

## Teplota tavenia archeometalurgických trosiek

Jozef Petrík, Ľudmila Moravčíková, Ľubomír Mihok, Pavol Vadasz

Archeometalurgická troska z vytavovania a spracovania železa predstavuje cenný zdroj informácií na analýzu zaniknutého procesu. V minulosti zostávala troska v bezprostrednej blízkosti výrobného zariadenia. Presuny trosky na skládky, prípadne ich sekundárne využitie jako zdroja železa (na železo bohaté trosky z priamej redukcie alebo skujňovania) sa objavujú až v 19. a predovšetkým v 20. storočí. Naopak, finálne železné výrobky, ale aj polotovary, napríklad surové železo určené na skujňovanie, sa presúvali k odberateľom často na veľkú vzdialenosť. Trasu týchto presunov, jako aj miesto pôvodu železa je mnohokrát obtiažné určiť. Na druhej strane „lokálna stabilita“ trosiek zaručuje veľkú pravdepodobnosť, že informácie získané jej analýzou je možné vzťahovať na konkrétne výrobné zariadenie.

Analyzované trosky, uvedené v tabuľke č. 1, boli získané archeologickým výskumom (vz. 1, 2, 3, 5 a 8) a ostatné povrchovým zberom. Nakoľko pochádzajú z vrchných vrstiev hald, prípadne z okolia výrobných zariadení je pravdepodobné, že reprezentujú záverečnú fázu výroby.

Pri štúdiu vlastností trosiek sa v metalurgickej praxi ako bežná metóda využíva stanovenie teploty ich tavenia, prípadne ďalších zmien, ovplyvnených teplotou. Pred stanovením teploty tavenia bola realizovaná metalografická, chemická, spektrálna a u časti vzoriek aj röntgenová difrakčná analýza.

Tab. 1 Vlastnosti analyzovaných trosiek

	Č.	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>c</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B	T <sub>s</sub>	T <sub>L</sub>	Lokalita
1	P115	25,1	50,3	49,9	2,2		2,2	0,4	0,36	1460	1460	Spišská Teplica
2	P112	8,1	61,4	59,2	4,5	1,2	0,03	0,8	0,7	1455	1460	Spišská Nová Ves
3	T81/3	26,8		46,9	10,6	12,0	3,6	0,8	1,12	1439	1450	Vernár
4	T62C	30,4	41,9	51,4	2,8	0,2			0,59	1423	1448	Spišská Belá
5	T62B	30,5		50,0	4,5		6,6		0,147	1322	1450	Spišská Belá
6	P110	28,6	53,6	32,9	4,5	1,2	1,2	0,8	0,2	1360	1420	Levoča
7	T5/IV	23	44,7	55,9	5,6	2,0	3,04	1,22	0,33	1445	1460	Veľký Folkmar
8	P116	15,8	53,6	61,5	4,5	1,2	1,9	0,8	0,036	1460	1460	Spišská Nová Ves – Ferčekovce
9	T86	67,5	5,58	–	19,4	–	0,17	4,08	0,28	1236	1260	Remetské Hámre
10	P70/A	45,5	3,9		15,6	8,0	5,28	1,63	0,52	1201	1279	Smižany
11	P70/B	54,2	1,2		16,0	11,2	1,8	0,068	0,3	1184	1209	Smižany
12	P151a	60,5	6,1	–	3,36	–	1,22		0,055	1181	1200	Zemplínske Hamre
13	T88	58,9	2,2		16,2	8,8	3,2	2,7	0,42	1263	1274	Osrblie – Tri Vody
14	T85	52,5	1,7		28,0	0	3,3	2,0	0,53	1203	1219	Červeňany – Sirk
15	T155	46,1	2,2	0,2	20,9	22,1	18,8	1,2	0,93	1176	1183	Javorina
16	5.3.6	33,4	4,74		22,4	30,4	3,16	1,02	1,55	1246	1250	Betliar
17	15.2.1	19,8	6,7		28,0	22,4	2,8	0,61	2,54	1157	1160	Štítnik
18	21.3.2	34,1	2,51		18,5	19,6	2,1	2,56	1,11	1172	1175	Revúca – Šramková

