

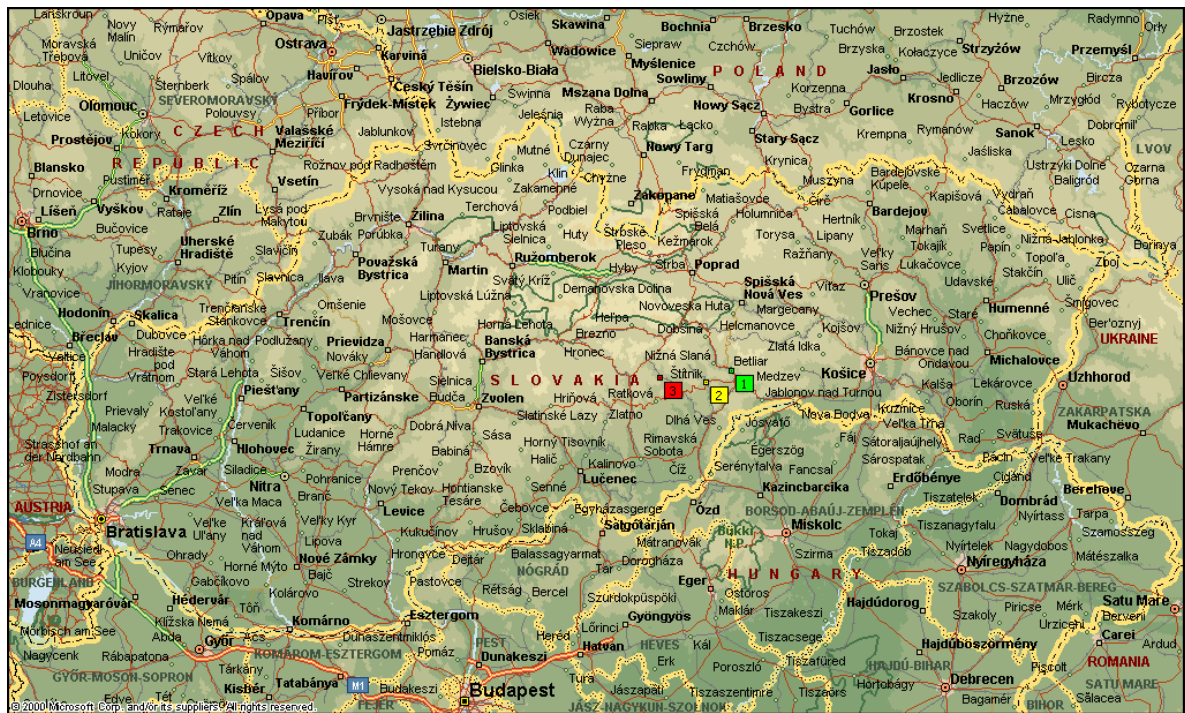
# Štúdium parametrov práce drevouho'lných vysokých pecí

Ludmila Moravčíková, Ľubomír Mihok, Jozef Petrik, Pavol Vadász

## Úvod

Slovensko je hornatá krajina, ktorá vždy bola bohatá na železnú rudu, drevo a vodnú energiu [1, s.250]. Nepriama výroba železa z rúd bola zložitým procesom, ktorého vývoj prebiehal v 18. storočí a úplne sa ukončil až v prvých desaťročiach 19. storočia, pričom v západných krajinách začal podstatne skôr [2, s. 17]. Rozvoju vysokopecného spôsobu výroby železa na Slovensku bránila zlá ekonomická situácia, konzervatizmus majiteľov železiarní, neskôr problémy s vodnou energiou (nevyrovnaný prietok v použiteľných vodných tokoch) ako aj skutočnosť, že ťažená železná ruda bola vhodná na priamu redukciu. Existovalo 59 vysokopecných závodov, v ktorých sa vyrábalo surové železo. K nim patrili aj vysoké pece z Betliara, Štítnika a Šramkovej, znázornené na mape č.1 [3; 4].

Účelom tejto práce je porovnanie výsledkov analýz zo všetkých troch lokalít a vyvodenie príslušných záverov o efektívnosti jednotlivých vysokopecných procesov.



