually emerging shaft. Near the coast of the Mediterranean Sea there was gradually built a number of important iron production centers (Western Crete, Southern Greece, and Elba). To the Central Europe the knowledge of iron production got through the Balkans and from the 6th century BC the Hallstatt bloomeries processed local ores. The expansion of the iron production occurred in the community of Celtic tribes which used the shaft furnaces with a recessed hearth, the scheme of which was taken over later by Germanic tribes and they used it for more than five centuries. Another type of furnaces was an apparatus with a cupola inner space capable of producing very tangible blooms (up to 50 kg). In Western Europe we know the shaft furnaces with a height of up to 2,5 m which were also used by Romans (Les Martys), like furnaces from the Alpine area (Magdalensberg).

From the period of the Middle Ages several workshops are known to be scattered on the territory of Europe, in which the production of a raw iron took place independently. Those were furnaces with stone brickwork and the inner diameter of a shaft about 1 m and height about 3 m. In the Czech lands the development of Celtic recessed furnaces known from the production area northwest of Prague led through independently standing shaft furnaces of Germanic tribes (Boskovice furrow), to the Slavic iron smelters using underground furnaces of Želechovice type and embanked furnaces with a thin breast part built in batteries (period of the Great Moravia – northern Morava river area, Moravian Karst). Since the beginning of the new millennium, the freestanding shaft furnace was used. The documentation of development of ferrous metallurgy in the Czech lands from 12th to 13th century, the period of formation of urban agglomerations is very low. Nevertheless, this period brings a number of fundamental changes associated with an increased consumption of iron gradually covered by implemented

iron mills equipped with water wheels. The waterwheel was probably used first to drive the expanding bellows allowing magnification of the furnace and increasing of its production. In Alpine countries in the modern era the iron furnaces were up to 5 meters high and they produced iron bloom weighing up to 1000 kg. That – for Czech lands – new type of furnace was used since the mid-16th to the gradual introduction of the blast furnace producing an indirect way pourable raw iron with higher carbon content (about 2–4 %). The blast furnace developed out of Czech territory and its use came from the Saxon side of Erzbergirge (Krušné hory) at the end of 16th century. In some areas of Europe, however, the bowl furnaces were used. In area of Scandinavia the shaft furnaces were replaced, in the western Mediterranean their development and use continued until the end of the 18th century (Corsican forge, Catalan forge).

Key words: metallurgy of a base metals – direct iron production – underground furnace – bowl furnace – embanked furnace – free standing furnace – bloom – slag



Obr. 1: Lokality nálezů nejstarších železných předmětů v Anadolii, 3000–1000 př. n. l. (Yalcin 2004, 220)

Úvod

Příspěvek se snaží podat přehled o vývoji železářství v období tzv. přímé výroby železa. Při přímé výrobě železa je kujná železná houba s nízkým obsahem uhlíku vyprodukována v jediném výrobním kroku; na rozdíl od tzv. nepřímé výroby, kdy je kujná surovina získávána zkujňováním surového (nekujného) železa, tj. ve dvou výrobních krocích, tedy nepřímou. Pro nejstarší období jsou základním zdrojem informací práce Radomíra Pleinera. Pro mladší období vrcholného středověku se množí hutnické dílny dokumentované archeologickými nálezy dovolujícími rekonstruovat tavící aparáty spolu s užitou technologií, namnoze směřující k nepřímé výrobě tekutého uhlíkatého železa. K těmto nálezům však zatím dochází mimo naše území.

POČÁTKY VÝROBY ŽELEZA

Metalurgie mědi dospěla již ve 2. tisíciletí př. n. l. od výhňové pece k peci šachtové, která vznikla postupným obestavěním výhňe kamennou nebo hliněnou stěnou, postupně vytvářející šachtu pece, přičemž se horizontální pojetí tavby změnilo na systém vertikální, s možností zvětšení podílu vsázky a využití teploty v šachtě pece. Stejný vývoj prodělala pec železářská, jejíž konstrukce se vyvíjela obdobným způsobem (Pleiner 1975, 76). Všechny nejstarší

železářské pece jsou ve své podstatě výhněmi – od pozdně halštatských objektů až po některé typy pecí užívané do nedávna v africkém prostředí nebo dokonce k maloprůmyslové výrobě (katalánská a korsická výheň). V šachtové peci se teplota příznivě rozčlenila do tepelných zón. Při ústí dmychadla se prostřednictvím dyšny vyrobené z keramického materiálu dosahovalo teplot kolem 1200–1400 °C, postupně se snižovala směrem ke koruně šachty (kychty) o výšce 60 až 100 cm na cca 600 °C. Směrem od vrcholu pece, odkud probíhalo sázení surovin, tak probíhala s klesáním vsázky postupná redukce rudy, vznik strusky a narůstání železné houby. Šachtová pec prokázala možnost dalšího vývoje s postupným zvětšováním objemu pece závislejícím na množství dmychaného vzduchu, od ručně poháněných měchů, přes užití vodního kola v období středověku, po dmychadla poháněná parním strojem v období průmyslové revoluce až k moderním ventilátorům. Právě narůstající objem dmychaného vzduchu vedl ke zvyšování teploty v peci a již v průběhu středověku k nepřímé výrobě železa. Železářská industrie se zrodila na území střední a východní Anatolie, tedy v oblasti východního Středomoří a Blízkého východu, v regionu s dlouholetou tradicí neželezné metalurgie, především mědi, sahající do 7. tisíciletí před naším letopočtem. Znalost železa, tohoto „nebeského kovu“ meteoritického původu, předcházela získávání železa z rud redukčním pochodem, který

přinesl možnost širšího využití. Těžba železné rudy byla vázána na výskyt měděných rud (Pleiner 2000, 39)¹. Chemické složení strusek pocházejících z 3., 2. a 1. tisíciletí př.n.l. je shodné (Yalçin 2004, 221). V průběhu 3. tisíciletí se železné předměty nejprve objevují v královských hrobech jako luxusní předměty (Alaca Hüyük), případně jako železné části bronzových výrobků. Již ze 17. stol. př. n. l. je znám z prostředí Chetitského království záznam o daru „dobrého železa s 56 dýkami a 66 ingoty“.



Obr. 2: Železářské strusky v hutním středisku Porga–Malatya, Anatolie, 2.–1. tisíciletí př. n. l. (Yalçin 2004, 233)



Obr. 3: Železářské centrum s vrstvami strusek, Ovacik–Tunceli, Anatolie, 2.–1. tisíciletí př. n. l. (Yalçin 2004, 233)

Nález ingotů z chetitského hlavního města Chattušaše ukazuje, že železný polotovár neměl standardní tvar a hmotnost (Belli 2004, 226). V následujícím tisíciletí se kromě užití železa jako součásti luxusního zboží vyrábějí zbraně z kaleného materiálu (dýky, meče, hroty šípů). Výrobní oblasti ležely mimo městské civilizace Úrodného půlměsíce, již s diferenciovanou společností využívající dělní práce a používající písma (Pleiner 1975, 7–13). Do majetku mezopotámských vládců železné předměty přicházely z koistných nájezdů a tributů z drobných států střední Anatolie (Chetitě 1800–900 př.n.l.), později z okolí jezera Van (Aššur 1000–900 př. n. l.), buď ve formě polotovaru tvaru dvojhrotých hřiven, nebo hotových výrobků. Železo bylo ukládáno v královském paláci, odkud je panovník dále distribuoval (160 t v Chorsabadu za Sargona II). V 8. a 9. stol. př. n. l. je v pramenech zmiňováno na čtyřicet kovářů. Od 9. století je součástí výzbroje asyrské armády železná dýka (patar pazili) o délce čepele 40 cm a šupinové brnění ze železných a bronzových částí. Ve stejné době dochází k výrobě železných nástrojů: radlic, špičáků, motyk, teslic, sekyr, pil a dalšího zboží včetně hřebíků, ale také železných pout „pro ruce a nohy“ (Pleiner 1975, 8–10). Dosud není znám tvar a rozměr pecí, ani způsob organizace výroby.

Jsou známy pouze polotovary, vlastní výrobky (Belli 2004, 224–241) a písemné zprávy o distribuci, případně kovářském zpracování výrobků v prostředí Mezopotámie (Pleiner 1972, 10). Jsou známy lokality těžby rud, většinou v galeriích, a místa jejich zpracování, na nichž se zachovaly až několik metrů mocné vrstvy železářských strusek (Belli 2004, 233–237).



Obr. 4: Hefaistova kovárna s šachtovou pecí zobrazená na attické váze s černofigurovou keramikou, po roce 500 př. n. l. (Forbes 1976, 59)

Z oblasti Předního východu postupovala znalost výroby železa do ostatních částí Starého světa, zejména do středomořské kulturní oblasti, cestou přes Kypr do Řecka. Řecké městské státy v západní Anatolii užívaly železa již v 6. a 5. století př. n. l. v archaickém období, jak dokazují výzkumy v Ionském Milétu (Yalçin 2004, 243). Na území Kréty a vlastního Řecka se objevují železné prsteny v královských hrobech již ve 14. a 13. stol. př. n. l. Jsou známy lokality západní Kréty, kde se nachází množství železářských strusek (na 6000 t) pocházejících snad již z počátku 1. milénia před n. l. Na území dnešního Řecka pracovaly železářské huti na poloostrově Euboia již v 9. a 8. stol. př. n. l., které zpracovávaly místní rudy (Varoufakis 1989, 280). Přes absenci nálezů samotných tavicích pecí je známo pět vyobrazení šachtových pecí na attické černo a červenofigurové keramice. Na nejstarší černofigurové váze z první čtvrtiny 5. stol. př. n. l. je zobrazen mimo vlastní šachtové pece i kovář přidržující kleštěmi na kovadlině zpracovávanou železnou houbu s pomocníkem vybaveným kladivem. Scéna zobrazuje ukončení tavby, když došlo k odstavení měchů (Britské muzeum). Shodné typy pecí jsou zobrazeny na vázách z 5. stol. př. n. l., uložených v různých muzeích (Photos 1989, 295). Přes Bosporskou úžinu směřoval další proud šíření znalosti výroby železa do jihovýchodní Evropy a na Balkánský poloostrov difuzí z maloasijského kulturního okruhu. Zároveň pronikaly do jihovýchodního evropského prostoru patrně kimerijské vlivy s železem zakavkazského původu.

POČÁTKY EVROPSKÉHO ŽELEZÁŘSTVÍ

Středoevropská lokální metalurgie železa v 6. a 5. stol. př. n. l. poskytovala pouze výrobky pro vedoucí vrstvy společnosti. Nejstarší archeologicky datované pece z halštatského období z evropského prostředí jsou zahloubené jámové pece z hornorakouského Wimsbachu. Nejlépe zachovaná pec V měla cca 30 cm zahloubenou válcovou nístěť o průměru 30 cm. Horní část pece byla vyzděna kameny a pokryta vrstvou strusky, vzduch byl patrně dmýchán přes horní okraj pece. Pece shodné konstrukce jsou známy z Británie (Kestor, Devon) a Irska (Pleiner 2000, 146). Veneto–ilyrská část podunajské indoevropské větve patrně

¹ Ložiska měděných rud bývají rozdělena do dvou zón, oddělených hladinou spodní vody. Horní část ložiska tvoří oxidační zóna se snadno redukovatelnými oxidovými a karbonátovými rudami bohatými mědí, zatímco cementační zóna, tvořící spodní hmotnější část ložiska sulfidických vrstev obsahuje chalkopyrit CuFeS₂ nebo chalkocit Cu₂S s menším obsahem Cu. V rozmezí těchto vrstev se obvykle nacházela přírodní měď (Pleiner 2000, 11).