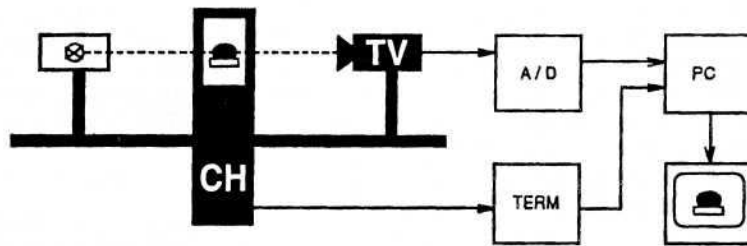
$$\text{Bazicita trosky B} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5}$$

Z bežne používaných metód na stanovenie teploty tavenia trosiek sme použili analýzu na vysoko-temperatúrnem mikroskope, ktorá je pomerne jednoduchá s malým nárokom na hmotnosť vzorky, na druhej strane je časovo náročná. Ako skúšobné zariadenie sa použil sa vysokoteplotný mikroskop zn. LEITZ–Wetzlar.

Na Katedre keramiky HF TU v Košiciach sa zrealizovala úprava vysokoteplotného mikroskopu na spracovanie obrazových údajov pomocou PC. Vysokoteplotný mikroskop sa upravil tak, že sa pozorovací mikroskop s fotoaparátom sa nahradil WEB kamerou. Na obr. 1 je uvedená bloková schéma

bezdotykového snímání obrazu pri zmene teploty vzorky pomocou WEB kamery a PC. Základnými časťami uvedenej zostavy sú:

- zdroj svetla (označený symbolom žiarovky),
- elektrická odporová piecka s držiakom vzorky (CH),
- WEB kamera s ¼“ Glass Lens, Color CMOS Image Sensor (TV),
- VGA Format 800 x 600 bodov, RGB 24
- číslcový teplomer, ktorý cez sériový port posiela informáciu o teplote vzorky na obrazovku,
- PC s procesorom Intel Pentium 4, OS Windows XP, HDD 80 GB
- monitor



**Obr. 1** Bloková schéma bezdotykového snímání vzorky a teploty pomocou WEB (TV) kamery a osobného počítača

Vysokoteplotný mikroskop vybavený automatickým zberom dát (obrázkov) výrazne rozšíri, zrýchli a spresní svoje použitie. Uvedená zostava umožňuje bezdotykové meranie kladných aj záporných objemových zmien pri ohreve popr. chladnutí vzorky, meranie teploty mäknutia a teplotného intervalu tavenia, určenie teploty tavenia podľa DIN 51 730. Pri použití metódy ležiacej kvapky je možno zistiť uhol zmáčania medzi roztavenou vzorkou a pevnou podložkou, prípadne jej povrchové napätie. Pri použití elektrickej odporovej piecky so šikmým osvetlením je možno sledovať zmeny prebiehajúce v tuhom stave, napr. rast zŕn, slinovanie, popr. natavovanie jednotlivých zŕn kryštalickej fázy.

Zväčšenie získané pri prezentovanej aparatúre je možno priamo odčítať pomocou mriežky (0,5×0,5 mm) premietanej na obrazovku. Automatické snímání obrazu spresní meranie fyzikálnych veličín vzorky a v neposlednom rade odstráni subjektívnu chybu pozorovateľa pri meraní a vyhodnocovaní. Vysokoteplotný mikroskop LEITZ–Wetzlar je možno použiť do teploty 1823 K. Teplota vzorky sa registruje digitálnym termometrom THERM 3280–6 firmy Ahlborn s presnosťou ± 2 K a je zobrazená priamo na obrazovke pod vzorkou [1].

Nevýhodou použitej aparatúry bola nemožnosť aplikácie redukčnej (je na ňu citlivé topné teleso) a v čase experimentov aj neutrálnej atmosféry.