Mapa č. 1 Vybrané vysokopecné prevádzky na Slovensku – oblasť Gemer. Legenda: 1 – Betliar, 2 – Štítnik, 3 – Šramková

## História lokalít

### Betliar (Jakobina huta, Tomášova huta, okres Rožňava)

Betliarsku železiareň založil gróf Leopold Andrassy. Jeho nástupcom sa stal na začiatku 40–tych rokov 19. storočia gróf Nádasdy, za ktorého anglickí technici Evans a Dobbs postavili v Betliari v rokoch 1845–1847 prvú valcovňu na parný pohon v Uhorsku. Zlepšenie železiarne sa podarilo dosiahnuť v polovici 19. storočia nadanému inžinierovi Jozefovi Volnému, ktorý tu pôsobil ako riaditeľ od roku 1851. Predovšetkým postavil novú vysokú pec a zlepšil konštrukciu existujúcej vysokej pece. Energetickú situáciu zlepšil opätovným prestavaním valcovne tyčového železa na vodný pohon. Okrem vysokej pece

a valcovne tu boli dva skujňovacie hámre. V tomto období patrila železiareň grófke Jakobine Nádasdyovej.

Vysoká pec zhutňovala železné rudy z rudného pásma Volovec–Nadabula. Ročne sa vo vysokých peciach vyrobilo 1 080–3 360 ton surového železa. Betliarske kujné železo malo vlastnosti ocele, dodávalo sa do valcovne v Podbrezovej, kde z neho valcovali hlavy a obežné plochy koľajníc. Začiatkom sedemdesiatych rokov ostali v prevádzke už iba vysoké pece. Roku 1879 odkúpil betliarsku železiareň gróf Emanuel Andrassy. Vysokopecnú výrobu v Betliari zastavili roku 1903 [2; 5].

### Štítnik (okres Rožňava)

Akciová spoločnosť Štítnická konkordia, založená roku 1833, mala v Štítnickej doline vysokú pec, skujňovacie vyhne a hámor a ďalšiu vysokú pec v chotári Kunovej Teplice. Riaditeľ Štítnickej konkordie Ondrej Madarász dal roku 1845 podnet na založenie Štítnicko–páľkostolskej železiarskej skujňovacej spoločnosti. Roku 1857 odkúpil všetky huty a bane Štítnickej konkordie majiteľ henckovskej železiarne Karol Sárkány z Rožňavy. V ďalších rokoch vystupoval tento železiarsky komplex pod firmou Konkordia (Dedičia a spoločníci J. Karola Sárkány). Vysoká pec Konkordie, nazvaná Fesmutská, tavila siderity z Rudnej, Ratkovského Bystrého a Nadabuly a hneделе z Hrádku. Hneделе a väčšina sideritov sa pražili pred zavázaním do vysokej pece. Fesmutská vysoká pec vyrobila týždenne 36,4–39 ton sivého surového železa, ktoré sa predávalo do dnešnej MLR a do coburgovského skujňovacieho závodu pri Dobšinej.

V Štítnickej doline (Ujremény) bola i druhá vysoká pec, ktorú postavila koncom štyridsiatych rokov 19. storočia Benediktyovská spoločnosť s ročnou výrobou 1 344 ton liatiny. Počas Madarászovho vlastníctva na začiatku sedemdesiatych rokov tavili vo vysokej peci siderity z Rožňavy a Rudnej a hneделе z Ochtinej. Asi jedna tretina rúd sa pražila v šachtových peciach železiarne. Ročne sa vytavilo 1 557 ton zlievárenského surového železa. Okrem toho priamo z vysokej pece odlievali odliatky (ročne 336 ton). Odliatky sa predávali v Pešti. V osemdesiatych rokoch 19. storočia už táto vysoká pec (Ujremény) nebola v prevádzke [2; 5].

