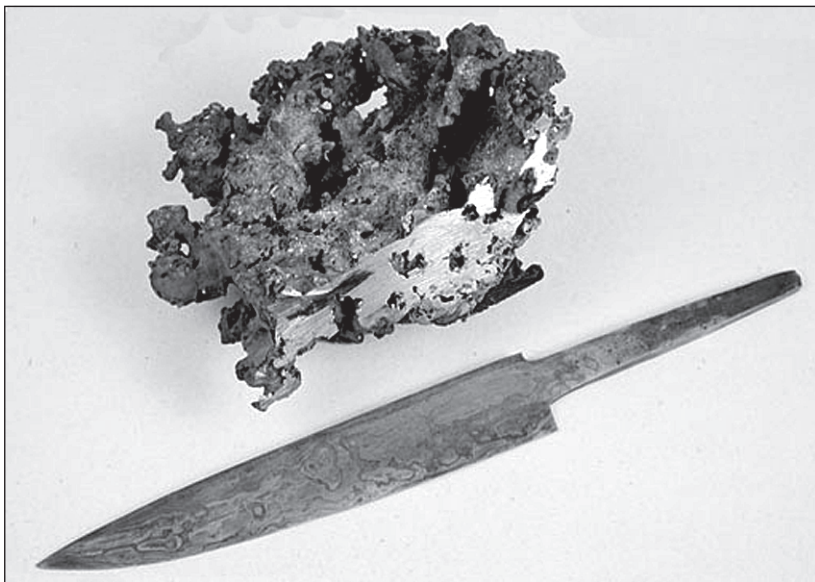




obr. 5 Polotovár a výrobek: polovina železné houby a nůž vykováný 21. září 2002 v kovárně v Těšanech z její druhé části (hmotnost celé houby 1313 g, hmotnost nože 88 g, délka nože 235 mm). (foto E. Řezáčová, 2002) ■ Roughout and product: half of a bloom and a knife made on the 21 September 2002 at the smithy in Těšany from the other half (weight of the whole bloom 1313g, weight of the knife 88g, length of the knife 235 mm). ■ Halbfabrikat und Erzeugnis: eine Hälfte des Eisenschwammes und ein am 21. September 2002 in der Schmiede zu Těšany aus deren zweiten Hälfte ausgehämmerte Messer (Gewicht des ganzen Schwammes 1313 g, Messergewicht 88 g, Messerlänge 235 mm). ■

Experimentální tavby železa v Technickém muzeu v Brně

Věra Souchopová Technické muzeum v Brně,

Jiří Merta Technické muzeum v Brně, **Martin Barák**

Historie pokusného tavení železa v rekonstrukcích metalurgických aparátů, jejichž pozůstatky byly nalezeny na archeologických výzkumech, začala už více než před 110 lety. Prvním (a ostatně velmi úspěšným) badatelem na tomto poli byl G. Wurmbrandt (1877), ale skutečné vědecké základy k metalurgickým experimentům byly položeny až v padesátých letech našeho století. Je přitom třeba říci, že naše země patřily k prvním, které se na tomto směru metalurgicko-archeologického zkoumání podílely. Pozornost byla zprvu věnována nadzemní šachtové peci typu Scharnbeck a vtesané peci, rekonstruované podle nálezů v huti v Želechovicích na Uničovsku (Pleiner 1969). Na počátku sedmdesátých let navázala pak na tyto pokusy skupina badatelů soustředěná kolem blanenského muzea, kde čerpala z výsledků archeologického výzkumu v kraji (Souchopová 1986).