Z práškovej vzorky (zrornosť vhodná na chemickú analýzu) sa po zvlhčení vodou vylisuje valcovitá skúšobná vzorka s priemerom 2 mm a výškou 6 mm. Vzorka sa umiestni do mikroskopu a zahrieva, teplota sa zvyšuje rýchlosťou cca 3°Cs<sup>-1</sup>. Optický systém sníma priemet vzorky, v prvej fáze experimentov (vz. č. 2, 3, 10, 11, 12) bol obraz vyvedený na obrazovku televízora, opatrenú mriežkou na uľahčenie odčítavania zmien rozmerov priemetu, u ostatných vzoriek sa použila vyššie spomínaná úprava mikroskopu, čo výrazne zvýšilo možnosti analýzy a komfort operátora.

Vz. č. 1 pochádza zo Spišskej Teplice pri Spišskej Novej Vsi. Bola datovaná do 13.–14. storočia. Na základe mikroštruktúrnej a chemickej analýzy je pravdepodobné, že ide o trosku z výroby železa priamou redukciou v nízkej šachtovej, ručne dúchanej peci. Analýza teploty tavenia trosky bola v podstate neúspešná, nakoľko ani po dosiahnutí maximálnej teploty, ktorú umožňoval mikroskop (reálne 1460°C) neboli pozorované zmeny priemetu. Je to dôsledok skutočnosti, že v mikroskope neboli redukčné podmienky, ktoré ovplyvňovali trosku tesne pred odpichom a pravdepodobne rýchlym ochladením. Pomalým ohrevom trosky v oxidačných podmienkach mikroskopu došlo k oxidácii wüstitu (okolo 25 %) v troske na nižšie oxidy železa, a tým vlastne k skresleniu výsledku analýzy [2].

Vz. č. 2 pochádza zo Spišskej Novej Vsi. Bola datovaná do 13. storočia. Na základe mikroštruktúrnej a chemickej analýzy je pravdepodobné, že ide o kováčsku trosku. Pri analýze teploty tavenia trosky sa podarilo stanoviť teplotu mäknutia  $T_s = 1455^\circ\text{C}$ , teplota tavenia je nad rozsahom mikrosko-

pu. Podobným mechanizmom ako u vzorky č. 1, aj keď v menšej miere došlo k nárastu oboch relevantných teplôt k vyšším hodnotám [2].

Vz. č. 3 pochádza z Vernára pri Poprade. Bola datovaná do 13.–15. storočia. Na základe mikroštruktúrnej a chemickej analýzy je pravdepodobné, že ide o trosku z výroby železa priamou redukciou v nízkej šachtovej, ručne dúchanej peci. Ako v predchádzajúcom prípade, došlo k oxidácii wüstitu (okolo 7 %) v troske. Teplota mäknutia trosky bola 1439°C, teplota tavenia bola nad rozsahom mikroskopu [3].

Vz. č. 4 a 5 pochádzajú z povrchového zberu v okolí Spišskej Belej, neboli bližšie datované. Na základe mikroštruktúrnej a chemickej analýzy je pravdepodobné, že ide o trosku z výroby železa priamou redukciou vo vyššej šachtovej, vodnou energiou dúchanej peci (slovenská pec). U vzorky č. 4 bola teplota mäknutia 1425°C a teplota tavenia trosky 1448°C, u vzorky č. 5 bola 1322°C resp. 1450°C. Určitý pokles teploty tavenia je následkom absencie wüstitu, obsah FeO je však porovnateľný s obsahom vo vzorkách 1–3. U vzorky č. 4 je hodnota teploty tavenia čiastočne skreslená skutočnosťou, že došlo k „prekorodovaniu“ podložky a časť vzorky prepadla [4, 5].

Vz. č. 6 pochádza z Levoče. Bola datovaná do 13. storočia. Na základe mikroštruktúrnej a chemickej analýzy je pravdepodobné, že ide o trosku, podobne ako v predchádzajúcom prípade, z výroby železa priamou redukciou v slovenskej peci. Teplota mäknutia bola 1360°C a teplota tavenia trosky 1420°C. Určitý pokles teploty tavenia je následkom prakticky nedetekovateľného obsahu wüstitu, obsah FeO je oproti predchádzajúcim vzorkám výrazne nižší, čo svedčí o vyššej efektívite vytavovacieho procesu [2].