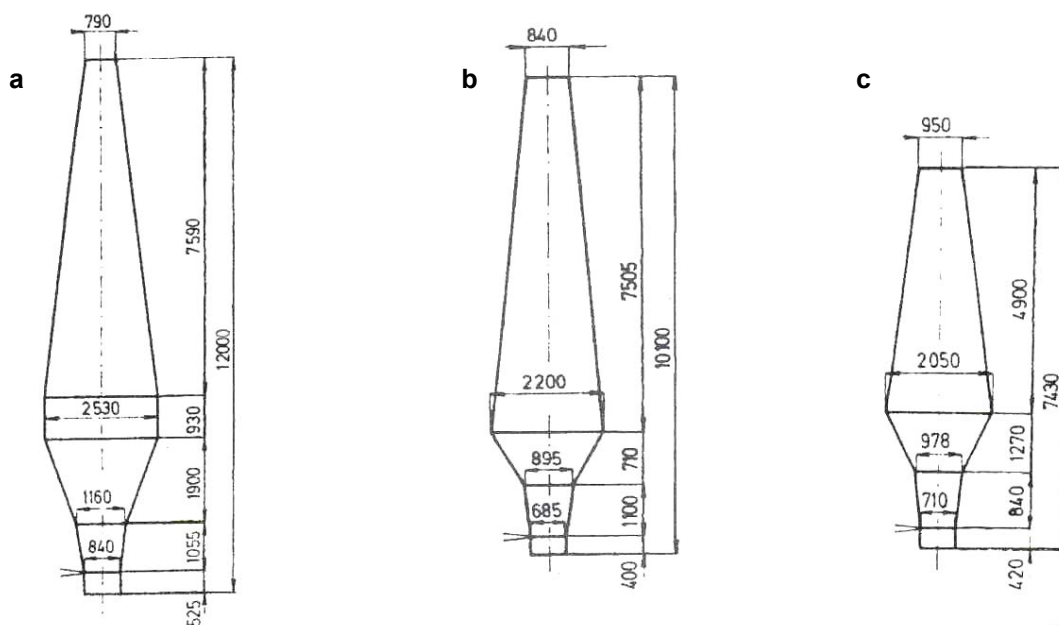
### Šramková (dnes Revúca, okres Rožňava)

Vysoká pec v Šramkovej mala týždenný výkon 39,2–44,8 t surového železa. V tejto vysokej peci sa tavilo čiastočne sivé, čiastočne polovičaté a biele surové železo, ktoré spracovali skujňovacie závody v Ózde a Nádasde (dnes MLR). V súvislosti s výstavbou moderného vysokopecného závodu s prvými koksovými vysokými pecami v Likieri (dnes Hnúšťa–Likier) postupne zastavili prevádzku zastaranej vysokej pece v Šramkovej (1884). Rozmery vysokých pecí z týchto troch lokalít sú zaznamenané v tabuľke č.1 [2; 5].

**Tabuľka č.1** Rozmery niektorých vysokých pecí na Slovensku začiatkom 70–tych rokov 19. storočia [podľa údajov Kerpelyho]

Lokalita	Priemer nisteje (mm)		Priemer (mm)		Výška nad podstavou (mm)			Výška (mm)			
	pred formami	pri sedle	rozpor	sadzobňa	foriem	sedla	rozporu	celého sedla	celého rozporu	šachty	celej pece
Betliar	842	1158	2530	790	526	1580	3480	1890	949	7590	12000
Betliar	736	–	2663	790	–	–	–	–	–	–	10100
Štítnik	633	895	2200	842	395	1500	2609	1007	–	7506	10100
Šramková	710	948	2050	948	421	1262	2530	1265	–	4898	7428

Na obr. 1 sú znázornené profily daných vysokých pecí.

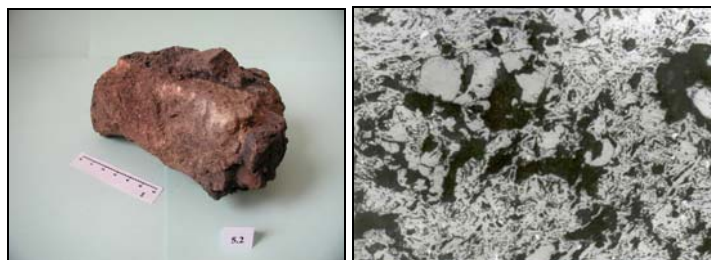


**a** – Betliar  $V = 32,5\text{m}^3$ , **b** – Štítnik  $V = 18,6\text{m}^3$ , **c** – Šramková  $V = 13,1\text{m}^3$  (Madarász–VP Ujremény)