Obr. 5: Etruské železářské aktivity v populonském zálivu v představě výtvarníka Jamese Gurneye (www.artrenewal.org)

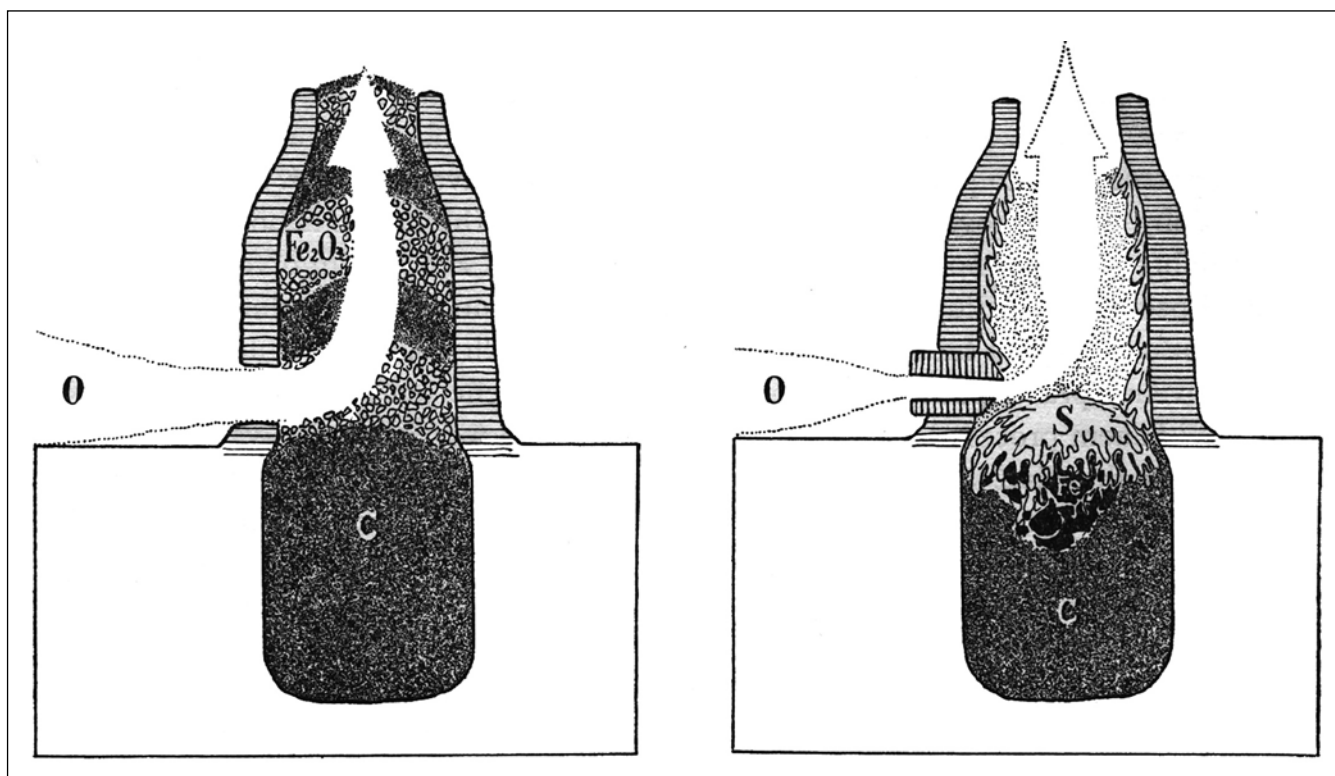
vyvinula šachtovou pec se zahluobenou nístějí, kterou převzali východní Keltové a později rozvíjela i další etnika (Pleiner 1979, 8). V oblastech dnešní Sýrie, Palestiny, Kypru a Řecka se užití železa objevuje na počátku 1. tisíciletí př. n. l. Z oblasti severní Sýrie (Tel Siuh a Faquani) pocházejí železné strusky, včetně polotovarů a drobných výrobků datovaných do 8. až 7. stol. př. n. l. V Kolchidě na pontickém pobřeží byly zkoumány čtyři lokality s 28 hutěmi vybavenými buď jednou, nebo dvěma pecemi datovanými metodou C14 do období od 9. po 7. stol. př. n. l. Jámové pece, jimiž byly hutě vybaveny, měly kotlovitou nístěj o průměru 30 cm rozšiřující se kuželovitě směrem vzhůru, nad nístějí vyzděnou kameny o celkovém zahluobení 80 cm (Pleiner 2000, 144). Z oblasti Řecka a Egejských ostrovů jsou známy pouze struskové haldy z Thráckého pobřeží datované teprve do 2. stol. př. n. l.

Do západního Středomoří se rozšířilo užití a výroba železa nejdříve v 10. stol. př. n. l. Po více jak 4000 let dodávaly doly na středomořském ostrově Elba suroviny pro výrobu kovů. Byly to nejprve měděné rudy a později železné rudy, jejichž těžba a zpracování dala od 9. stol. př. n. l. základ významné místní produkci železa. Ta se nejprve prosadila v blízké Itálii v prostředí Villanovské kultury, na jejichž základech vznikala etruská civilizace, s níž je rozvoj místní metalurgie spojen. První šachtové železářské pece vznikaly na východním pobřeží ostrova při výchozech železné rudy, případně na mořském břehu při ústích štol. Konec místní železářské výroby, která trvala více jak pět století, byl způsoben likvidací ostrovních porostů nutných pro výrobu dřevěného uhlí. Řešením se ukázala doprava rud z ostrova přes 10 km široký Piombinský průliv do nově zakládaných hutí na přilehlém pobřeží na chráněném kotvíšti Barratského zálivu v místě zvaném Populonia, při stejnojmenném Etrusky založeném městě. Zdejší železářství dosáhlo vrcholu ve 4. a 3. stol. př. n. l. Z přístavu bylo železem zásobováno celé západní Středomoří. Od 3. století došlo k postupnému překrývání starších provozů mocnými vrstvami strusek. Úpadek výroby nastal v posledním století př. n. l. a na přelomu letopočtu dochází k zániku hutí, města a současně končí dolování na ostrově Elba. Počátkem 20. století dochází k průmyslovému využití až sedm metrů mocných struskových vrstev rozkládajících se na ploše

cca 200 ha, které zpracovávaly hutě ve Follonice. Těžba strusek, při níž došlo k nevratnému ničení hmotných dokladů etruské železářské výroby, skončila v šedesátých letech minulého století (Merta 2004, 7). Odhaduje se, že v této oblasti bylo do změny letopočtu vyrobeno na 500 000 t železa.

Etruští železáři používali pece šachtové konstrukce, patrně první tohoto typu užitě v západním Středomoří. Až do 19. století se však zde používalo i výhňových pecí (korsická a katalánská výheň). Údaje o velikosti pece se různí od výšky šachty několika metrů (Berveglieri – Valentini 2003, 437), po reálnější údaj o výšce 125 cm a detailním popisu pece podle nálezu z Chiessi, Comune di Marciano (Brambilla 1993).

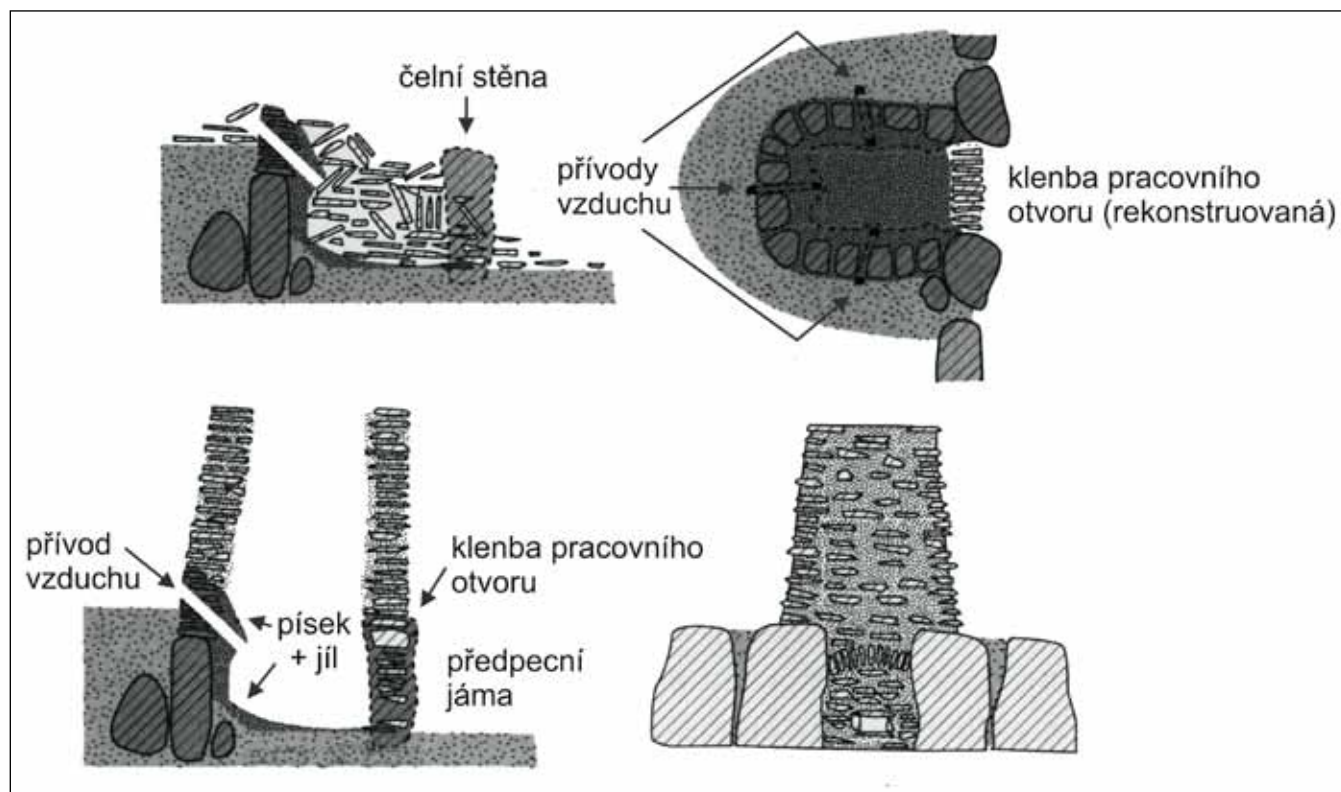
Z etruského prostředí prostřednictvím italských kmenů a dále přes Alpy se železářská výroba rozšířila k Protokeltům a od nich po 8. stol. př. n. l. do oblastí dnešního Rakouska, Porýní a posléze dále do západní Evropy. Železářství Keltů se nejprve rozvíjí v sídelních komorách, tedy v okrscích, v nichž dochází v hutích o několika pecích k výrobě pro místní potřebu, později vznikaly mohutné výrobní komplexy pracující pro široké okolí, případně i pro dálkový obchod. Při expanzi do jižní Evropy v 5. a 4. století vlastnili Keltové množství železných zbraní, při ovládnutí severní Itálie poznali nejen etruské výrobní techniky železa, ale i další technické vymoženosti. Současně se užití železa šíří do kolonií Velkého Řecka vznikajících při severním pobřeží Středozemního moře (8. až 7. stol. př. n. l.) a do punské civilizace v severní Africe, odkud železo penetrovalo do afrického vnitrozemí. Pro šíření kulturních vlivů a zároveň nových technologií včetně výroby železa byla významná Masilia (od 6. stol. př. n. l.) s dosahem importů do oblasti pramenů Dunaje a Rýna. V Kelty ovládaném prostředí se postupně formují významná výrobní archeologicky zkoumaná centra. Z oblasti Le Mans z blízkosti Alençonu již od 6. stol. př. n. l. jsou známy pece se zahluobenou nístějí, pracující do změny letopočtu (Mangin 2004, 56), z oblasti Yonne, lokality Clérimois, pak z části do terénu zapuštěné pece s částečně kamennou konstrukcí podkovovitého půdorysu s dómovitým pracovním prostorem elipsovitého půdorysu o vnitřním rozměru 150 × 120 cm o výšce 120 cm, nad níž se nacházela vzhůru se rozšiřující šachta.



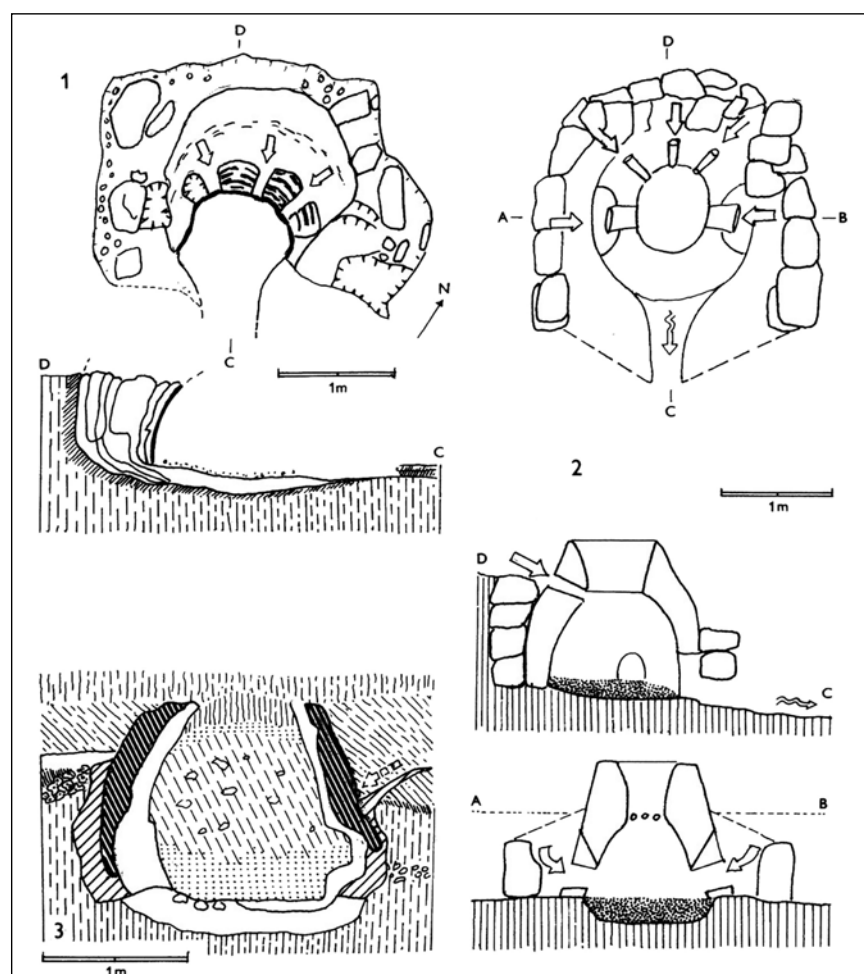
Obr. 6: Schéma redukce v laténské peci se zahloubenou nístějí, Podbořany, 1. stol. př. n. l. Vlevo počátek redukce, vpravo – konec tavby. Fe_2O_3 – železná ruda, C – dřevěné uhlí, S – struska, O – proud vháněného vzduchu (Pleiner 1958, 127)