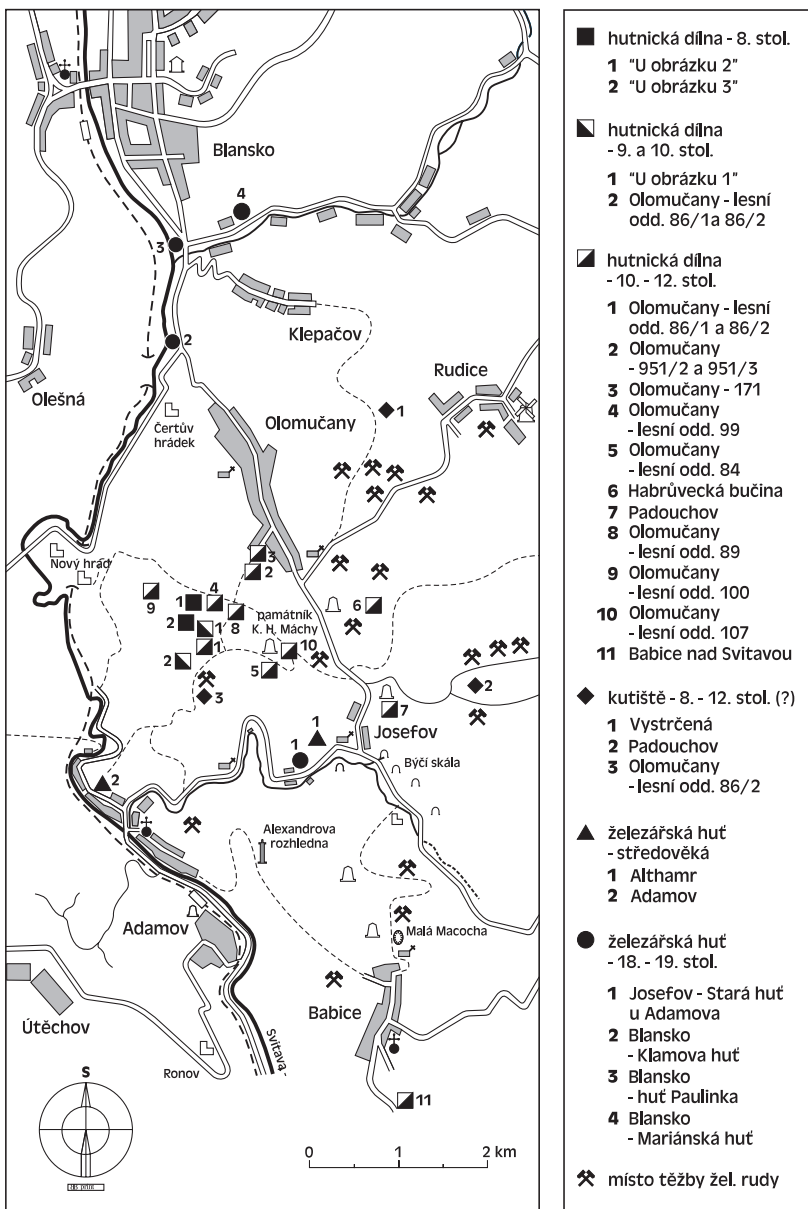
Prvním podnětem pro realizaci série taveb byl nález pozůstatků nadzemní šachtové pece z 11. století n. l. Pocházela z hutnické dílny v rozsáhlém raněstředověkém těžebně hutnickém revíru ve střední části Moravského krasu, který je za současného stavu badání největším dosud známým hutnickým centrem z tohoto období na území západních Slovanů. Odkryv už šestnácti hutnických dílen přinesl nejen pozůstatky redukčních pecí a vyhrívacích výhní, ale i dostatek dalších dokladů výrobní činnosti – nálezy limonitické rudy, doklady jejího zpracování před tavbou, polotovary železa, pozůstatky používaného dřevěného uhlí, různé typy dyšen na jednotlivých lokalitách, pracovní nářadí atd. Archeologicky zachycená výrobní činnost v těchto hutích probíhala v dlouhém časovém rozpětí, od 8. do 12. století n. l., což umožnilo sledovat vývoj hutnictví železa v době vzniku, rozkvětu a po zániku Říše velkomoravské a pomocí srovnání s nálezy hutnických pozůstatků na jiných lokalitách vyvodit i některé závěry související se společenskou a hospodářskou situací té doby.

V první fázi experimentů proběhly dvě tavby v rekonstrukcích nadzemních šachtových pecí, jejichž pozůstatky byly objeveny při výzkumu extenzivního hutnického střediska z mladší doby římské v Sudicích u Boskovic. S úspěchem se setkala druhá tavba, kdy bylo dosaženo výtěžku 13 % hmotnosti vložené železné rudy (*Stránský – Souchopová – Ludíkovský 1978*). Tavby byly prováděny přímo na nádvoří blanenského muzea a sloužily tak zároveň k popularizaci prováděného archeologického výzkumu.