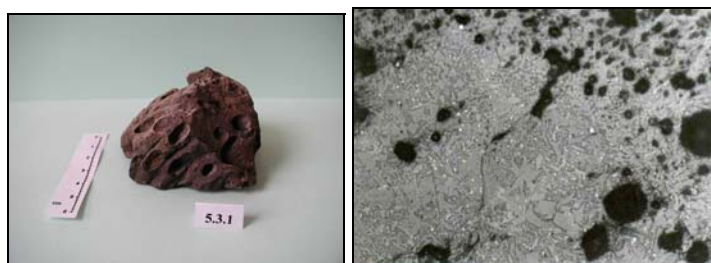
**Obr. 1** Profily niektorých drevouhoľných vysokých pecí na Slovensku v 70–tych rokoch 19. storočia podľa [5].

### Metodika analýzy

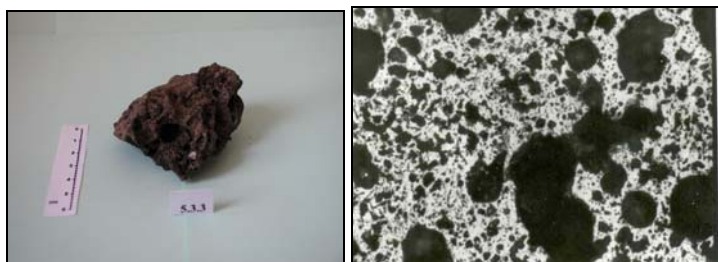
Všetky vzorky boli nájdené v okolí daných lokalít. Prítomnosť sulfidických inklúzií sa stanovovala Baumannovým odtlačkom. Nasledovala mikroštruktúrna analýza na optickom mikroskope NEOPHOT 32. Chemická analýza bola volená klasickou mokrou metódou. Vysokoteplotná analýza bola stanovená mikroskopom Leitz Wetzlar. Okrem toho boli zhotovené fotografie pôvodných vzoriek ale aj fotografie ich príslušných štruktúr, znázomené na obr. 2 a, b – 11 a, b.



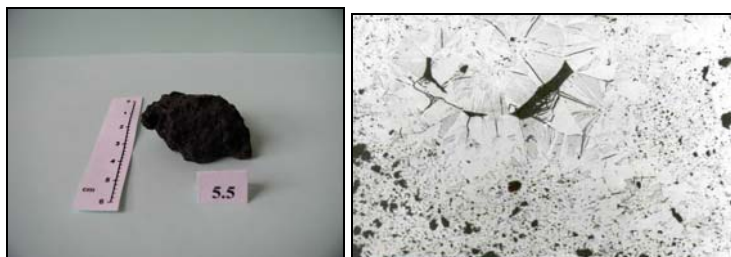
**Obr. 2 a** – vzorka č. 5.2 **b** – štruktúra č. 5.2



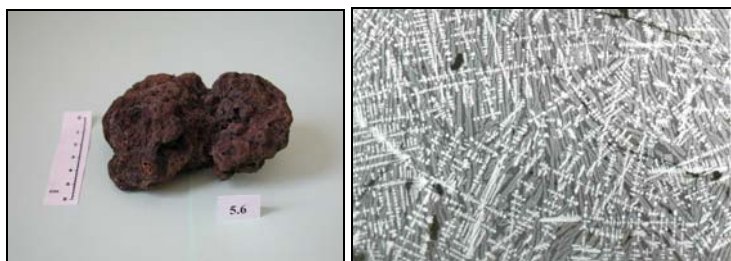
**Obr. 3 a** – vzorka č. 5.3.1 **b** – štruktúra č. 5.3.1



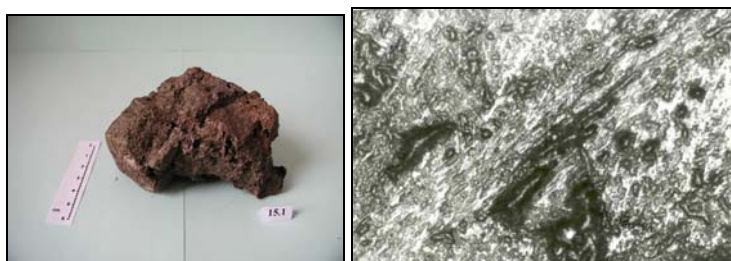
**Obr. 4 a** – vzorka č. 5.3.3 **b** – štruktúra č. 5.3.3