Ďalšia vzorka, č. 7, je podobne ako predchádzajúca troska z redukcie v slovenskej peci. Bola nájdená vo Veľkom Folkmari pri Gelnici a je datovaná do 15.–19. storočia. Nakoľko bola nájdená v horných vrstvách haldy, je pravdepodobnejšie, že pochádza zo záverečného obdobia existencie huty. Obsah wüstitu dosahuje 30 %, s čím sa spája vyšší obsah FeO ako u vzorky č. 6. Zvýšený obsah oxidov železa svedčí o nízkej efektívite redukčného procesu. Teplota mäknutia bola 1445°C a teplota tavenia trosky je okolo 1460°C. Ako v predchádzajúcich prípadoch, skutočná teplota tavenia trosky je skreslená sekundárnou oxidáciou wüstitu [5, 6].

Vzorka č. 8 zo Spišskej Novej Vsi – Ferčekoviec je atypická, nakoľko podľa nálezových súvislostí bola datovaná do 18. alebo 19. storočia, ale vysoký obsah wüstitu – 24%, spolu s vysokým obsahom FeO (61,5%) sú typické pre trosku z priamej redukcie v ručne dúchanej nízkej šachtovej peci. Avšak v danom regióne by bol tento typ pece v 18. storočí prežitkom. Právepodobne ide o zle vedenú tavbu v slovenskej peci alebo nesprávne datovanie. Teplota mäknutia bola 1445°C a teplota tavenia trosky je okolo 1460°C. Ako v predchádzajúcich prípadoch, skutočná teplota tavenia trosky je skreslená sekundárnou wüstitu [2].

Vzorka č. 9 z Remetských Hámrov pri Sobranciach pochádza z rokov 1780–1920. Ide o typickú trosku z drevouhoľnej vysokej pece. Mikroštruktúru trosky tvorí základná fáza – monolitné železnaté sklo s kostrovitými resp. kostrovito–dendritickými svetlosivými útvarmi diopsidu, ktorého prítomnosť bola potvrdená röntgenovou analýzou. Vyskytujú sa globulitické inklúzie sivej liatiny s lupienkovým grafitom, priemer inklúzií je až 1 mm. Pri teplote 1175°C došlo k výraznému zníženiu objemu vzorky bez zmeny jej priemetu, asi v dôsledku polymorfnej premeny. Teplota mäknutia trosky bola 1236°C a teplota tavenia 1367°C. Oproti trosiek z priamej redukcie vidno výrazný pokles teplôt, ktorý je dôsledkom absencie oxidov železa v troske, podobne ako u ďalších vysokopecných trosiek odpadá skresľujúca sekundárna oxidácia pri ohreve [7].

Vzorky č. 10 a 11 pochádzajú zo Smežian pri Spišskej Novej Vsi. Sú datované do rokov 1803–1886. Plocha výbrusu vzorky č. 10 sivočierna, v strede zelená. Sklovité kryštály, zistené pri mikroštruktúrnej analýze v zelenej aj sivočiernej oblasti boli röntgenovou fázovou kvalitatívnou analýzou identifikované ako wollastonit, diopsid a fassait, okrem nich sa vyskytujú póry a guľovité železné inklúzie. Teplota mäknutia trosky bola 1201°C a teplota tavenia 1279°C.

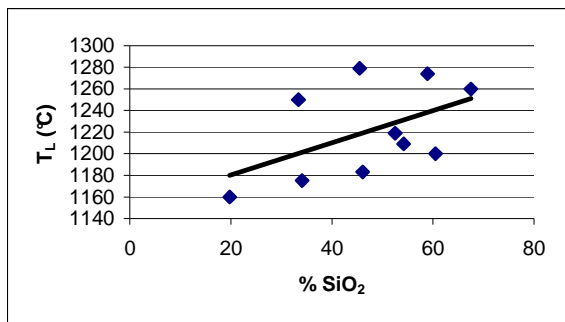
Plocha výbrusu vzorky č. 11 je svetlohnedá, mikroštruktúra je tvorená základnou sivou sklovitou hmotou so svetlejšími pásovitými časticami, röntgenovou fázovou kvalitatívnou analýzou sa zistila prítomnosť busmanitu a  $Mn_{0,8}Ca_{0,2}SiO_3$ , vyskytujú sa aj guľovité železné inklúzie a póry. Teplota mäknutia trosky bola 1184°C a teplota tavenia 1209°C.