Další etapa experimentálních taveb v replikách železářských pecí použila k experimentu rekonstrukci pece z raněstředověkého hutnického revíru střední části Moravského krasu. Tentokrát byla předlohou vestavěná pec s tenkou hrudí, která byla na našem území poprvé zjištěna právě ve slovanských železářských dílnách střední části Moravského krasu. V maďarské literatuře je označována podle eponymního naleziště jako pec typu Imola, datovaná do 10.-13. století n. l. (*Gömöri – Kisházi 1985*). V Moravském krasu bylo však prvních pět exemplářů popisovaného hutnického aparátu odkryto v hutnické dílně z 9. století n. l. (*Souchopová 1986*), takže lze předpokládat, že odtud se tento typ rozšířil do Karpatské kotliny (Gemer, Šoproň, Burgenland), při čemž některé nálezy na Ukrajině nasvědčují tomu, že Slované si konstrukci tohoto typu přinesli ze své původní sídelní oblasti. V maďarské literatuře je rozšíření vestavěných pecí s tenkou hrudí uváděno v souvislosti s vytvářením velkých politicko-hospodářských celků (*Gömöri 1989*) a současná situace archeologického výzkumu nasvědčuje pravdivosti této hypotézy (k tomu viz: *Souchopová 1992*).

Archeologický výzkum velkomoravské hutě v polesí Olomučany, lesním oddělení 98, přinesl nejen objevy velmi dobře zachovaných pecí (takže pokusné tavby nejsou prováděny v rekonstrukcích, ale v replikách těchto objektů), ale také doklady o způsobu přípravy rudy před tavbou, úlomky strusek z odpichu, i doklady forem a kvality finálních výrobků dílny. Experiment může tato fakta využít a přinést srovnatelné a poměrně spolehlivé poznatky o skutečnostech, které se v archeologických nálezech neodrážejí, a to poznatky o vlastních podmínkách tavby a jejím technologickém základě. Je pravda, že (snad i díky zkušenostem z předchozích sérií experimentů) byly pokusné tavby v tomto typu pece velmi přínosné. Prokázalo se, že pec byla skutečně velmi výkonná, neboť při nejúspěšnějším experimentu bylo dosaženo

Staré železářství ve střední části Moravského Krasu



Obr. 1 Staré železářství ve střední části Moravského krasu (obr. O. Merta). ■ Early iron working in the central part of the Moravian Karst. ■ Alte Eisenschmiede im mittleren Teil des Mährischen Karstes. ■

výtěžku 44 % houbovitého železa z vložené rudné vsázky. Znamenalo to získání 8,80 kg celistvé, struskou prostoupené, ale hutné železné houby z 20 kg železné rudy. Zároveň byla prokázána i možnost vypouštění značné části strusky (Souchopová 1985).

Výsledky experimentálních taveb jsou přínosem z hlediska archeologického i technického, pomáhají ale také velmi dobře propagovat výsledky práce muzea. K tomuto účelu byly v blanenském muzeu a v současné době v Technickém muzeu v Brně pořádány tzv. „Dny dávného hutnictví železa“, kdy byly předvedeny tavby v různých typech pecí nalezených na archeologickém výzkumu a to v některých případech i kostýmovanými hutníky. V technické rezervaci Stará huť u Adamova, která leží na okraji dávného hutnického areálu, je budována expozice malých hutnických pecí na přímou výrobu železa z rud pod širým nebem. Dá se říci, že všechny tyto aktivity se těší zájmu veřejnosti, našim základním záměrem ale zůstal důraz na získávání vědeckých poznatků.

Takto je směřována i současná linie pokusných taveb, která probíhá od roku 1993 v areálu kulturní památky Stará huť u Adamova, ležící ve stejnojmenné památkové rezervaci, která je ve správě Technického muzea v Brně. Pro vědeckou dokumentaci experimentálních taveb navázalo muzeum kontakty s Vysokým učením technickým v Brně.