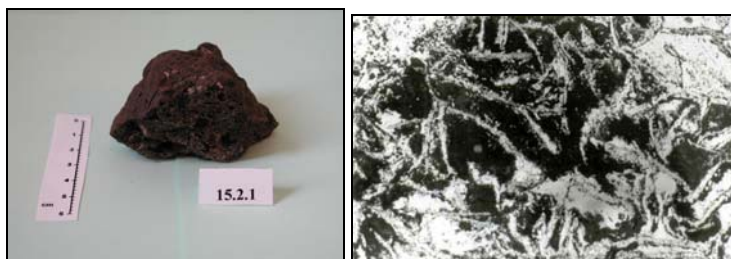
**Obr. 5 a** – vzorka č. 5.5 **b** – štruktúra č. 5.5



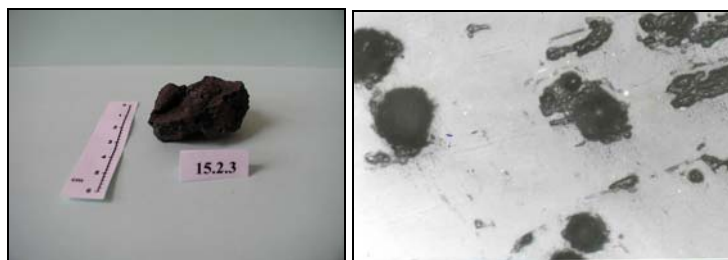
**Obr. 6 a** – vzorka č. 5.6 **b** – štruktúra č. 5.6



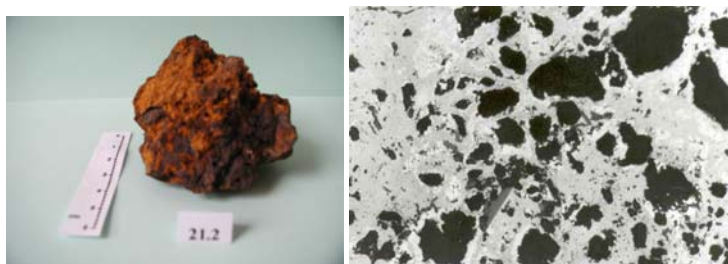
**Obr. 7 a** – vzorka č. 15.1 **b** – štruktúra č. 15.1



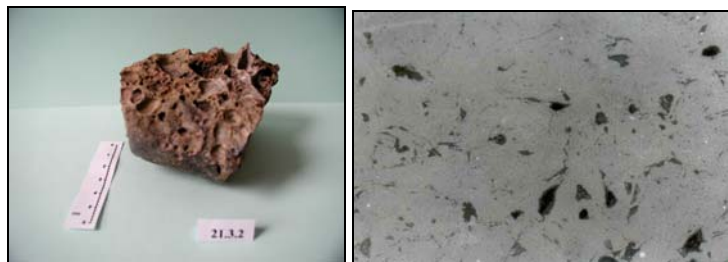
**Obr. 8 a** – vzorka č. 15.2.1 **b** – štruktúra č. 15.2.1



Obr. 9 a – vzorka č. 15.2.3 b – štruktúra č. 15.2.3



Obr. 10 a – vzorka č. 21.2 b – štruktúra č. 21.2



Obr. 11 a – vzorka č. 21.3.2 b – štruktúra č. 21.3.2

### Výsledky Baumannovej analýzy

Baumannovým odtlačkom sa okrem vzoriek č. 5.3.1, 5.3.6, 15.1 a 15.2.1 nezistila prítomnosť sulfidických inklúzií.

Vizuálnym hodnotením Baumannového odtlačku sa zistilo, že u vzoriek s minimálnym obsahom síry bol vysoký obsah  $\text{SiO}_2$  (dokonca v Betliari vzorka č. 5.2 obsahuje až 58,22 %  $\text{SiO}_2$ ).