Obr. 7: Baterie galořímských pecí nalezená během archeologického výzkumu v letech 1993–1995, Montaine Noire, lokalita Les Martyrs, departement Aude, Francie (Ferdier 2004, 62)



Obr. 8: Galořímská pec z pohoří Montagne Noire, lokalita Les Martys, departement Aude, Francie. Nahoře náleзовý stav, půdorysný rozměr nístěje 90 × 60 cm při odhadu pracovního prostoru pece cca 200 l, dole rekonstrukce vzhledu pece nalezené při výzkumu v letech 1993–1995 (Ferdier 2004, 63)



Obr. 9: Galořímské a Norické pece. 1 – Clérimois, Francie s vícerymi výmazý a trojicí dyšen, půdorys náleзовého stavu a půdorys rekonstrukce, řez nalezenou pecí; 2 – rekonstrukce kopulovitě pece z téže lokality, řez podélný a příčný; 3 – řez pecí z Möselhof, Görttschitztal, Korutany (Pleiner 2000, 164)

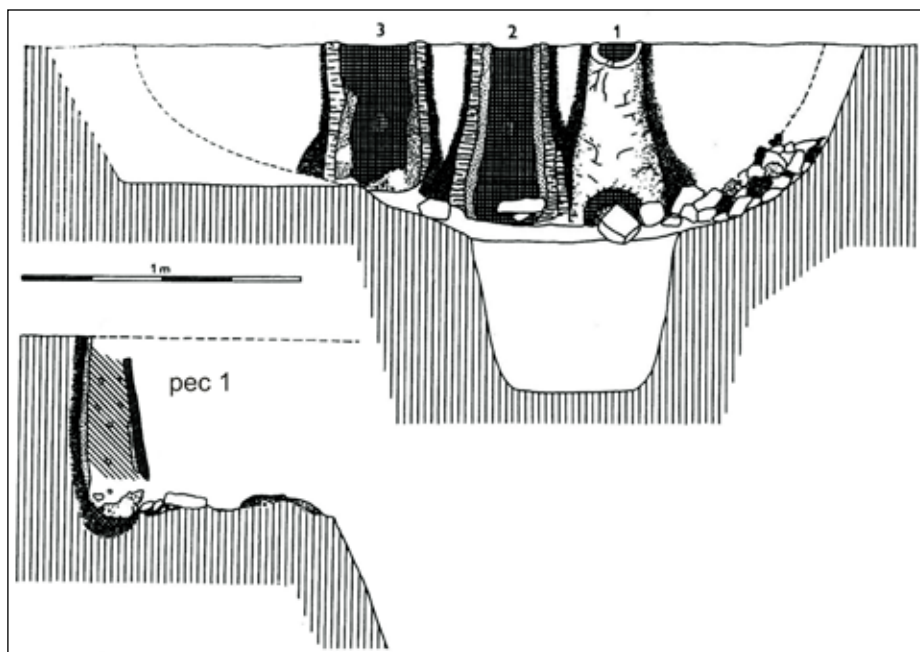
Celková výška mohutného aparátu je odhadována na 250 cm. Systém pěti vzduchových kanálů směřoval šikmo dolů do nístěje pece. Nístěj se skláněla k obslužnému prostoru, kam směřoval kanálek pro výpust strusky. Produktem tavby byla železná houba o hmotnosti větší 80 kg (Mangin 2004, 61–62). Některá výrobní centra byla postupně ovládnuta a využívána Římem ponejvíce pro zbrojní účely. Kromě jiných lokalit na území Galie Narbonensis byla zkoumána lokalita Les Martyrs v pohoří Montagne Noire, kde v období kolem změny letopočtu pracovalo několik hutí. Ty během své činnosti vyprodukovaly na 1 500 000 t strusek. Byly zde archeologicky zkoumány relikty 15 šachtových pecí o předpokládané výšce šachty 220 až 240 cm a zjištěném půdorysu 90 × 70 cm (Mangin 2004, 62–63). Z nich šest zkoumaných pecí bylo uspořádáno do skupiny po dvou, tří a osamocené pece s vyhřívací výhni (Pleiner 2000, 179). Provoz hutí (faktorii) byl řízen římským úředníkem (procurator ferricarum). Severně limitu je známo několik center výroby s desítkami železářských pecí s pracovním kupolovitým prostorem, jako v Siegerlandu, Schwarzwaldu nebo při bavorském oppidu Kehlheim. Také při oppidu na Magdalensbergu v Korutanech pracovala řada hutí, které zpracovávaly místní limonity s příměsí manganu v pecích s kupolovitě rozšířenou šachtou opatřenou třemi až pěti vzduchovými kanály. Dvojice starších pecí od Möselhofu měla „úlovitý“ vnitřní prostor o průměru 110 cm a dosahovala výšky takřka 150 cm. V údolí Görschitz, nedaleko Hüttenbergu bylo odkryto patnáct velkých pecí podobného typu při mocných struskových odvalech (Straube 1996, 22–27). Norické železo (ferrum noricum) s vyšším obsahem uhlíku mělo vynikající fyzikální vlastnosti. Jeho kovářské zpracování probíhalo na oppidu na Magdalensbergu, kde nebyly nalezeny relikty redukčních pecí, pouze vyhřívací výhň. Místní výrobky, nebo jejich polotovary, byly předmětem dálkového obchodu do celého římského světa. Jednalo se většinou o kovadliny, skoby, sekyry a další výrobky – dokonce až ve Skotsku bylo nalezeno na 900 000 hřebíků původem z Magdalensbergu². Ze zachovaných nápisů na stěnách taberny v místní obchodní čtvrti jsou známy různé druhy kovářských výrobků určených k obchodu (Straube 1996, 107). Železářské pece byly zřejmě obdobné konstrukce jako robustní

pece z blízké lokality Möseldorf v údolí Görschitz, vybavené šachtou s částečně zaklenutým prostorem o zachovalé výšce 150 cm, nad nístějí o průměru větším jak 120 cm (Pleiner 2000, 164). Ve vzdálenosti asi 300 m od pece se nachází až 3 m mocná a 300 m dlouhá vrstva strusek, pocházející patrně z produkce dalších pecí. Pece podobné konstrukce byly nalezeny v Kitschdorfu a Rattelsdorfu. V Burgenlandu, ležícím na východním okraji bývalé provincie Noricum, byla zkoumána řada lokalit vybavených pecemi se zaklenutým pracovním prostorem: Unterpullendorf, Oberpullendorf, Weppersdorf, Piringsdorf a Klostermarienberg, které byly nazvány typem Burgenland. Nístěj pece z Oberpullersdorfu byla rozměru 95 × 115 cm, jílem tvořená klenba pracovního prostoru pece o síle 10 cm se zachovala do výšky 60 cm. Podle struskových stop v ploché nístěji pece z Klostermarienbergu byly pece vybaveny několika dyšnami (Pleiner 2000, 165). Produktem pecí byly železné houby o hmotnosti do 50 kg (expozice muzea v Šoproni).

VÝVOJ ŽELEZÁŘSTVÍ NA NAŠEM ÚZEMÍ

Z bližší oblasti budoucích českých zemí jsou z období neznatelných počátků metalurgie železa známy pouze ojedinělé nálezy – importy, např. železná rukojeť dýky z Gánovců (17. stol. př. n. l.), nebo nález sady nedokončených nožů a sekyr z hradiska v Molpíru (800 př. n. l.). První kované předměty halštatského období napodobují tvar litých bronzových předloh (nože, sekyrky s tulejí, meče s jazykovitou rukojetí). Významným rysem tohoto období (700 až 400 př. n. l.) je hojnější výskyt železných předmětů a zbraní, spojený s pronikáním kimerijských nomádských kmenů. Inventář předmětů nalezených v jeskyni Býčí skála (1872) obsahoval také kovářské nářadí, které bylo patrně součástí obětíště fungujícího v rozmezí let 620 až 520 př. n. l. (Parzinger–Nekvasil–Barth 1995). Se vznikem místní metalurgie železa můžeme počítat od konce 6. stol. př. n. l. Pozoruhodný rozvoj metalurgie na našem území je spojen s příchodem keltského etnika (400 př. n. l.), které přináší nový typ šachtové pece se zahlobenou nístějí pro jímání strusky, nazývanou východokeltskou pecí. Vznikají hutě v nově se formujících

železářských oblastech při výchozech lehce tavitelných rud na místech s dostatkem dříví pro výrobu dřevěného uhlí – na Novostrašecku huť ve Mšeci s devatenácti pecemi zmíněného typu, s pražištěm rudy, vyhřívací výhni, kovárnou a skladem výrobků, huť v Kamenných Žehrovcích a další hutě v okolí Prahy (Pleiner 1958, 110–121; Venclová, N. a kol. 2008). Východokeltský typ šachtové pece se rozšířil po severní Evropě mezi Germány, kde byl užíván po více jak pět století na území Dánska, Německa a Polska. V okolí Gór Swientokrzyských, Opole a na Mazovsku byly odkryty stovky těchto pecí užívaných hutníky przeworské kultury po více jak půl tisíciletí. Pece se zahlobenými nístějemi vyplněnými struskou jsou uspořádány v řadách svědčících o postupně řízené výrobě a použití pece (či snad pouze její nístěje) pro jednu tavbu³.



Obr. 10: Baterie zadlabaných pecí umístěná v pracovní jámě, pec č. 1 se zachovanou čelní stěnou šachty a řez touž pecí, Ořech u Prahy, 1. stol. n. l. (Pleiner 2000, 153)

² Železné výrobky o celkové hmotnosti 10 tun (z toho 800 000 hřebů o velikosti 5–40 cm a hmotnosti 7 tun) uložila do země posádka římské pevnosti Inchtuthil ve skotském Perthshire při svém odchodu z místa v osmdesátých letech 1. století našeho letopočtu. http://www.scran.ac.uk/packs/exhibitions/learning_materials/webs/56/Inch.htm

³ Pro pec typu Scharmbeck se šachtou velmi subtilní konstrukce se předpokládá možnost jejího přenesení pro další tavbu (Pleiner 1958, 151)



Obr. 11: Nístěje samostatně stojících pecí vyplněné struskou, Sudice na Moravě (Souchopová – Stránský 2011, 33)

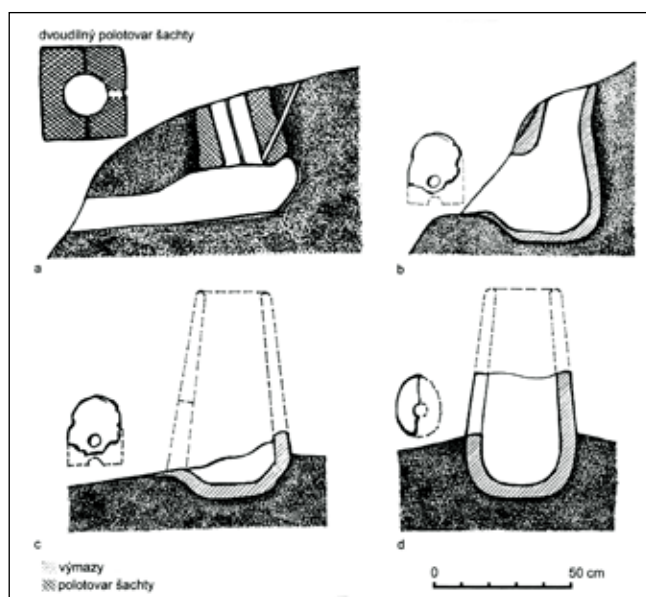
Nístěje pecí byly opatřeny „kanálem“ (případně více kanály) vedoucím pod šikmým úhlem do spodní části pece. Bylo užíváno pět variant řešení přívodu vzduchu do nístěje pece, zatím s nezjištěným důvodem tohoto konstrukčního řešení (Orzechowski 2011, 41). Pece byly šachtové se samostatně stojící tenkostěnnou šachtou z jílového materiálu. Stejný typ pece z římského období je znám i ze Sudic u Boskovic, kde byly zkoumány tři hutě se 136 pecemi (Ludikovský – Souchopová, 1978).

Z pražské kotliny jsou známy volně stojící pece z Prahy-Podbaby a trojice pecí částečně zapuštěných do stěny jámy (Pleiner 2000, 151, 154) a další již dříve zkoumané pece na Slánsku: Loděnice, Klobuky, Buštěhrad, Číčovice, Tuchlovice, Slatina, Slaný, Holubice, Roztoky a také Mlékojedy, Březno u Loun, na Moravě pak Přítluky (Pleiner 1958, 155).