V oboch troskách je relatívne nízky obsah CaO a MgO (avšak vyšší ako prirodzený, čo svedčí o ich zámernom pridávaní). Vysoký obsah síry vo vzorke č. 10 svedčí o použití minerálneho paliva, ktoré sa v regióne začalo používať až v závere 19. storočia, uvedená vzorka je pravdepodobne mladšia ako vzorka č. 11 [8].

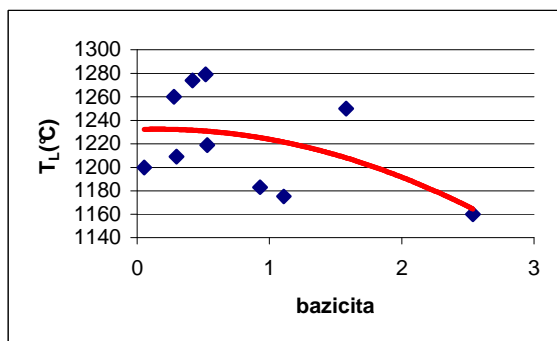
Vzorka č. 12 pochádza zo Zemplínskych Hámrov pri Snine, kde bol vysokopecný závod v činnosti v rokoch 1815–1873. Troska je na výbruse pastelovo zelená, v mikroštruktúre dominuje homogénna sklovitá základná hmota s kvapkami bielej liatiny s priemerom do 100  $\mu\text{m}$ . Z tvaru RTG difraktogramu vyplýva že báza vzorky je tvorená amorfnoú látkou, pravdepodobne  $\text{SiO}_2$  sklom a identifikované fázy: kremeň ( $\text{SiO}_2$ ), wollastonit ( $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), fayalit ( $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ), magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  a hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) odpovedajú fázam inklúzií nachádzajúcich sa v skle. Korešponduje to s homogénnou štruktúrou s malým počtom inklúzií, zistenou mikroštruktúrnou analýzou. Pri teplote 1176°C došlo k výraznej redukcii objemu bez zmeny priemetu. Teplota mäknutia trosky bola 1181°C a teplota tavenia 1200°C. Ide kyslú fayalitickú trosku, typickú skôr pre ranné štádia vysokopecnej technológie [9].

Vzorka č. 13 je troska z Osrbliá – Tri Vody pri Brezne. Je datovaná medzi roky 1795–1873. Výbrus je tyrkysový až pastelovo zelený, mikroštruktúra je tvorená homogénnou sklovitou fázou s globulami železa. Ide o typickú vysokopecnú trosku z drevouhoľnej pece so zámerným pridávaním zásaditých troskotvorných prísad, skôr z dôvodu zlepšenia vlastností trosky ako na elimináciu nežiadúcich účinkov síry v prípade použitia minerálneho paliva. Teplota mäknutia trosky bola 1263°C a teplota tavenia 1274°C [10].

Z rokov 1871–1903 pochádza vzorka č. 14 z Červenian – Sirku (medzi Revúcou a Hnúšťou). Výbrus je tmavohnedý, mikroštruktúra je tvorená homogénnou sklovitou fázou s globulami železa. Ako v predchádzajúcom prípade, ide o typickú vysokopecnú trosku z drevouhoľnej pece so zámerným pridávaním zásaditých troskotvorných prísad. Medzi teplotami 858°C až 912°C sa objem vzorky zmenšil asi o 20%, pri teplote okolo 1050°C objem vzorky „narástol“ prakticky do pôvodného stavu. Teplota mäknutia trosky bola 1203°C a teplota tavenia 1219°C [10].