Obsah síry v troskách s obsahom CaO v troskách mierne rastie, no najprudší rast bol zistený v lokalite Betliar. V ostatných lokalitách to nie je až také výrazné.

### Výsledky mikroskopickej analýzy

5.2 Stavebný materiál pece.

5.3.1 Vysokopecná troska, sivá sklovitá matrica s vylúčenou druhou zložkou.

5.3.3 Vzorka má veľa pórov, pravdepodobne vysokopecná troska.

5.3.6 Sklovitá matrica s dvoma zložkami, jedna vo forme kryštálov, ide o trosku.

5.5 Sivá matrica, vykryštalizované zložky, veľa prasklín, pravdepodobne neidentifikovateľný materiál z vysokej pece

5.6 Dvojzložková silikátová matrica, veľa dendritov wüstitu, neide o vysokopecnú trosku, pravdepodobne troska zo skujňovacej pece.

15.1 Materiál z vnútornej stavby pracovného priestoru pece, veľa dreveného uhlia v štruktúre.

15.2.1 Vysokopecná troska, výskyt oxidov železa, obsahuje veľa dreveného uhlia.

15.2.3 Sivá sklovitá matrica, pórovitá časť, troska.

21.2 Železná ruda, veľmi pórovitá.

21.3.2 Dvojzložková sivá sklovitá matrica, globuly železa, vysoká pórovitosť, je to troska.

V tabuľkách č. 2 až 4 je zaznamenaná chemická analýza vzoriek.

**Tabuľka 2** Chemická analýza – lokalita Betliar

číslo vzorky	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>celk</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	P (%)	ΣCaO+MgO
5.2	58,22	2,23	3,36	4,8	4,69	1,66	0,052	8,16
<b>5.3.1</b>	<b>32,3</b>	<b>2,79</b>	<b>17,36</b>	<b>26,4</b>	<b>0,81</b>	<b>0,53</b>	<b>0,036</b>	<b>43,76</b>
<b>5.3.3</b>	<b>35,4</b>	<b>2,51</b>	<b>19,6</b>	<b>23,2</b>	<b>0,61</b>	<b>5,97</b>	<b>0,060</b>	<b>42,8</b>
<b>5.3.6</b>	<b>33,4</b>	<b>4,74</b>	<b>22,4</b>	<b>30,4</b>	<b>1,02</b>	<b>3,16</b>	<b>0,037</b>	<b>52,8</b>
5.5	30,0	36,02	7,28	21,2	0,81	0,16	0,027	28,48
5.6	35,8	38,81	10,64	8,0	1,02	0,22	0,005	18,64

**Tabuľka 3** Chemická analýza – lokalita Štítnik

číslo vzorky	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>celk</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	P (%)	ΣCaO+MgO
15.1	20,3	3,63	26,32	25,6	0,81	2,42	0,058	59,92
<b>15.2.1</b>	<b>19,8</b>	<b>6,70</b>	<b>28,0</b>	<b>22,4</b>	<b>0,61</b>	<b>2,80</b>	<b>0,059</b>	<b>50,4</b>
<b>15.2.3</b>	<b>46,2</b>	<b>7,26</b>	<b>16,24</b>	<b>11,2</b>	<b>0,61</b>	<b>1,43</b>	<b>0,046</b>	<b>27,44</b>

**Tabuľka 4** Chemická analýza – lokalita Šramková

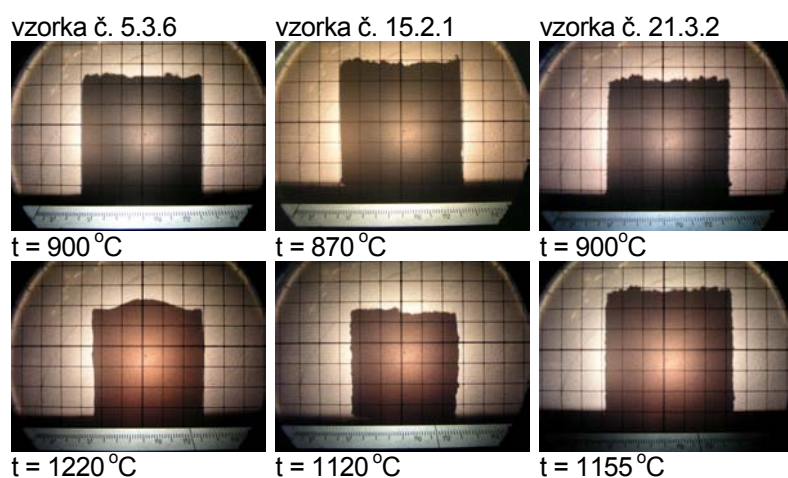
číslo vzorky	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>celk</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	P (%)	ΣCaO+MgO
21.2	15,6	58,92	5,6	5,2	0,20	0,11	0,099	10,8
<b>21.3.2</b>	<b>34,1</b>	<b>2,51</b>	<b>18,48</b>	<b>19,6</b>	<b>2,56</b>	<b>2,10</b>	<b>0,053</b>	<b>38,08</b>