Pro experiment provedený roku 1999 byla vystavěna replika pece typu Želechovice, provedená podle výsledků archeologického výzkumu huti u Olomučan – lesní odd. 98/2, kde z osmi zadlabaných pecí byly 2 zmíněného typu. Pro další experimenty byl zvolen typ šachtové pece nadzemního typu s dyšnovou cihlou pro větší názornost tavby pro publikum. Uvedený typ pece byl užíván v poslední etapě slovanského železářství po obnovení železářských aktivit při takřka stoletém přerušení výroby po pádu Velké Moravy. Předlohou byly pece z Olomučan – lesní odd. 98/1 a konečně pec zjištěná při výzkumu v Habrůvecké bučině, který proběhl v sezónách 1995 a 1997. Stejný typ pece byl použit při sérii pokusných taveb pro veřejnost v Rudici (od roku 1996), v Blansku (2002) a ve Staré huti u Adamova (podzim 1999, 2000, 2001 a 2002). Pro dmýchání vzduchu do pece bylo k tavbám prováděných v posledních sezónách použito ručního měchu o objemu cca 18 l. Při posledních tavbách byly vyrobeny houby se zřetelným obsahem železa houbovité konzistence. Polovina houby získané z tavby Adamov 2002 byla kovářsky zpracována a vyroben z ní nůž. Zpracování části houby o váze 700g bylo provedeno klasickou kovářskou technologií v průběhu semináře Damasková ocel (TMB, září 2002) v kovárně v Těšanech. Vyrobený nůž o damaskové struktuře dané nerovnoměrným složením zpracovaného materiálu byl vyroben po 12 ohřevch postupným paketováním homogenizovaného polotovaru po tříhodinovém kování dvoučleného týmu kovářů. Výsledná váha nože je 88 g, plus cca 25 g odsekutého materiálu určeného k metalografickému rozboru.

Popisované sérii pokusů předcházela teoretická příprava studia problematiky redukce železa z rud, opírající se o poznatky moderní metalurgie. Volba vstupních surovin vycházela z výsledků předcházejících archeologických výzkumů (Souchopová 1986). Ty daly především k dispozici přesný tvar pece, dále pak informace o vsázce – ze složení strusek je patrné, že byla použita kvalitní ruda



Obr. 3 Tavba ve slovanské šachtové peci v areálu větrného mlýna v Rudici 5. července 2002 (foto J. Merta, 2002). ■ Smelting in a Slavonic shaft furnace at the grounds of the windmill in Rudice, 5 July 2002. ■ Die Schmelzung im slawischen Schachtofen in der Gegend der Windmühle in Rudice am 5. Juli 2002. ■



Obr. 4 Tavba uspořádaná ke dni muzeí 18. května 2002, Stará huť u Adamova (foto J. Merta, 2002). ■ Smelting organised for the Museum Day, 18 May 2002, Stará huť u Adamova. ■ Die am Museentag 18. Mai 2002 realisierte Schmelzung, Stará huť bei Adamov. ■

s vysokým obsahem železa. Místní rudy exploatované až do konce 19. století byly zcela vytěženy. Vzorky limonitických rud, získaných výzkumy přímo na lokalitách některých hutí se ukázaly nepoužitelnými k experimentu pro svůj nízký obsah železa. Z tohoto důvodu nebyly patrně starými hutníky využity. Hlušina obsahovala především SiO_2 , CaO v množství, které neovlivní výrazné vlastnosti strusky, a malá množství dalších složek.