Slovanské etnikum, které přišlo na naše území počátkem 6. století, si s sebou přineslo znalost výroby železa, při níž užívalo zadlabaných železářských pecí.

Nejstarší model, známý již z území jižní Ukrajiny, je označován jako typ Želechovice podle eponymního naleziště na severní Moravě a je na našem území datován na sklonek 8. a počátek 9. století. V Želechovicích byly nalezeny více než dvě desítky pecí situovaných do baterií, další potom ve větším rozsahu zkoumaných hutích v zalesněné oblasti střední části Moravského krasu. Zde byly odkryty hutě s bateriemi o osmi a sedmi pecích. V pecích tohoto typu je předpokládána produkce železa s vyšším obsahem uhlíku, neboť v konečné fázi tavby mohla být houba odsunuta do zadní vyduté části pece a ponechána nauhličením masou dřevěného uhlí (Pleiner 1958, 208–224). Pece nalezené v oblasti Moravského krasu využívaly dvoudílné, svisle dělené předem připravené šachty, usazené nad vydutý vnitřní prostor pece. V období rozkvětu Velké Moravy v druhé polovině 9. století se zde objevují další dva typy pecí. Byly zjištěny při výzkumech prováděných opět ve střední části Moravského krasu, kde bylo odkryto celkem šestnáct hutí činných v období od 8. po 11. století (Souchopová 1986; Merta – Merta 1999, 33). Pece z druhé poloviny 9. století tam byly zkoumány v huti v poleší Olomučany, lesní trať U obrázku. Bylo to pět do podloží zadlabaných pecí s tenkou hrudí a pět nadzemních šachtových

pecí (resp. jejich nístějí). Oba typy pracovaly souběžně v rámci jedné dílny, při tavnách se užívalo vypouštění strusky a dle nálezů v odpadových haldách lze usoudit, že byl používán jednotný typ dyznové cihly, která uzavírala hrud' pece při tavně. Pro hutě z 8. a 9. století je typická intenzivní práce s poměrně velkým množstvím vyrobeného železa a lze je pokládat za hutě, které pracovaly sice odloučené od současných mocenských center, ale pod jejich organizací a správou (Souchopová – Stránský 2008, 116).



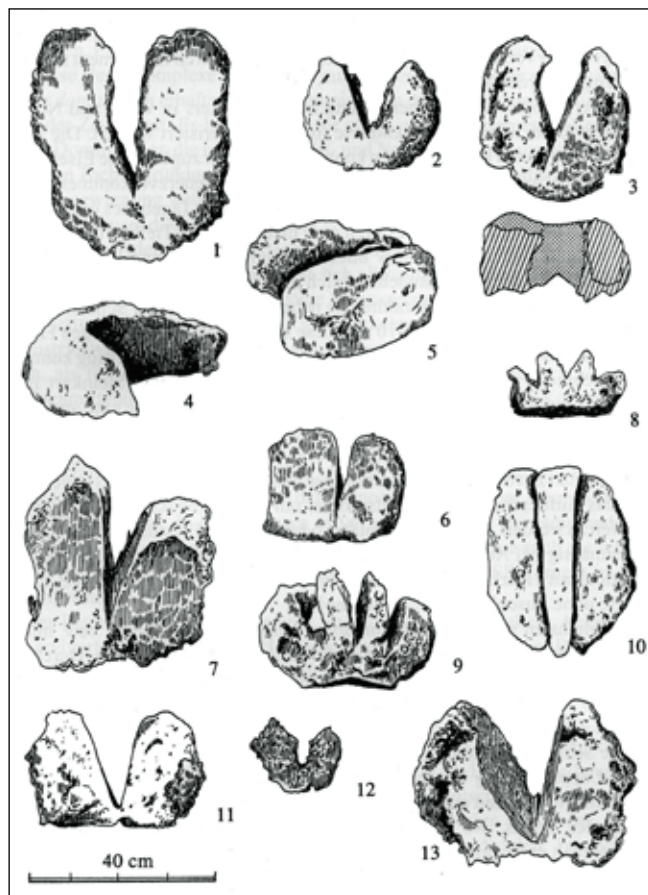
Obr. 12: Trojice základních typů raně středověkých pecí užívaných dle současného stavu poznání v prostředí českých zemí, rekonstrukce na základě nálezů ze střední části Moravského krasu. a – zadlabaná pec typu Želechovice (8.–poč. 10. stol.); b – zadlabaná pec s tenkou hrudí (8.–poč. 10. stol.); c – samostatně stojící šachtová pec (konec 10.–11. stol.); d – varianta předchozí pece, avšak se zahloubenou nístějí (konec 10.–11. stol.), u pecí b, c a d dyznové štítky (kresba J. Merta)



Obr. 13: Samostatně stojící šachtová pec s dyznovým panelem, typ Nemeskér, 8.–9. stol. Rekonstrukce v archeologické expozici muzea v Šoproni, Maďarsko (foto J. Merta 2010)



Obr. 14: Struskové vylitky nížeji železářských pecí, Adiyaman–Samsat, Anatolie, 9.–10. stol. (Yalçın 2004, 244)



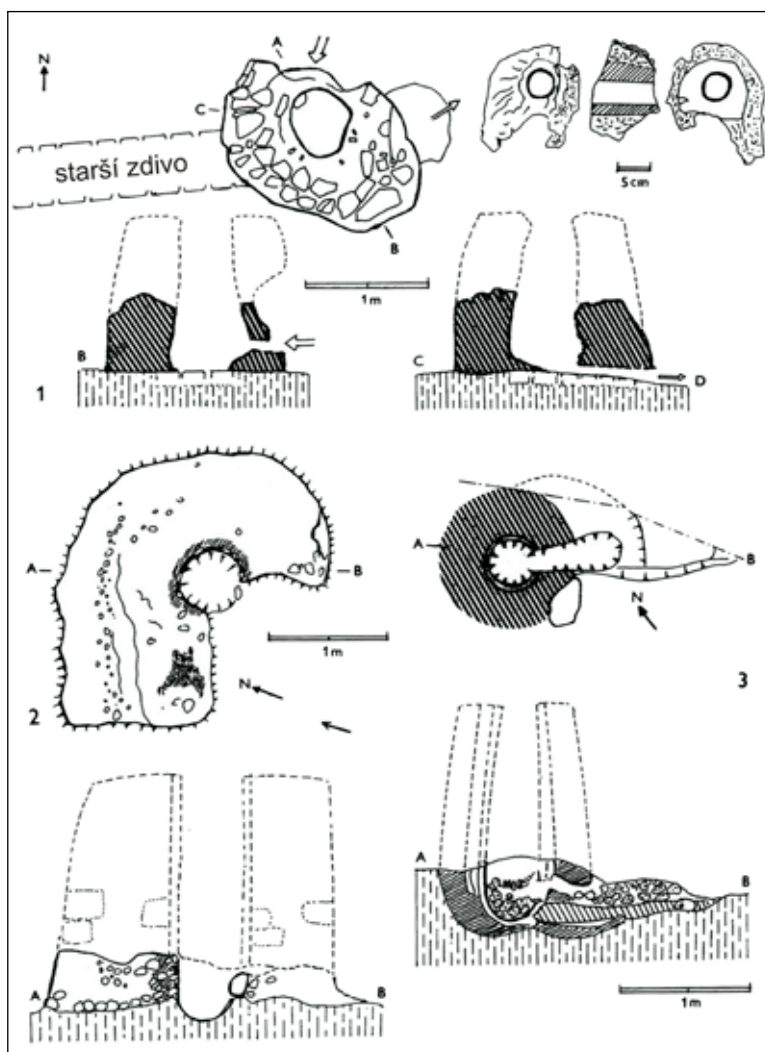
Obr. 15: Naseknuté (prstovité) lupy z Evropy a Asie. 1 – Sarmisegetusa, Rumunsko, 1. století n. l. (9 kg); 2 – Olomučany, 9. stol. n. l. (2,45 kg); 3 – Leczyca, Polsko, 12.–13. století (2,2 kg); 4 – Vyšgorod, Ukrajina, (4,9 kg); 5 – Velikije Bolgary, Rusko, 13. století (4 kg); 6 – Almaty, Kazachstán, 13. století. Častější je výskyt prstovitých lup ve Skandinávii: 7 – Hardinbugti, Norsko (12,45 kg); 8 – Lamoya, Norsko (0,6 kg); 9 – Alems, Švédsko, raný středověk (5,22 kg); 10 – Vaxtorp, Švédsko, raný středověk; 11 – Li, Norsko, po roce 800 (2,83 kg); 12 – Vadstena, Švédsko, 14.–15. století (0,4 kg); 13 – Edland, Norsko, raný středověk (10 kg) (Pleiner 2000, 239)

Stejné typy pecí se nacházejí také v hutích na jižním Slovensku (Gemer), východním Slovensku (Zemplín, Füryová – Míček – Mihok – Tomčo 1991, 123–144), v Maďarsku jižně Balatonu (Somogy) a jeho západní části (Šoproň) při rakouském Burgenlandu a na jeho území (Gömöri – Kisházi 1985, 323–341). Typy pecí užívaných v uvedených oblastech byly šachtové s výškou šachty do 100 cm o vnitřním průměru šachty do 30 cm, někdy částečně zapuštěné do terénu, jindy volně stojící. Pece z území Maďarska jsou nazývány podle maďarských eponymních lokalit (Nemeskér, Imola). Železná houba byla částečně zpracována přímo v huti, patrně ihned po skončení tavby, vykováním do tvaru bochníkovité lupy opatřené zásekem (patrně k ověření kvality výrobku a k usnadnění dalšího dělení). Následovalo nejspíše zpracování do sekerovitých hřiven, které byly předmětem obchodu, případně směny, či do potřebných hotových výrobků. Hřivny tvořily jednu z forem předmonetárního platidla před zavedením mince u západních Slovanů, což dokazují nálezy několika pokladů z Pobedimi, nebo 4 212 kusů hřiven z Krakova, obojí z přelomu 8. a 9. století, případně nálezy ze Skandinávie, kde se uplatňují ve funkci platidla ještě v dalším období (Součopová 1995, 71–72).

Lze tedy konstatovat, že ve středoevropském prostoru v období 10. a 11. století velké železářské dílny organizované z mocenských center mizí a výroba železa přechází do rozsahem malých hutí, vybavených pouze jednotlivými pecemi. Na území Moravského krasu

dochází k zániku velkých dílen vybavených zadlabanými pecemi po roce 907 a hutníci, pracující již s volně stojící šachtovou pecí, se do Krasu vrací v závěru 10. století. Z písemných pramenů známe v Čechách několik řemeslníků z období 12. století pracujících se železem, často vázaných k vlastnictví pozemků a uvedených v pramenech jménem, kteří odváděli feudálové rentu ve formě železných lup. Další skupinu tvořili řemeslníci patřící přímo feudálové, kteří v listinách nebývají uvedeni jmény (Charvát 1985, 182).

Pro 13. století jsou známy dvě listiny vztahující se k huti u Domašova nad Bystřicí v roce 1220 a 1269 s výčtem poplatků v lupách, které jsou však označovány jako pozdější falza (Štěpán 1986, 28). Z tohoto období jsou známy výše celních poplatků buď za železné výrobky, nebo za surovinu (Charvát 1985, 176). Vyrobené svářkové železo bylo dodáváno ve formě prvotně vykovovaných železných lup, které byly dále řemeslně kovářsky zpracovávány ve vesnických kovárnách (Kuřim, Procházka 1992; ZSO Polom, Hošek – Machač – Merta 2007, 38), případně v prostoru vznikajícího městského osídlení, např. nálezy koláčovitých kovářských strusek z Náměstí Svobody (Merta – Peška 2002), Staré radnice (Loskotová 1993), a Starého Brna (Malý – Zapletalová 2007), které mohou být pozůstatkem dalšího zpracování železných polotovárů. Z archeologicky zkoumaných lokalit v pražské kotlině a samotné předlokační Praze jsou doklady z 9. až 13. století o převážně kovářské výrobě, výskytu vyhřívacích pecí, pražicích pecí pro úpravu rud a snad užití tavicích jámových pecí, v nichž mohla být s úspěchem tavěna bahenní ruda s poměrně vysokým obsahem železa, známá z naleziště jihovýchodně Prahy (Pleiner 1958, 177; Havrda – Podliska – Zavřel 2001, 95). Podobný typ pecí jako v Praze byl užíván např. v korutánském a štyrském železářství, v německé oblasti Lahn a Dill, případně v jižním Švédsku a norském Gudbrandsdalu (Pleiner 1956, 235). V oblasti východního Norska při švédské hranici a v okolí Bergenu byly po předcházejících typech šachtových pecí (šachtová pec se zahloubenou nístějí a šachtové pece s boční výpustí strusky) zaváděny od počátku 15. století pece typu Evenstadt, což jsou vlastně výhně podobné výhním katalánským (Espelund 2011, 94).⁴ Podobný typ výhníových pecí považuje Kořán za obecně rozšířený v českém prostředí před zavedením šachtových „dýmaček“ (Kořán 1980, 9, 11). Z českého prostředí pro tento typ redukčního aparátu ovšem chybí archeologické doklady. Do rozšíření hamerské výroby na území českého státu na přelomu 13. a 14. století patrně sloužily k redukci železných rud šachtové kusové pece stejné konstrukce⁵ jako v předchozích staletích (Maur 1982, 19), které se postupně zvětšovaly a jejichž konstrukce se stávala robustnější. Pro období po 11. století se uchovaly pouze doklady z oblasti středních Čech, kdy stav zachování konstrukce pecí umožňuje její pravděpodobnou rekonstrukci. Jedná se o starší výzkumy dvojice pecí v Chýnici (Krajč – Matoušek 1985, 170–175),



Obr. 16: Středověké silnostěnné šachtové pece. 1 – Ludres, pec č. 3, 8.–10. století; 2 – Radětica, 13. století; 3 – Chýnice u Prahy, 13. století. Půdorysy a řezy pecemi s naznačenou možnou výškou šachty (Pleiner 2000, 184)

případně pece u Radětic (Pleiner 1971, 42). Podobné pece, jejichž konstrukce vychází ze starší tradice, musely pracovat i na Moravě⁶. V uvedeném období se hutě nacházely v polohách v blízkosti výskytu železných rud, případně lesa, poskytujícího surovinu pro výrobu dřevěného uhlí, při vesnickém osídlení většinou při okrajích starších sídelních oblastí.