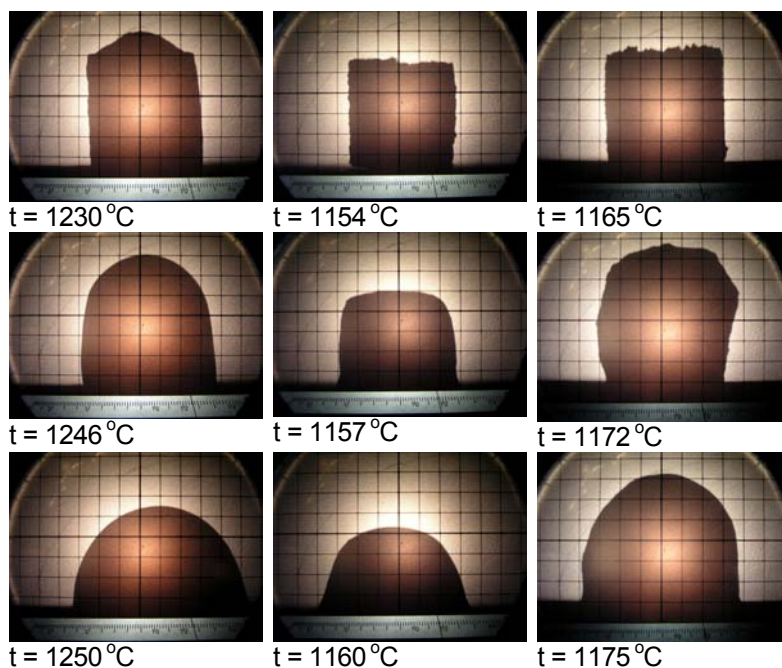
### Výsledky chemickej analýzy

Vysokopecné trosky sú v tabuľkách zvýraznené. Vzorky vysokopecných trosiek 5.3.1 a 5.3.6 z lokality Betliar majú vysoký obsah MgO, čo potvrdzuje prídavok MgCO<sub>3</sub> – táto oblasť je tým charakteristická. V Štítniku sa obsah Fe celkového v troskách pohyboval od 6,7–7,26 %, čo potvrdzuje nízku efektivitu vysokopecného procesu. Všetky vzorky vysokopecných trosiek sú vysoko sklovité, čo je spojené aj s vysokým obsahom SiO<sub>2</sub>.

Na určenie teplôt tavenia vzoriek bol použitý vysokoteplotný mikroskop Leitz Wetzlar. Vzorky boli rozomleté a za prídavku minimálneho množstva vody boli vytvorené valčeky rozmerov 3x3mm. Výsledky analýz sú s príslušnou fotodokumentáciou zaznamenané v *tabuľke 5*.

**Tabuľka 5** Zmena tvaru vzoriek





### Výsledky vysokoteplotnej analýzy

U žiadnej zo skúmaných vzoriek nedošlo k vývoju plynov počas vysokoteplotnej analýzy.

Prvá zmena vzorky č. 5.3.6 začína pri 1172 °C. Začiatok teploty tavenia je vysoký, čo bolo ovplyvnené vysokým obsahom MgO vo vzorke.

Vzorka č. 15.2.1 sa začína pomaly a plynulo zmenšovať, neskôr vzniká meniskus až úplné roztavenie. Len u tejto vzorky nedošlo k puchnutiu.