Jako hlavní dva parametry určující provoz pece a celý proces redukce a shlukování železných zrn se jeví spotřeba paliva v daném čase a doba dohořívání po ukončení rudných vsázek. Oba tyto parametry jsou velmi snadno sledovatelné bez náročných přístrojů. Vhodnou rychlost chodu pece byl zkušební hutník schopen rozzeznat „od oka“ při použití měrových jednotek jako kbelík, ošatka atd. Ponechání vsázky v peci do druhého dne pochopitelně není třeba měřit. U doby dohořívání není rozhodující její délka, ale ponechání uzavřené pece po nějakou dobu v klidu. Rychlost hoření je měřítkem uvolněného tepla a množství spalín, tím i teploty s důsledkem i v chemickém složení spalín a rozložení oxidačních a redukčních pásem v peci. Po tavbě je pec i s okolím dobře prohřátá a vysušená. To umožňuje i po ukončení tavby pokračování procesu redukce a shlukování zrn železa v izolovaném pracovním prostoru pece. Otázkou je, jestli to bylo, či nebylo výhodné, a zda tato skutečnost mohla být velkomoravským hutníkům známa. Názory na účelnost této závěrečné části redukčního pochodu se různí.

Dalším významným vlivem ovlivňujícím metalurgický proces tavby je pražení rudy a posléze pedsušení pece. Obě tyto operace souvisí se snížením energetických nároků o výparné teplo vody obsažené v rudě a v tělese pece. U rudy navíc dochází při pražení i na otevřeném ohni k prvnímu stupni redukce a výraznému zvýšení redukovatelnosti rudy. V celé sérii se nevyskytnul úspěšný pokus s nepraženou rudou ve vsázce.

Kvalita rudy je rozhodující pro tvorbu strusky, ve které jsou jediným tavidlem oxidy železa. Jejich potřebné množství ve strusce pro dosažení tekutosti je okolo 60 procent. Toto prostředí je nezbytné pro spékání vyredukovaných zrn železa (*Barák 1995*). Pro experimenty byly použity nejrůznější typy rud. Šlo jednak o limonitické rudy získané při archeologických výzkumech, které však vykazovaly nízké obsahy železa. Proto se neosvědčily při experimentech. Lepších výsledků bylo dosaženo při užití železných rud užívaných buď při vysokopecních provozech, nebo jako přísady ve slévárnách – většinou jde o hematitické rudy.

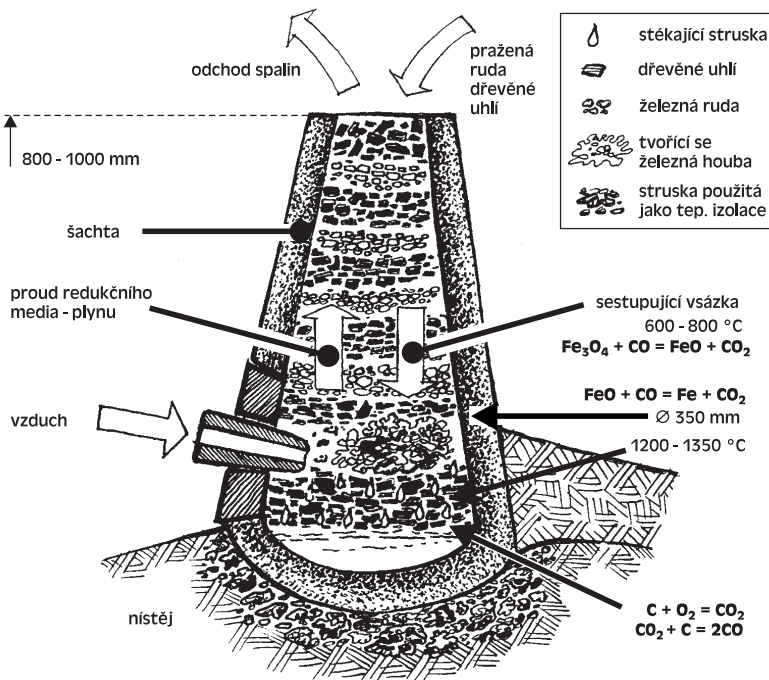
Na základě získaných poznatků byl navržen následující **technologický postup redukce železa** v kusové peci s tenkou hrudí.