V prostředí západní Evropy probíhal od 10. do 14. století vývoj šachtové pece v řadě železářských oblastí navzájem nezávisle. Existuje řada archeologicky zkoumaných lokalit, kde většinou podle reliktů odkrytých nístějí a spodních zachovaných částí konstrukce pecí lze usuzovat na zvětšující se velikost pecí, její objem a předpokládanou výšku masivní šachty pece při postupném zavádění užití vodního kola. Příkladem mohou být pece ze Saint Dizier a Dietzhölzthal. V některých případech je z nálezové situace při nálezu dvojice pecí patrný nárůst velikosti pecí, případně možnost cílené nepřímé výroby tekutého surového železa (Genoeserbusch).

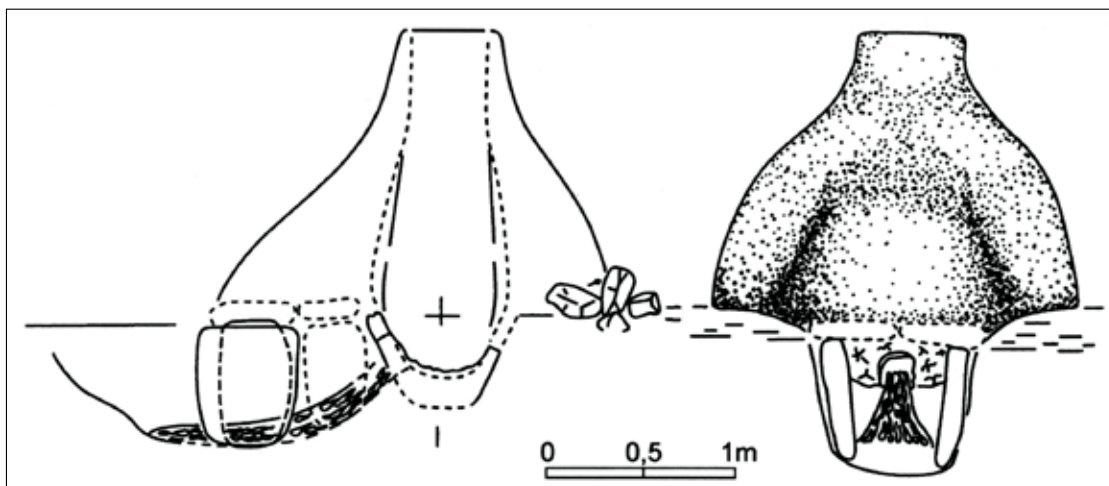
4 Espelund zmiňuje i použití jámových pecí zvaných hellegrype v souvislosti s první fází předpokládaného dvoufázového pochodu přímé výroby železa používaného na území Norska v období kolem roku 600 (Espelund 2006).

5 Pomineme-li tzv. domašovské falzum datované k roku 1269 hovořící o dvou hutích v povodí říčky Bystřice „Molendinis sive huttis“ výslovně uvádějících použití vodního kola (Štěpán, 1986, 23).

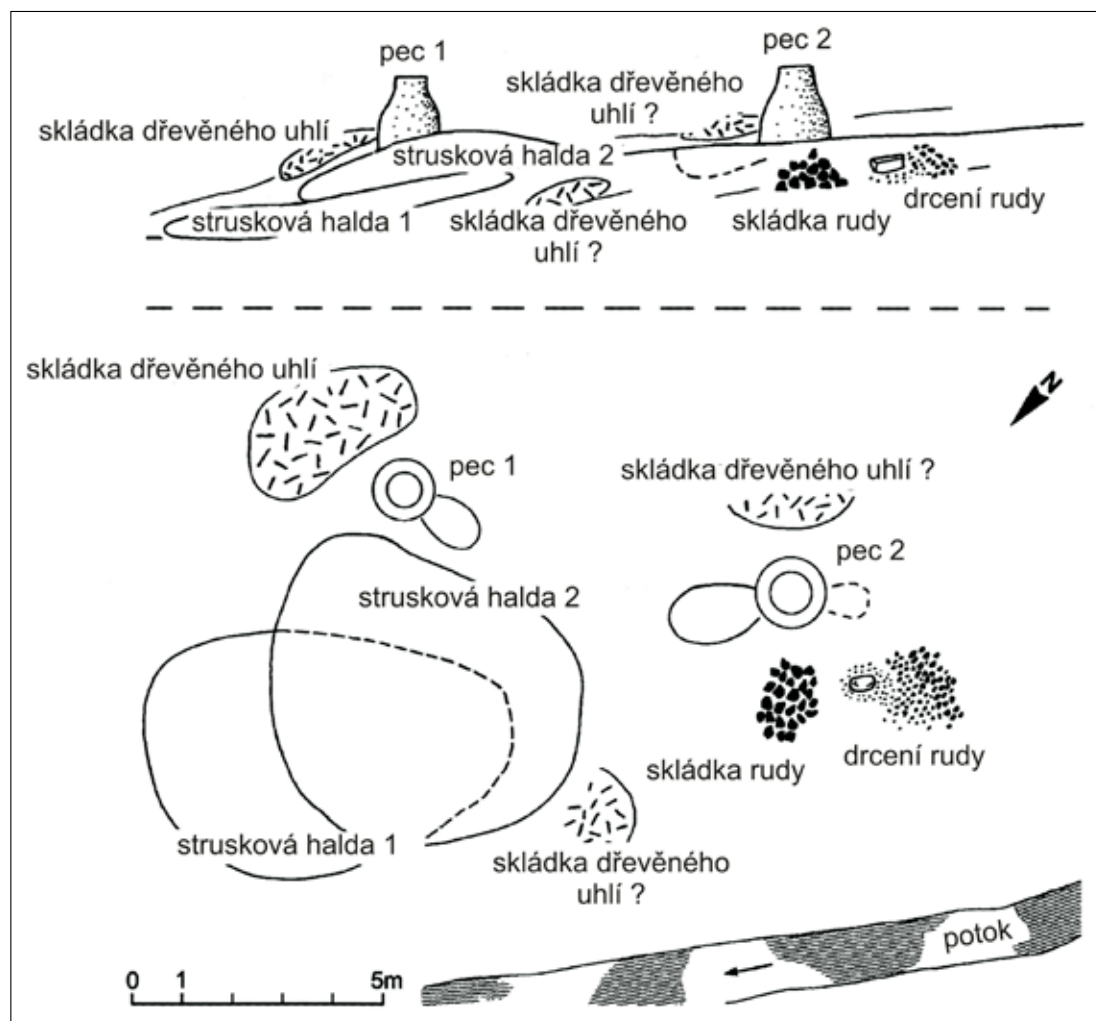
6 Pece z Chýnice datované k přelomu 12. a 13. století se zachovaly v podobě torz. Pravděpodobně to byly nevysoké šachtové pece s mělkou nístějí a předpecí, srovnatelné s aparáty v jiných evropských hutních revírech středověku (Pleiner 2000, 184). Pec z Radětic rekonstruoval autor výzkumu jako tlustostěnnou pec s kruhovou šachtou o síle stěny asi 28 cm stojící na udusaném základě, do něž byla zahloubena předpecní jamka o průměru 23 cm. Šachta pece byla otevřena hrudním otvorem s výpustí strusky. Šachta nebyla modelována z hlíny (jak to bylo u ostatních starších pecí), ale z kvádrů kambrických droby, které byly z vnitřní strany vymazány hliněným výmazem. Výška pece byla odhadnuta na 100–120 cm. Zbytky výfučen nebyly při výzkumu nalezeny. Při peci byl nalezen pražicí žlab opatřený 6–7 železnými trubkami – patrně dmýchacími. Pokud šlo skutečně o železářskou pec (později snad užívanou k tavbě místních olověných rud), potom užití kamene jako stavebního materiálu předznamenalo novou etapu v konstrukci pecí (Pleiner 1958, 42).



Obr. 17: Nistěj pece ze St. Dizier, Francie, 11.–12. stol. Prostor před pecí zalit vypuštěnou struskou (foto Paul Merluzzo 2009)



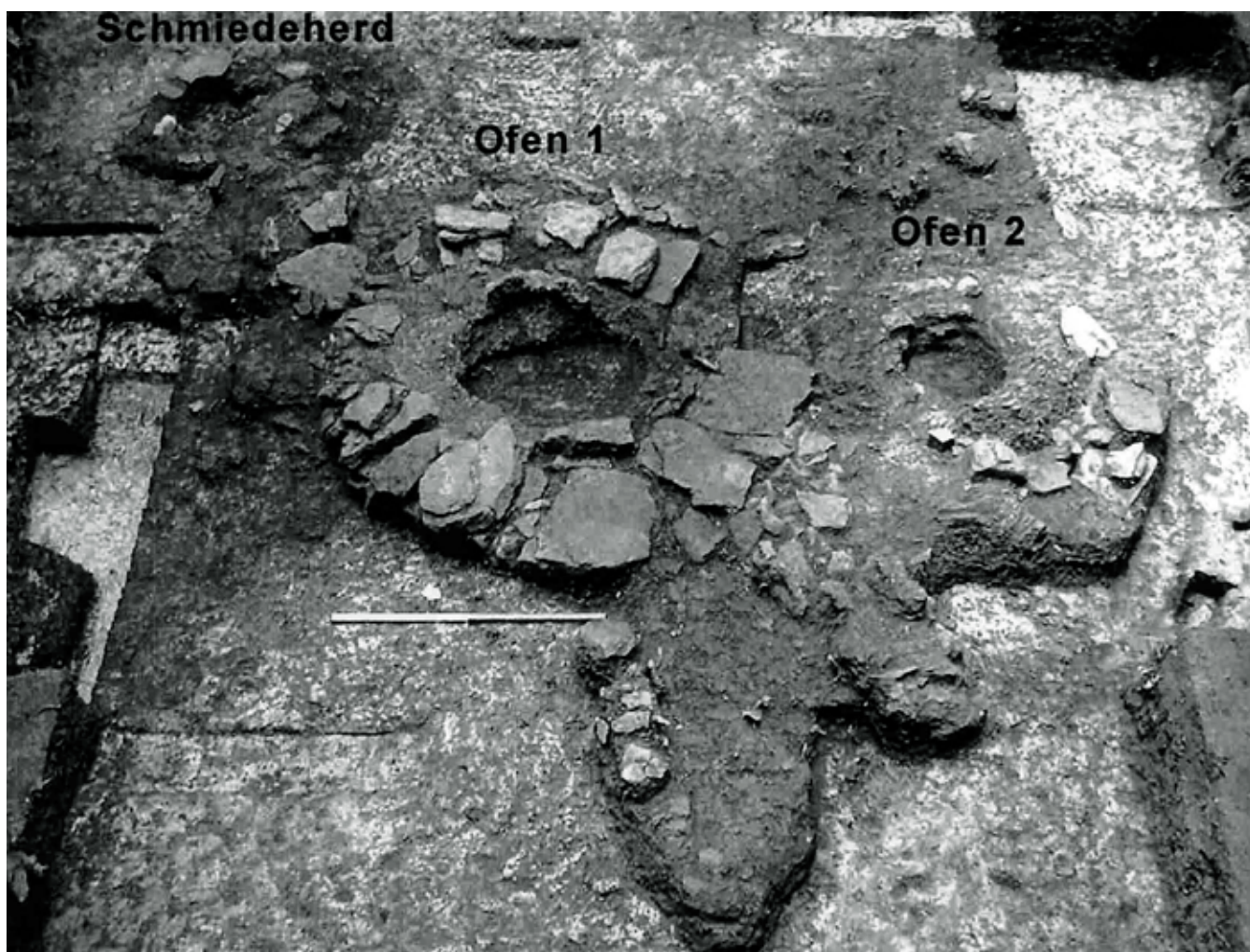
Obr. 18: Rekonstrukce typické středověké kusové železářské pece z oblasti Dill/Dietzholz se struskovým kanálem vyloženým kamennými deskami (Jockenhövel – Willms 2005, 383)