Obr. 2 Vplyv obsahu  $\text{SiO}_2$  na teplotu



Obr. 3 Vplyv bazicity na teplotu tavenia trosky

Trosku č. 15 z Javoriny vo Vysokých Tatrách možno datovať medzi roky 1759–1875. Troska má zvýšený obsah síry a mangánu. Výbrus je sivozelený so sklovitou povrchovou vrstvou. Mikroštruktúra je tvorená homogénnou sklovitou fázou s globulami železa. Ide o atypickú vysokopecnú trosku. Zvýšený obsah síry (avšak nižší ako u pecí, vykurovaných minerálnym palivom, kde dosahuje až 2,8% [11, s. 144]) môže svedčiť o prítomnosti pyritickej zložky vo vsádzke, prípadne o experimentovaní s pridávaním minerálneho paliva, ktoré však nie je pre danú lokalitu potvrdené. Miestni hutníci vedeli o zvýšenom obsahu síry, preto sa jej nežiaduce účinky (krehkosť za červena) snažili eliminovať

prídavkom MnO (o čom svedčí jeho vysoký obsah v porovnaní s inými vysokopecnými troskami) a CaO. Pri ohreve bola medzi teplotami 749°C a 953°C pozorovaná veľká variabilita priemetu (nakláňanie, kreácia a zánik výčnelkov). Teplota mäknutia trosky bola 1176°C a teplota tavenia 1183°C [ 10].

Vzorka č. 16 bola vysokopecná troska z Betliara pri Rožňave. V Betliari sa železo vysokopecným spôsobom vyrábalo v dvoch etapách. Prvá bola od konca 18. storočia do roku 1805, druhá v rokoch 1885–1905. Troska obsahuje síru, je pravdepodobne zo záverečnej fázy existencie vysokej pece. Používanie minerálneho paliva dosvedčuje aj vysoký obsah zásaditých troskotvorných prísad. Výbrus bol čierny so sklovitou mikroštruktúrou. Pri teplotách nad 900°C došlo k expanzii v hornej časti vzorky. Teplota mäknutia trosky bola 1246°C a teplota tavenia 1250°C [ 12].

Fesmutská vysoká pec v Štítniku pri Rožňave bola v prevádzke v rokoch 1833–1910. Z jej produkcie bola odobratá vzorka č. 17. Výbrus bol sivohrdzavý, mikroštruktúru tvorila sklovitá matrica s časticami, pripomínajúcimi drevené uhlie. Troska má zvýšený obsah síry, ktorý môže byť výsledkom pridávania určitého podielu minerálneho paliva do vsádzky alebo menej pravdepodobným nedostatčným pražením vsádzky s obsahom sulfidov. Je možné, že ide o prvotnú vysokopecnú trosku, ktorá ostala nalepená na stene šachty a bola odstránená pri odstávke vysokej pece. Priemet vzorky sa počas ohrevu menil minimálne. Teplota mäknutia trosky bola 1157°C a teplota tavenia 1160°C [ 12].

Vysoká pec v Šramkovej (lokalita na okraji mesta Revúca) bola v činnosti v rokoch 1805–1884. Vzorka č. 18 mala sivý výbrus, mikroštruktúru tvorila sklovitá matrica s globulami železa. Teplota mäknutia trosky bola 1172°C a teplota tavenia 1175°C [ 12].

Pri nasledujúcich analýzach sme vylúčili trosky z priamej redukcie. Ako vidno na obr. 2, s nárastom obsahu SiO<sub>2</sub> dochádza u vysokopecných trosiek k pozvoľnému rastu teploty tavenia. Naopak, s bazicitou trosky teplota tavenia klesá, obr. 3. S rastom bazicity klesá rozdiel medzi teplotou mäknutia a tavenia trosky, čo má kladný vplyv na proces. Doba existencie vysokopecného závodu a efektivita procesu (nepriamoúmerná množstvu železa v troske) s nemajú na teplotu tavenia štatisticky významný vplyv.

## Záver

1. U trosiek z priamej redukcie železa je použitá metodika nevhodná, nakoľko u trosiek s obsahom oxidov železa dochádza k spätnej oxidácii s vplyvom na teplotu tavenia a skreslením výsledkov.
2. Odčítanie teploty mäknutia trosky je zaťažené subjektívnym prístupom.
3. Teplota tavenia trosky súvisí s obsahom SiO<sub>2</sub> a bazicitou.