- tavbu připravte v dostatečném předstihu, opatřete si kvalitní hematitovou rudu nadrcenou na velikost 5-8 mm, zdroj vzduchu schopný dodávat minimálně $0,75 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{dm}^2$ vzduchu (vztaženo na průřez pece v úrovni dyšen – tento požadavek splní patrně většina vysavačů), 8 kg dřevěného uhlí na každý dm^2 průřezu pece, uhlí nadrté na rozměr 2-4 cm
- pec postavte minimálně dva dny před datem tavby, pracovní otvor at' má dostatečnou velikost, která vám umožní manipulaci s velkými struskovými slitky, v opačném případě pec po první tavbě rozbijete
- věnujte dostatečnou pozornost tvarování vnitřního tvaru pece, nejmenší průměry šachty nevolte menší než 150 mm, šachta se zužuje směrem vzhůru, výmaz musí být hladký
- den před vlastní tavbou uspořádejte pražení rudy, předsušenou pec rozdmýchejte, naplňte uhlím a dále přisazujte rudu a uhlí v poměru 2:1 při stálém dmýchání, po zpracování cca $2 \text{ kg}/\text{dm}^2$ (průřezu pece) rudy zakryjte kychtový otvor a ukončete dmýchání
- proveďte nutné opravy
- naplňte pec do úrovně dyšny dřevěným uhlím, na něm rozdělte oheň nebo lépe přeneste žhavé uhlíky a pec zazděte a zahajte dmýchání
- naplňte pec uhlím až po kychtu a po celou tavbu přisazujte veškeré suroviny po malých dávkách tak, aby pec zůstala stále plná
- první část tavby je předehřev pece, přisazujte pouze dřevěné uhlí
- dmýchání udržujte na takové intenzitě, aby spotřeba paliva byla cca 0,7 až $0,8 \text{ kg}/\text{h}/\text{dm}^2$ průřezu pece
- po vznícení kychtových plynů můžete přisazovat vypraženou rudu v poměru ruda : uhlí - 1:1
- po ukončení vsázek (po zpracování minimálně $1,2 \text{ kg}/\text{dm}^2$ průřezu pece rudy) přisadte asi 2/3 obsahu pece dřevěného uhlí
- ukončete dmýchání a plnou pec uzavřete i na kychtě
- pec rozeberte nejdříve 12 hodin po ukončení dmýchání. Při veřejných tavbách není obvykle možné tuto podmínku dodržet, což nepříznivě ovlivní závěrečné fáze tavby a průběh redukčního pochodu.

- struskové slitky rozbijte a vyseparujte kusy vyredukovaného železa
- vše dokumentujte a vedte tavební protokol, výsledky publikujte nebo sdělte Technickému muzeu v Brně.

Informace o chystaných tavbách v replikách železářských kusových pecí je lze nalézt na internetové stránce Technického muzea v Brně: www.technicalmuseum.cz.

Mnoho dalších informací můžete nalézt na internetové stránce www.volny.cz/starahut/ pojednávající o historii železářství v Moravském krasu.



Obr. 2 Schéma redukčního pochodu ve slovanské šachtové kusové peci (10.-11. stol.), (obr. J. Merta).
 ■ Diagram of a reduction process in a Slavonic shaft furnace (the 10th-11th centuries). ■ Schema des Reduktionsprozesses in einem slawischen Einstück-Schachtofen (10.-11. Jahrhundert). ■

Literatura

- Barák, M. 1995: Diplomová práce „Experimentální výroba železa v peci z doby Velké Moravy“, VUT Brno, ÚMI.
- Gömöri, J. - Kisházi, P. 1985: Iron Ore Utilization in the Carpathian Basin up to the Middle Ages with special regard to Bloomeries in Western Transdanubia, In: Neogene Mineral Resources in the Carpathian Basin. Budapest, 232 - 255
- Gömöri, J. 1989: The Hungarian Bloomeries, in: Archaeometallurgy of Iron 1967 - 1987. Praha, 125 - 138
- Merta, D. - Merta, J. 2000: Archeologický výzkum raněstředověké železářské huti v Habrůvecké bučině, In: Archeologia technica 11, Technické muzeum v Brně, 33- 42

Pleiner, R. 1969: Experimental Smelting of Steel in Early Medieval Furnaces, PA LX, 458 – 487

Pleiner, R. 2000: Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters, AÚ ČR

Souchopová, V. a kol. 1985: Experimentální tavby v rekonstrukcích vestavěných dýmaček z období Velké Moravy, Regionální sborník okresu Blansko '85. Blansko, 24 - 37