Obr. 19: Rekonstrukce železářské huti ukazující rozložení pracoviště s jeho jednotlivými částmi – příprava železné rudy, místa ke skladování rudy a dřevěného uhlí, místa ukládání struskového odpadu i blízkost vodního zdroje, lokalita A68, Dietzhölztal–Ewersbach (Jockenhövel – Willms 2005, 200)



Obr. 20: Nístěj pece ze St. Dizier, Francie, druhá polovina 15. století (foto Paul Merluzzo 2009)



Obr. 21: Nístěje dvojice šachtových pecí a kovářská výheň železářské huti v Genoeserbusch, Peppange, Lucembursko, přelom 13. a 14. století (Overbeck 2004, 14)

HAMRY, VODNÍ KOLA A CESTA K VYSOKÉ PECI

Užití vodního kola k pohonu železářských aparátů vedlo k přestěhování poloh hutí od výchozů rud, nacházejících se většinou na bezvodých polohách, do údolí k vodním tokům. Tato skutečnost, následovaná využíváním poloh opatřených vodními náhony (jejichž zřízení patřilo k nejnákladnějším úkonům) k dalším výrobním činnostem, vedla k překrytí a likvidaci reliktní vrcholné středověkých železářských hutí (např. výrobní podniky ve Velké Losenici, Polničce, Ronově, mlýny prakticky na celém Žďársku, Adamově, Blansku, Althamr v Josefském údolí). Je to jedno z možných vysvětlení dosavadní absence dokladů intenzivní železářské výroby datovatelných do období vrcholného středověku. Je pravděpodobné, že v počátcích hamerské výroby doznívala výroba známá z předchozích období. Výrobní zařízení nazývané v období vrcholného středověku hamrem tvořila tavicí pec, jejíž houbovitý produkt byl následně kovářsky zpracován pomocí hamerského kladiva tvořícího součást dílny. Dokladem výrobní činnosti jsou nálezy redukčních hutních a kovářských strusek tvořící často mocné odpadní vrstvy. Většina strusek pocházejících z venkovského, případně městského prostředí jsou však strusky kovářské ve formě plano-konvexních otisků dna výhni (Brno – Náměstí Svobody, Merta – Peška 2002). Rozšíření hamrů souvisí se vzrůstající potřebou železa jako základní suroviny pro výrobu nejrůznějších nástrojů a náradí

při zavádění nových výrobních metod v zemědělství, stavebnictví, řemeslné výrobě a zejména vojenství (Maur 1984, 222). První využití vodního kola pro pohon hamerského kladiva je známo z první poloviny 12. století z Francie. Přibližně ve stejném období jsou zmiňovány hamry v Anglii a mezi roky 1226–1228 v Německu, vždy ve spojení s aktivitami cisterciáckých klášterů. Již mateřský klášter řádu v Clairvaux se od svého založení roku 1115 specializoval na železářskou výrobu a ostatní dceřiní kláštery tuto praxi následovaly (Pleiner 2000, 251). Podíl cisterciáků na výrobě železa ve 13. století ve Francii dosáhl 75 %, v Anglii dokonce plných 100 %, podobně v dceřiných klášterech ve Švédsku (Karlsson 1985, 341)⁷. Podíl cisterciáckého kláštera ve Žďáře na rozvoji železářství v oblasti Žďárska není kupodivu historiky potvrzen⁸. Nejstarší písemné zprávy o provozech hamrů v českých zemích pocházejí z první poloviny 14. století (Strašice 1325, klášterní huť v Teplé 1350, Kadaň 1356, Stará Huť u Nižbora 1386, Hroznětín 1350, Hamrmyl 1365, Stěble 1387). Pro 15. století dokladů o činnosti hamrů razantně přibývá a hamerské provozy pracují v oblastech Podbrdsko, Krušnohoří, ale i v jižních a západních Čechách, také v Pošumaví a v Podkrkonoší. Důležitou oblastí s rozvinutou železářskou výrobou se stalo Žďársko, oblast kolonizovaná od poloviny 13. století právě místním cisterciáckým klášterem, založeným roku 1265. Zde při toku

⁷ Částečným důvodem tohoto stavu může být i větší množství dochovaných písemných dokumentů pocházejících právě z církevního prostředí.

⁸ Zatím nevyjasněn je důvod získání Křtin ležících při železářské oblasti Moravského krasu do majetku premonstrátů v Brně-Zábřovicích již před rokem 1235 (Verbík 1987, 20). Teoreticky bychom mohli uvažovat, že podnětem k získání tohoto majetku bylo právě železářství.

řeky Sázavy a Losenického potoka pracovala již v době předhusitské (patrně již od poloviny 14. století) řada hamrů, a to jak na české, tak na moravské straně staré zemské hranice. Majetkové změny a obchodní transakce hamníků provozujících v osobním vlastnictví hamerské provozy na přibyslavském a později polenském panství jsou od roku 1441 zaznamenávány v Přibyslavských městských knihách, práva a povinnosti hamníků jsou stanovena roku 1480 v artikulech majitele panství Viktorina Minstrberského (Půža 1892, 96–98). Původní nedochované nařízení držitele panství pro hamníky patrně pochází již z období před husitskými válkami, podobně jako výsady Petra z Kravař pro šternberské panství z roku 1410, nebo Jindřicha a Beneše z Kravař pro město Zábřeh a přilehlé hamry z roku 1411 (Maur 1987, 17). Mezi jednotlivými zápisy se vzácně vyskytují údaje o platbě formou „želez“ (hamr Fiklovský při Žďáru 1480, dnes Dolní Hamry), nebo formou „šínů“ (opět na hamru Fiklovském), případně vyrovnání dluhu několika „kopami kos“. V řadě případů byl hamr v majetku více provozovatelů, ve 14. a 15. století většinou měšťanů z okolních měst (Jihlava, Německý Brod), kteří se mohli finančně podílet i při těžbě železné rudy, přímým vlastnictvím hamrů až po nákladnický systém. Později od druhé poloviny 15. století jsou hamry přímo v majetku výrobců „mistrů“. Tato změna souvisela patrně s poklesem výnosu z železářské výroby v důsledku hospodářského útlumu od konce 14. po celé 15. století (Maur, 1984, 223). O celkové zadluženosti a případné neschopnosti splácení dluhů a dávek svědčí časté majetkové změny, případně dělení držení a užívání hamru mezi několik majitelů se stanovením podmínek jeho provozu (Půža 1914, 259–261). Bohužel se nezachoval detailní technický údaj o nálezu a poloze dvojice šachtových pecí odkrytých a zároveň zničených v padesátých letech minulého století při stavbě železnice u Hamrů nad Sázavou. Podle údajů dělníků šlo o pece o dochované výšce šachty 120–150 cm a vnitřním průřezu šachty 40–50 cm (Kreps 1970a). Další významnou železářskou oblastí bylo podhůří Jeseníků, kde již roku 1339 pracovala huť u Moravského Berouna, snad původní huť Domašovská, známá z falza (1269, které patrně

zachycuje situaci kolem roku 1300 – Štěpán 1986, 23), roku 1374 v Jeseníku, roku 1393 trojice hamrů u Rudy a ještě do husitské revoluce hamry u Koldštýna. V 15. století se formuje významná oblast u Zábřehu (Maur 1982, 19).

Vyrobené zboží bylo zpočátku distribuováno pouze místně, od 14. století dochází k organizování dálkového obchodu železem v rukách tzv. železníků, zejména se specializovanými výrobky, jejichž činnost máme pro polovinu 14. století doloženo v Praze, kde byly obchodní formy železa skladovány ve „sklepích železníků“, od nichž odebírali železo jednotliví řemeslníci (Kořán 1972, 13, 14). Stejně tomu bylo v Brně (Vičar 1965, 279)⁹. Pro vnitřní obchod železem jsou nedostatečné informace, na konci 14. století (1383 a 1390) se jesenické (frývaldovské) železo vyváželo přes hanzovní Gdaňsk do Anglie, další část produkce směřovala do německých měst, zvláště do Vratislavi (Kreps 1977, 7, 13). České a moravské hutě produkovaly většinou pouze základní polotovary (žďárské železo roku 1476 do Prahy, Kreps 1977, 13), případně výrobky určené pro místní trhy vyráběné ve specializovaných provozech srpařských, kosařských a hřebíkářských hamrů (Grózl kosař, Mikuláš srpař, Ambrož kosař – všichni z Přibyslavska), případně hamrů vyrábějících plechy a dráty. Existují však doklady exportu některých specializovaných výrobků (kosy do Norimberka 1571, Půža 1914). Většinu produkce tvořily ploché tyče (tzv. šíny)⁵ a další formy polotovarů¹⁰. Pro některé specializované výrobky (zbroj, nože) byly dováženy oceli většinou z alpské oblasti (Štýrsko, Kořán 1972, 13–14).

Vodní kolo bylo běžně užíváno v českých zemích k pohonu obilních mlýnů již od 13. století, původně jako jednodušší konstrukce „na spodní vodu“, později od 14. století na horní dopad, což vyžadovalo složitější zřízení přívodu vody prostřednictvím náhonu a vantroků. Energie tekoucí vody bylo postupně užito také k pohonu dalších strojů (čerpání důlních vod, transport materiálů při hlubinné těžbě, stoupy, úpravnická důlní zařízení), mezi něž patřily měchy dmýchající vzduch do metalurgických pecí a pohon hamerského kladiva. Tato zařízení tvořila obvykle vybavení huti, kde hamerské kladivo tvořilo dominantní část technického zařízení, podle něhož

byla celá středověká železářská huť nazývána (Hamr, Hammermühle, Hammermill, martinet). Tavicím aparátem byla šachtová pec, jejíž rozměr, přímo závislý na množství dmýchaného vzduchu, se postupně zvětšoval. Zajímavým dokumentem, z jehož obsahu je možno usuzovat na přímý vliv užití vodního kola k pohonu měchů – a tím i na zvýšení produkce šachtové pece, je údaj o velikosti dávek z klášterního hamru v Gairachu ve Štýrsku. Hamr provozovaný kartouzským klášteřem měl odvádět do Leobenu roku 1262 dávku: čtyři velké nebo deset malých kusů železa. Podobně měl klášter v Seitzu odvést ročně počínaje rokem 1280 výslovně osm „velkých kusů“ (Sperl 1993, 55). Ze štýrského prostředí jsou známy reliktů pece z Wiesterwiese, jejíž vnitřní průměr šachty byl 110 cm, při níž byla nalezena dyšna s otvorem o průměru 8 cm.



Obr. 22: Dochovaná nístěj železářské pece, Kropa, Slovinsko, pozdní středověk (foto J. Merta 2010)

⁹ Pod pojmem železník (ferrator) jsou pro vrcholný středověk chápáni obchodníci, kteří prodávali kusové železo. V Brně je k roku 1348 jmenován Heinricus ferrator, Elblinus Ferreus a Georgius Ferreus, k roku 1365 pak Perchtoldus Ferrator (Vičar 1965, 279n; týž 1966, 244), v roce 1367 platí daně Nicolaus ferrator, roku 1389 Seydlinus eysner de Yglavia spolu s blíže neurčeným Eysnerem (Urbánková – Wihodová 2008, 19/73r, 18/26v, 19/42v). Je možné, že u některých z výše uvedených jmen se může jednat o přídomky, nikoliv již o řemeslo.

¹⁰ Základním typem výrobků byly tyto polotovary: plochá železa – šíny o váze 2–2,5 kg (doložené k roku 1390), tyčové železo o čtvercovém profilu – štáfy, štáfce (dvakrát těžší než šíny), železa s kruhovým profilem – štangle, kované pláty, svazky tyčí nebo drátů, případně již hotové výrobky zhotovené ve specializovaných hamrech (kosy, srpy apod.).