## Použitá literatúra

- [1] TOMORI, Z. – VADÁSZ, P.: Aplikácia metódy analýzy obrazu na vysokoteplotnom mikroskope LEITZ Wetzlar. Hutnícke listy 50 (1995) 12, s. 22–23.
- [2] PETRÍK, J. – MIHOK, Ľ. – JAVORSKÝ, F. – FRÖHLICH, L. – VADÁSZ, P. – SOLÁRIKOVÁ, M.: The analysis of the slags from the south Spiš. Archeometalurgia v strednej Európe III, Herľany 2000. In: Acta Metallurgica Slovaca 2 (special issue), 2001, r. 7, s. 66–79.
- [3] PETRÍK, J. – MIHOK, Ľ. – ROTH, P. – HARNIČÁR, A. – MLYNÁRČIKOVÁ, D.: Nálezy trosiek v okolí Vernára. Rozpravy NTM Praha. Z dejín hutníctví 29, Praha 2000, s. 25.
- [4] PETRÍK, J.: Vývoj metalurgie železa na Spiši. In: Z minulosti Spiša. Ročenka Spišského dejepisného spolku v Levoči XIII. ročník, Levoča, 2005, ISBN 80–969456–0–2, s. 113–139.
- [5] PETRÍK, J. Trosky zo slovenských pecí. 240 rokov vysokého technického školstva na Slovensku. zborník konferencie. Bratislava 2002, ISBN 80–227–1757–6, s. 20–28.
- [6] PETRÍK, J. – MIHOK, Ľ. – SOLÁRIKOVÁ, M.: Zaniknutá metalurgia v oblasti vodného diela Ružín. Hutnicke listy. 4–5/2002, s. 44–47.
- [7] PETRÍK, J. – MIHOK, Ľ. – HETMÁNEK, J. – FRÖHLICH, L. – SOLÁRIKOVÁ, M.: Archeometalurgická analýza trosky a železných predmetov z Remetských Hámrov. Archeologia technica 12, Brno 2001. ISBN 80–86413–00–4, s. 13.
- [8] PETRÍK, J. – MIHOK, Ľ. – LESNIAKOVÁ, Z. – SOLÁRIKOVÁ, M. – FRÖHLICH, L. – VADÁSZ, P.: Ťažba železnej rudy, výroba a spracovanie železa v okolí Spišskej Novej Vsi. Acta Metallurgica Slovaca, 1, 2000, r. 6, s. 74–83.

- [9] PETRÍK, J. – MIHOK, Ľ.– FRÖHLICH, L.: Rozbor železiarskych trosiek z okolia Sniny. Archeologia technica 13, Brno 2002, ISBN 80–86413–03–9, s. 23–27.
- [10] PETRÍK, J. – MIHOK, Ľ.: The archaeometallurgical analyse of the slags from extincted blast furnace plants. Karpatika XV. Užhorod 2002, ISBN 966–7400–17–7, s. 250–260.
- [11] LAPIN, V.V.: Petrografija metallurgičeskich i toplivych šlakov. Izdatel'stvo AN SSSR, Moskva 1956.
- [12] MORAVČÍKOVÁ, Ľ. – MIHOK, Ľ. – PETRÍK, J. – VADASZ, P: Štúdium parametrov práce drevouhoľných vysokých pecí. ISBN 80–86413–32–2. Archeologia technica 17. Brno 2006, s. 111–119.
- [13] Atlas šlakov. Moskva 1985.
- [14] ŠARUDYOVÁ, M.: Topografia železniarní na Slovensku v 19. storočí. Košice 1989.

### **Summary**

The aim of submitted work is to search the softening point and melting temperature of bloomery and blast furnace slags by high – temperature microscope. The high values of melting temperature of bloomery slags is a result of wüstite secondary oxidation by oxidizing atmosphere, which replaced original reducing atmosphere in time of the slag – tapping. The melting temperature is affected by SiO<sub>2</sub> content and basicity, other relation (for example period of smelting, iron content in slag, i.e. the effectiveness of process) were not statistically significant.