Souchopová, V. 1986: Hutnictví železa v 8.-11. století na západní Moravě, StAÚ ČSAV v Brně XIII/1. Praha

Souchopová, V. 1992: The Main Tendencies of Development of West Slav Iron Metallurgy from its Origin until the 11th Century, In Medieval Europe 1992, vol. 3. York, 131 - 136

Stránský, K. - Souchopová, V. - Ludíkovský, K. 1978: Pokusné tavby na přímou výrobu železa z rud v šachtových pecích na Blanensku, Slévárenství XXVI/11, 464 - 467

Summary

Experimental Iron Smelting at the Technology Museum in Brno

The presented paper refers to a record of metallurgical experiments performed in prehistoric and early mediaeval iron furnaces. The pioneer in this field was G. Wurmbrandt (1877) but serious scientific foundations were only laid in the 1950's. After experiments with Želechovice and Schramberk types, lead by R. Pleiner. The Regional Museum in Blansko followed in the seventies with the reconstruction of an early mediaeval furnace excavated, nearby, at a major metallurgical centre of west Slavs. Experiments dealt also with a Roman furnace. Now the experiments have returned to an early mediaeval furnace with a find from the Moravian Karst. The Technology Museum performs experimental smelting in the grounds of the Old Forge Josefov in Stará huť u Adamova. Besides scientific targets the activity helps to propagate the work of the museum.

Die experimentellen Eisenschmelzen im Technischen Museum zu Brno

Das technische Museum zu Brno (TMB) setzt experimentelle Eisenschmelzen fort, und zwar in Repliken der slawischen Schmelzöfen, die seit 70 Jahren durch das Kreismuseum zu Blansko (PhDr. Věra Souchopová, CSc.) durchgeführt worden sind. Bei verschiedenen Gelegenheiten realisierte TMB rund 20 Schmelzungen, meistens in der Anwesenheit breiterer Öffentlichkeit.

Die Experimente werden in den Anlagen des Kulturdenkmales Stará huť (Alte Hütte) bei Adamov durchgeführt und sind auf Ergebnissen der langfristig realisierten Terrainforschungen gegründet. Das Denkmalschutzgebiet liegt inmitten einer alten metallurgischen Gegend mit archäologischen Nachweisen der slawischen Eisenfabrikation.

Die im Jahre 2002 in Stará huť, Blansko und Rudice durchgeführten Schmelzungen haben drei Eisenschwämme gegeben, die in Stückschachtöfen mit dünner Brust geschmolzen haben; das Schmelzverfahren verlief in Öfen, die nach archäologischen Funden im Mährischen Karst aus der Wende des 10. und 11. Jahrhunderts aufgebaut worden sind. Aus einem in der in Stará huť durchgeführten Schmelze gewonnenem Halbfabrikat wurde während des im September veranstalteten Seminars über den Damaskus-Stahl ein Messer ausgehämmert.

Fusions expérimentales de fer au Musée des techniques de Brno.

Le Musée des Techniques de Brno s' est joint à des fusions expérimentales conduites dans des fours de forgerons d'époque Slave. Ces fusions sont menées à partir des années 70 par le Musée régional de Blanská (Pr. Věra Souchopová). Le Musée des Techniques de Brno a réalisé à diverses occasions 20 fusions, la plus part menées en présence d' un large public. Les expérimentations, fondées sur les analyses des campagnes de fouilles précédentes ont été réalisées dans le secteur sauvegardé de Stará huť u Adamova lui-même faisant partie de l'ensemble classé aux Monuments Historiques intégrant une ancienne zone métallurgique occupée dans un premier temps par des forgerons Slaves. Le résultat des fusions menées cette année à Stará huť u Adamova, Blanská, Rudice a été 3 scories de fer obtenues par fusion et restent conformément aux découvertes archéologiques faites dans les Karst Moraves datées des Xème et XIème siècles. De ce demi produit obtenu par fusion à Stará huť, il a été possible de forger un couteau pendant le séminaire tenu en septembre au Musée des Techniques de Brno sur les lames damaquinées.