Obr. 23: Detail oltárního obrazu sv. Anny Samotřetí (tzv. Rožňavská Metercie) s realistickým vyobrazením práce v huti, 1513 (Rožňavská Metercia 2001, 8)



Obr. 24: Vyobrazení huti z poloviny 16. století přináší známá práce Jiřího Agricoly. I když se zde (tak jako nejspíše i na rožňavském obraze) jedná o huť zpracovávající stříbrné rudy, můžeme předpokládat, že její vzhled odpovídá železářským hutím pozdně středověkého a raně novověkého období (Agricola 1933, 383; originál vydán roku 1556)

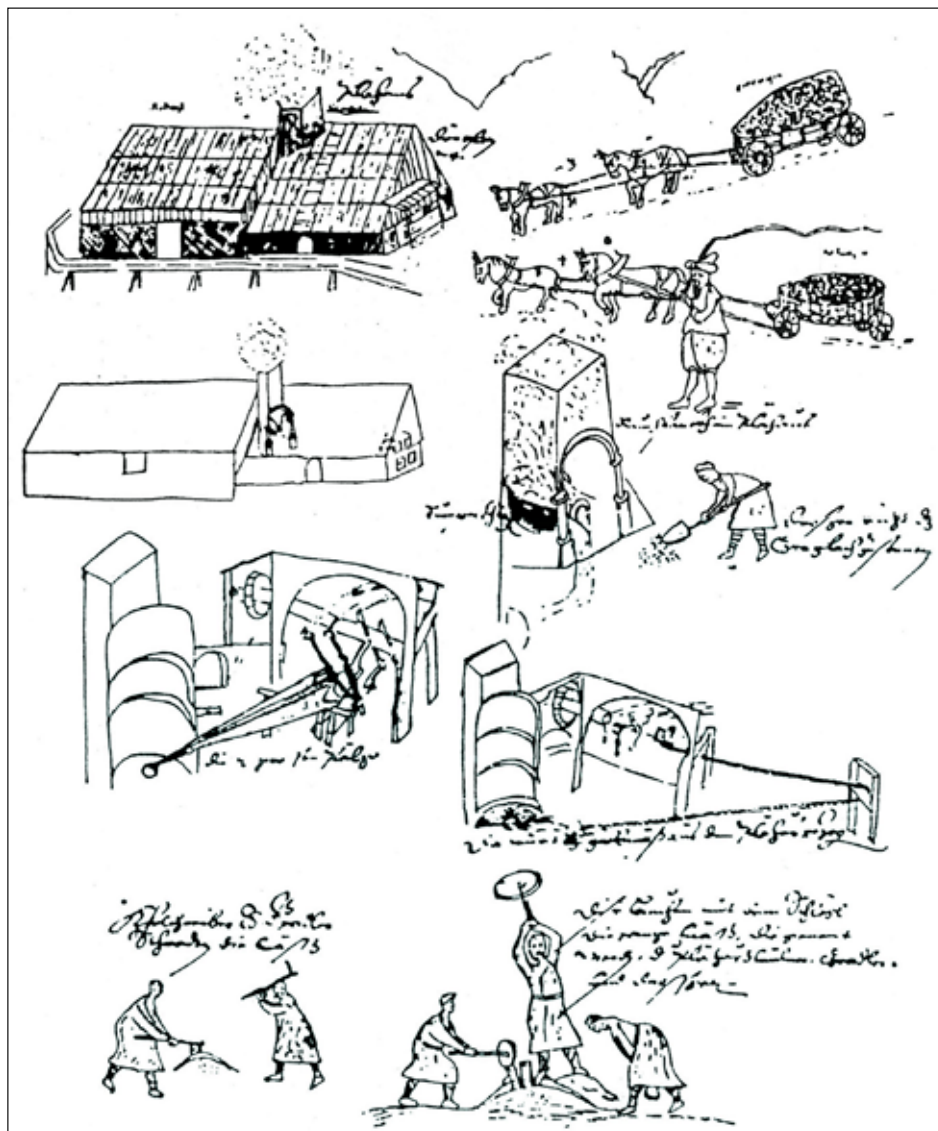
Relikty obdobné středověké pece byly odkryty v korutanské lokalitě Lölling, kde pracovalo postupně devatenáct pecí, poslední z nich až do závěru 18. století. Rozměry pecí naznačují, že k pohonu měchů bylo patrně užito vodního kola. K roku 1250 je uváděno v nejmenovaném údolí na čtyřicet vodních kol (ostatně v alpském prostředí je železářská pec uváděna právě pro užití vodního kola jako „radwerk“). Také z českých archivních pramenů je patrné, že nejdříve bylo vodního kola užito k pohonu měchů zásobujících vzduchem kusové pece, když nejdříve jsou produkty huti označované jako „kusy“ železa (massa ferri z domašovské listiny snad o váze 28 až 56 kg) zpracovávány ručně (Hofmann 1971, 235). Pravděpodobnou podobu železářské šachtové pece známe z vyobrazení v práci G. Agricoly z poloviny 16. století, tedy za předpokladu, že se v železářství užívalo stejného typu pecí, jako při tavení barev-

ných kovů a stříbra (Agricola 1933, 361, reprint). Zobrazená šachtová pec svým tvarem i velikostí navazovala na pece staršího období. Je zajímavé, že na vyobrazení v tzv. Kutnohorském graduálu a iluminaci získané v roce 2009 pro Galerii Středočeského kraje ze samého konce 15. století jsou vyobrazeny šachtové pece řádově o 1 m vyšší, zásobované vzduchem pomocí pákového převodu dvojicí ručně poháněných měchů. Po polovině 16. století došlo k zavádění pecí o větších rozměrech, zřejmě podle typu pece „stückofen“ užívaného v prostředí alpských zemí. Produktem byla železná houba, jejíž hmotnost při postupném zvětšování pece dosáhla na konci 16. století až 300 kg, na Berounsku např. 150 kg, v Krušnohoří 150–200 kg, na Vrchlabsku 300 kg, ve Štýrsku 500–800 kg (Kořan 1974, 243) – tam při ukončení výroby v kusových pecích kolem roku 1770 až 1000 kg (Sperl 1974, 56)¹¹. Proto musela být pro další

¹¹ Výpočet předpokládaného výkonu šachtové pece (bez udání jejích rozměrů, nejspíše s pětinasobným objemem proti raněstředověkým pecím slovanským), užívaných k dmýchání vzduchu dvojicí měchů poháněných vodním kolem vede k zhruba dvouapůlnásobnému výsledku vůči peci s ručními měchy. Vsázka při užití ručního měchu činí 5–10 kg dřevěného uhlí za hodinu. Při stejné hmotnosti vsazené železné rudy a zhruba desetiho-
dinovém výrobním procesu mohlo být dosaženo železné houby o hmotnosti 25 kg (výsledek však může být velmi proměnlivý podle bohatosti rudy), která se ovšem po dalším kovářském zpracování dále zmenšila. Při užití dvojice hrotitých trojúhelníkových měchů, známých již od římského období, o objemu 50–100 litrů poháněných vodním kolem při dmýchání v cyklu jednoho zdvihu za vteřinu, by bylo do pece vháněno 180–360 m³ vzduchu za hodinu. Ke spálení kilogramu dřevěného uhlí je zapotřebí 8 m³ vzduchu, tedy vsázka uhlí činí 23–45 kg/hod se srovnatelnou hodnotou rodné vsázky. Při tavně trávající zhruba 10 hodin by tak mohlo být dosaženo výsledné hmotnosti lupy mezi 50 až 110 kg (Sperl 1993, 55).

kovářské zpracování rozlámána na menší manipulovatelné části. Původní výška šachty byla asi do 3 m, na konci 16. století však dosáhla výška šachty kusové pece až 5 m. V českém prostředí se taková pec nazývala dýmačka (v posledních desetiletích 16. století se užívá termínu „železa dýmati“, Půža 1914) a k jejímu zavedení přispěli patrně odborníci povolání z Rakouska¹². Produkci těchto pecí známe z pracovních výkazů jednotlivých hutí (1574 brdská oblast, 1576 Janovice, po 1690 Polná u Přibyslavi), které pracovaly v režii feudálního velkostatku. Vývoj tohoto typu pece užívající

stále přímou výrobou s produktem železné houby ve zvětšující se šachtové peci se udál v alpských zemích a následně v závěru 16. století ovlivnil užití tohoto typu pece i v českých zemích. V alpském prostředí přežívala Stückerofen až do závěru 18. století. Jedna z posledních pecí, jejíž vnitřní profil známe, pracovala do roku 1775 v Löllingu (Sperl 1993, 11). Přes šachtovou pec s výškou šachty až 5 m dospěl vývoj ke konstrukci pece s nepřetržitou výrobní kampaní, tzv. Flossofen, kde podle způsobu vedení tavby mohlo být produktem i slévateľné surové železo (Pleiner 2000, 255)¹³.



Obr. 25: Vyobrazení jednotlivých fází práce železářské huti vybavené velkou kusovou pecí (v českém prostředí nazývanou dýmačka). Můžeme vidět dopravu rudy a dřevěného uhlí specializovanými vozy dvou typů, práci u pece, dmýchání vzduchu dvojicí měchů poháněných vodním kolem, vyjímání železné houby za pomoci řetězu navíjeného na hřídel vodního kola po odstranění měchů, i rozbíjení výsledného produktu tavby na menší, lépe zpracovatelné kusy, rok 1613 (Herrschaftsarchiv Steyer, Hs. I, 1041, Oberösterreichisches Landesarchiv)

12 Ve smlouvě mezi vdovou Maruší z hamru v Ronově a vdovou Voršilou z hamru v Pořežíně, datovanou roku 1592 v Přibyslavi, je uváděna při hamru v Pořežíně dýmačka. Maruše poskytla pro hamr v Pořežíně (který nebyl vybaven kovacím zařízením, produkt se zpracovával v ronovském hamru) část technologického zařízení a nářadí ze svého hamru pro stavbu „huti nové“, jehož seznam je v listině uveden. Jedná se o ojedinělý popis patrně běžné výbavy hamru, užívaný nejen na samém konci 16. století. Seznam uvádí: „Klýtšťe velké i malé 14, sekáče 4, stekle železné 2, lopaty železné 2, kladívka malá 2, berchhamr 1, sekáče, jak radlice natínají 1, nakovadly velké, jak se šíny a radlice dělají, kola malá k měchům i s hřídeli 2. Též pár měchů má dáti spraviti, a to zejména tyto, jak se železo vyhřívá ke kování. Co se pak kola velkéhamrského i se hřídelem dotýče, na to aby společně náklad vedly a je jak náleží spraviti daly.“ Dále se obě strany smlouvají, „železa, kteráž dá v Pořežíně (Voršila) vypáliti, sobě po tři roky v ronovském hamru kovati mohla, zároveň na své náklady uhlí přivézt i dělníky platiti“ (Půža 1914, 258).

Na místě pořežinského hamru vznikl později obilní mlýn využívající vodního díla na Losenickém potoce. Výčet vodních kol (podle charakteru náhonu na svrchní vodu) dokládá tradiční vybavení hamru, které přežilo u nářadových hamrů ještě do první poloviny 20. století. Roku 1573 jsou v inventáři při vyhořelém hamru v Moravském Berouně uváděny troje kožené kovací měchy, formy k dmýchání větru, dýmačka a vyhříváčka s příslušenstvím, šestery malé kleště, dvě lopaty, železná tyč s velkými kleštěmi, dvě železná kovadliny, dva klíny, škrabky a tři železná háky (Kreps 1977, 12).

13 Mezi pyrotechnologická zařízení spojená s problematikou hutnictví železa náleží i pražící pece rozpoznané v nedávné době na území několika zaniklých středověkých vsí na Rokycansku týmem Katedry archeologie Západočeské univerzity pod vedením Pavla Vařeky. Ten k těmto zatím ojedinělým vrcholně středověkým objektům nepochybně v blízké době publikuje relevantní informace (příspěvek Pavla Vařeky *Iron ore mining and processing connected with the Late Medieval rural settlement in the Rokycany region* přednesený na 7th International Symposium on archaeological Mining History konaném 25. května 2012 v Jihlavě).

Tekuté surové železo bylo cíleným produktem vysoké pece, která se vyvíjela na sobě nezávisle v různých tradičních železářských oblastech Evropy již od 12. století – střední Švédsko, Lapphyttan, Vashyttan; Haus Rhade u Rhudenschiedu, Bergische Land, Dürstelthall a v Siegen u řada lokalit v Siegerlandu a Sauerlandu – Německo; Falltenjura, Boécourt – Švýcarsko; později Porúří – 13./14. století Kierspe, Märkische Land (Pleiner 1998, Abdinghof – Overbeck 1998, Knau 1998). Ze stejného období pocházejí železářské pece archeologicky zkoumané lokality z Genoesenbusch z Lucemburska, z nichž pec č. 1 se vyznačuje svou velikostí při možnosti výroby surového železa (Overbeck 2005, 2004a, 2004b) a pec č. 2 ze St. Dizier, Lotrinsko, přičemž pec č. 1 z téže lokality pochází již z přelomu 11. a 12. století (Merluzzo 2010). V Čechách pracují první dvě vysoké pece v posledním desetiletí 16. století (1595 Strašice a 1596 Kovářská v Krušnohoří), na Moravě pak počátkem století následujícího (Janovice před rokem 1615, Adamov 1635, Kreps 1968).

V mimoevropské oblasti bylo produkováno a odléváno surové železo již od 5. stol. př.n.l. v Číně (nálezy zemědělského nářadí), produkce ve velkém měřítku je doložena od 3. stol. př. n. l. (Wagner 1999).



Obr. 26: V některých oblastech se pro nás středověká technologie dochovala až do dvacátého století – šachtová kusová železářská pec z oblasti západní Afriky, 20. století – (Yalcyn 2004, 221)

NEZBYTNOST DALŠÍHO VÝZKUMU

Dokumentace železářství v českých zemích v období raného a počátků vrcholného středověku je pro nedostatek pramenů nesnadný úkol. Listinný materiál je buď nedostatečně zpracován, nebo neexistuje, případné archeologizované lokality byly zřejmě většinou zničeny při exploataci zbývajících surovin či využitím vhodných stanovišť v novověku, nebo se je prozatím nepo-

dařilo identifikovat. Velkou pozornost by si z hlediska případné úlohy klášterů v organizaci důlní a zpracovatelské činnosti, tak jak ji známe ze západní Evropy, zasloužilo podrobné zpracování a vyhodnocení příslušných archivních pramenů.

Zmíněné období přináší řadu technologických a technických změn, jako je opuštění výroby ve velkých hutích situovaných v tradičních železářských oblastech, přechod k rozdrobené výrobě při vesnických sídlech a konečně zavádění hamerské výroby, pro niž máme k dispozici několik archivních zpráv zmiňujících pouze její existenci snad od poloviny 13. století, jistě pak od století následujícího. Právě toto období přineslo řadu technických inovací vynucených změnami společnosti se vzrůstajícími nároky na její hmotné zásobování pro řemeslnou potřebu, stavby, hlubinnou důlní těžbu a vojenství (Nováček 2001, 289). Hmotné doklady pro hamerské provozy středověku až na výjimky doposud chybějí. Stejně tak neznáme způsoby zásobování, případně obchodu s výrobky, pro prvé období hamerské výroby. Od 14. století je prokázána činnost obchodu prostřednictvím „železníků“, existence dálkového obchodu železem a specializovanými materiály i výrobky v rámci celého tehdejšího západního světa s využitím dálkového obchodu jak po souši, tak po moři, postupně přecházející do široce organizované činnosti obchodních domů a společností.

LITERATURA

- Abdinghoff, T. – Overbeck, M. 1998: Archaeological investigations on early blast furnaces in central Europe. In: *Il ferro nelle Alpi*, Bienne: Commune di Bienne, 128–132.
- Agricola, G. 1933: Dvanáct knih o hornictví a hutnictví. Praha.
- Brambilla, G. 1993: Elban Blow Bloomery. In: *Comunicacions 1er Simposi internacional sobre la Farga Catalana*. Ripoll, nečíslováno.
- Belli, O. 2004: Iron Casings, Pre – Islamic Period. In: *Anatolia Cradle of Castings*. Istanbul, 224–241.
- 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, 423–465.
- Espelund, A. 2006: Pit metallurgy? *Metallurgija – Journal of metallurgy* 12/2–3, 155–164.
- Espelund, A. 2011: Norway, as a bloomery iron producer. In: *The archaeometallurgy of Iron*. Praha: Archeologický ústav AVČR Praha, 87–98.
- Ferdier, A. (ed.) 2004: *Le fer*. Paris.
- Forbes, R. J. 1967: *Metallurgy*. In: *History of Technology II*. Oxford.
- Füryová, K. – Miček, M. – Mihok, L. – Tomčo, Š. 1991: Začiatky železiarstva vo východnej časti Gemera v stredoveku. In: *Zborník Slovenského národného múzea 85 – Archeológia* 1.
- Gömöri, J. – Kisházi, P. 1985: Iron ore utilization in the Carpatian Basin up to the Middle Ages with special regard to the Bloomeries in Western Transdanubia. In: *Neogene Mineral Resources in the Carpatian Basin*, Budapest, VIII RCMNS Congress – Hungary, 323–344.
- Havrdá, J. – Podliska, J. – Zavřel, J. 2001: Surovinové zdroje, výroba a zpracování železa v rané středověké Praze (historie, současný stav a další perspektiva bádání). *Archeologické rozhledy* 53, 91–118.
- Hofmann, G. 1971: K zavedení vodních kol v našich železných hutích. In: *Rozpravy NTM* 47, Z dějin hutní výroby. 233–245.
- Hošek, J. – Machač, K. – Merta, J. 2007: Železářská houbá ze zaniklé středověké osady Polom (okr. Blansko). In: *Archeologia technica* 18, Technické muzeum v Brně, Brno. 37–44.
- Charvát, P. 1985: Zpracování železa v písemných pramenech českého středověku do počátku 14. století (s přihlédnutím k výzkumu v Chýnici). In: *Archeologické rozhledy XXXVIII*, 2, Praha. 181–186.
- Karlsson, L. 1985: Cistercian Iron Production, in: *Mediaeval Iron in Society*, Jernkontoret, s 341, Stockholm. 341.
- Knau, M. – Beier, T. – Sönnecken, M. 1998: Iron and steel in Siegerland and Sauerland. From the direct to the indirect process in iron production, In: *Il ferro nelle Alpi*, Bienne. 133–138.

- Kořan, J. 1972: Přímá výroba železa v období 1200–1600. In: Přehled vývoje starého železářství v českých zemích, Praha. 8–16.
- Kořan, J. 1974: Nerostné suroviny. In: Dějiny techniky v Československu (do konce 18. století).
- Kořan, J. 1980: K přímé výrobě železa v českých zemích. In: Z dějin hutnictví, NTM Praha. 7–15.
- Krajč, R. – Matoušek, V. 1985: Výzkum středověkých železářských pecí v Chýnici, okr. Praha – západ. In: Archeologické rozhledy 37/2. Praha. 170–180.
- Kreps, M. 1968: Soupis železných hutí na Moravě a ve Slezsku v období feudalismu, Praha.
- Kreps, M. 1970a: Železářství na Žďársku, Brno.
- Kreps, M. 1970b: První hamry na území českých zemí. Rozpravy Národního technického muzea 39. Praha. 37–44.
- Kreps, M. 1977: Přehled dějin moravského a slezského železářství do roku 1830, Technicko-ekonomický výzkumný ústav hutního průmyslu, Praha.
- Loskotová, I. 1993: Než vznikla Stará radnice, Forum brunenses, Brno: Muzeum města Brna. 207–215.
- Ludíkovský, K. – Souchopová, V. 1978: Extenzivní hutnické centrum v Sudicích na Malé Haně. In: Sborník Okresního muzea v Blansku X/1978, Blansko. 23–46.
- Malý, K. – Zapletalová, D. 2007: Železářská kovovýroba v pravobřežní části Starého Brna. In: Archeologia technica 18, Technické muzeum v Brně, Brno. 18–31.
- Mangin, M. 2004: Le Fer. Paris.
- Maur, E. 1982: Příspěvky k topografii středověkého železářství v českých zemích. In: z dějin hutnictví 11, Rozpravy Národního technického muzea v Praze, Praha. 16–34.
- Maur, E. 1984: K ekonomice výroby železa v českých zemích za vrcholného feudalismu (14.–15. století). In: Z dějin hutnictví 12, Národní technické muzeum, Praha. 222–231.
- Maur, E. 1987: K postavení hamerníků na Přibyslavsku a Žďársku v 15. století. In: Z dějin hutnictví 16, Rozpravy Národního technického muzea v Praze, Praha. 16–30.
- Merluzzo, P. 2010: Předneseno při Workshopu Staré železářství 20. 5. 2010 ve Staré huti u Adamova.
- Merta, D. – Merta, J. 1999: Archeologický výzkum železářské huti v Habrůvecké bučině. In: Archeologia Technica 11, Technické muzeum v Brně. Brno. 33–42.
- Merta, D. – Peška, M. 2002: Železářský výrobní areál z počátku 13. století v prostoru náměstí Svobody v Brně. In: Archeologia technica 13, Technické muzeum v Brně. Brno. 33–42.
- Merta, J. 1987: Výroba železa v českých zemích v období vrcholného středověku. In: Sborník Technického muzea v Brně 2, Brno. 88–106.
- Merta, J. 1988: Objekt Šlakhamr a jeho místo v historii železářství na Žďársku. In: Zkoumání výrobních objektů a technologií archeologickými metodami 5, Technické muzeum v Brně. 95–98.
- Merta, J. – Buchal, A. – Stránský, K. 2004: Železářská struska z etruské lokality Populonie. In: Archeologia Technica 15. Brno. 7–11.
- Merta, J.: 2011a: Zásobování města Brna železem v období středověku. In: Forum Urbes Medii Aevi VI. Surovinová základna a její využití ve středověkém městě. Archaia Brno o.p.s. 184–193.
- Merta, J. – Merta, O. – Souchopová, V. 2011b: Some aspects of the development of Great Moravian iron metallurgy. In: Hošek, J. – Cleere, H. – Mihok, L. (ed.) The Archaeometallurgy of Iron. Recent Developments in Archaeological and Scientific Research. Praha. 73–86.
- Nováček, K. 2007: Nerostné suroviny středověkých Čech jako archeologický problém: bilance a perspektivy výzkumu se zaměřením na výrobu a zpracování kovů. In: Archeologické rozhledy LIII. 279–309.
- Orzechowski, S. 2011: The canal – pit and its role in the bloomery proces: the example of the Przeworsk Culture furnaces in Polish territories, The Archaeometallurgy of Iron. Praha. 41–54.
- Overbeck, M. 2004a: Zu Wurzeln der Eisenindustrie in Luxemburg. Teil I. In Europa Eizigartige Windform Entdeckt. Hephaistos 21/7–8, 14–16.
- Overbeck, M. 2005: Zu Wurzeln der Eisenindustrie in Luxemburg. Teil II. Von der Luppe zum Barren. Hephaistos 21/9–10, 42–73.
- Overbeck, M. 2005: Zu Wurzeln der Eisenindustrie in Luxemburg. Teil III. Seltener Glücksfall für Archäologen. Hephaistos 22/1–2, 70–71.
- Parzinger, H. – Nekvasil, J. – Barth, E. 1995: Die Býčí Skála-Höhle, Römisch Germanische Forschungen 54. Mainz am Rhein.
- Photos, E. 1989: Furnace illustrations on the black and red figure vases: A new look at an old problém, In: Archaeometallurgy of iron 1989, Praha. 287–305.
- Pleiner, R. 1954: Slovanská soustava železářských pecí v Želechovicích u Uničova, AR VI. 196–209.
- Pleiner, R. 1958: Základy slovanského železářského hutnictví v českých zemích. Praha. 208.
- Pleiner, R. 1971: Archeologický výzkum středověkých železáren u Radčtic. In: Vlastivědný sborník Podbrdská 5. 42–63.
- Pleiner, R. 1975: Počátky šachtové pece v evropském pravěku. In: Z dějin hutnictví 2, NTM Praha. 77–81.
- Pleiner, R. 1979: Šíření železa do Evropy. In: Rozpravy Národního technického muzea v Praze 73, Z dějin hutnictví 7. 7–11.
- Pleiner, R. 1985: Komentář k výsledkům rozborů hutnických materiálů ze železáren v Chýnici. In: Archeologické rozhledy XXXVII, Praha. 177–180.
- Pleiner, R. 1998: Vom Rennfeuer zum Hochofen. In: Europäische Technik im Mittelalter, Berlin. 249–256.
- Pleiner, R. 2000: Iron in Archaeology. AÚ Praha.
- Procházka, R. 1992: Záchranný výzkum slovanského sídliště v Kuřimi, okres Brno – venkov, Pravěk, NŘ 2.
- Půža, F. 1892: Zprávy o hamernících a hamrech Přibyslavských v XV. století. In: Památky archeologické a místopisné, XV, Praha, 94–100, 158–164.
- Půža, F. 1914: Kronika Přibyslavská, Přibyslav, reprint 2006.
- Rožňavská Metecija, Banické muzeum v Rožňave 2001.
- Souchopová, V. 1986: Hutnictví železa v 8.–11. století na západní Moravě, Praha.
- Souchopová, V. 1995: Počátky západoslovanského hutnictví železa ve světle pramenů z Moravy. Brno.
- Souchopová, V. – Stránský, K. 2008: Tajemství dávného železa. Archeologie objektivem mikroskopu, Technické muzeum v Brně, Brno.
- Sperl, G. 1993: Wege des Eisens Die Europäische Eisenstrasse – European Iron Trail. In: Österreichischer Kalender für Berg Hutte Energie, Leoben. 28–68.
- Straube, H. 1996: Ferrum Noricum und die Stadt auf dem Magdalensberg, Wien New York.
- Štěpán, V. 1986: Listina hradištského kláštera údajně z roku 1269. In: Z dějin hutnictví 15, Rozpravy Národního technického muzea, Praha. 18–41.
- Urbánková, K. – Wihodová, V. (ed.) 2008: Brněnské berní rejstříky z přelomu 14. a 15. století, Prameny dějiny moravských 15, Brno.
- Varouskis, G. J. 1989: Greece: an important metallurgical centre of iron in Antiquity. In: Archaeometallurgy of Iron 1967–1987, Praha. 279–286.
- Venclová, N. a kol. 2008: Hutnický region Říčansko. Praha. Archeologický ústav AV ČR, v.v.i.
- Verbík, A. 1987: Křtiny a okolí, Od prvních historických zpráv do Bílé hory, Muzejní a vlastivědná společnost v Brně, Brno.
- Vičar, O. 1965: Místopis Brna v polovici 14. století. Prostor uvnitř městských hradeb. In: Brno v minulosti a dnes 7, Brno, 242–283.
- Wagner, D. B. 1999: The earliest use of iron in China. In: S. M. Young, A. M. Pollard, P. Budd, Robert A. Ixer (ed.), Metals in antiquity. Oxford: Archaeopress, 1–9.
- Yalçin, Ü. 2004: Iron Technology in Antiquity. In: Anatoliya Cradle of Castings, Istanbul. 221–224.