Vzorka č. 21.3.2 sa začala meniť pri teplote 900 °C, neskôr prebiehali rôzne zmeny tvaru, ktoré sú zdokumentované a meniskus vznikol až pri 1175 °C. Vychladená vzorka má extrémne množstvo bublín na povrchu, čo potvrdzuje priebeh oxidačných procesov. Pri vzorkách č. 5.3.6 a 21.3.2 bola teplota tavenia vzoriek podstatne vyššia (pričom aj obsah SiO<sub>2</sub> bol vyšší) ako u vzorky 15.2.1.

Z obr. 1 a tabuľky 6 vyplýva, že ide o tri vysoké pece rôznej výšky a tiež rôzneho objemu. Z chemických analýz boli vypočítané priemerné hodnoty obsahu Fe a CaO, pričom do úvahy boli brané len vzorky trosiek, ktoré boli jednoznačne potvrdené chemickou a takisto aj mikroskopickou analýzou. Výsledné hodnoty sú zaznamenané v tab. 6.

**Tabuľka č. 6** Priemerné hodnoty analyzovaných vysokopecných trosiek v daných lokalitách

Lokalita a číslo vzorky	Výrobnosť pece (t/týždeň)	Pec v prevádzke (storočie)	t <sub>1</sub> (°C)	t <sub>2</sub> (°C)	Vpece (m <sup>3</sup> )	Fe celk.priem. (%)	CaO <sub>priem</sub> (%)	(CaO+MgO) priemerné (%)
Betliar 5.3.6	45,3	19.–20.	1172	1246	32,5	3,35	19,78	46,45
Štítinik 15.2.1	38,63	80. roky 19.	870	1157	18,6	6,98	22,12	38,92
Šramková 21.3.2	42	80. roky 19.	900	1175	13,1	2,51	18,48	38,08

t<sub>1</sub> (°C) – teplota mäknutia trosky

t<sub>2</sub> (°C) – teplota tavenia trosky

Z tab. 6 vyplýva, že priemerný obsah Fe v troskách je najvyšší v lokalite Štítinik, čo potvrdzuje že táto pec zo spomínaných troch pecí pracovala s najmenšou účinnosťou výroby.

Ak predpokladáme, že by bola vysoká pec v Betliari odstavená len 3 týždne v zimnom období (kvôli zamŕznaniu vody), tak by priemerná výroba pece dosahovala 45,3 t surového železa za týždeň.

Ak by bola odstavená dlhšie ako 3 týždne, výrobnosť pece by bola oveľa vyššia. Aj u vysokej pece v Štítniku sa predpokladalo 3 týždňové odstavenie pece, čiže predpokladaná výrobnosť pece bola 38,63 t/týždeň (zlievarenské surové železo a železo na odliatky).

Z *tabuľky č. 6* vyplýva, že v lokalite Betliar mala vysoká pec najväčší objem a taktiež aj najväčšiu výrobnosť. Uvedená skutočnosť môže byť vplyvom investičných možností majiteľov (Andrássyovci, resp. Rimavsko–Muránska spoločnosť mali väčší kapitál ako ďaleko menšia Benediktyovská spoločnosť). Pravdepodobne táto vysoká pec pracovala s najväčšou výkonnosťou. Ak porovnáme lokalitu Šramkovú a Štítnik, tak hoci vysoká pec v Šramkovej pracovala v približne rovnakom období mala podstatne vyššiu výrobnosť. Z toho vyplýva, že vysoká pec v Šramkovej mala pravdepodobne lepšie pecné zariadenia, obsluhu resp. výrobnú technológiu.

## Diskusia

Napriek vysokému obsahu CaO v lokalite Štítnik vysoká pec v Šramkovej vyrábala kvalitnejšie surové železá. Hoci bola vysoká pec v Šramkovej najmenšia z uvedených troch vysokých pecí, nielen že vyrábala na vtedajšiu dobu kvalitnejšie surové železo, ale aj vo väčšom množstve v porovnaní so Štítnikom (podľa 5 Šramková do 44,8 t surového železa za týždeň a Štítnik 39t surového železa za tú istú dobu). Čo sa týka Betliara (podľa 2 a 5) bola zaznamenaná len ročná výrobnosť, ktorá sa pohybovala v rozmedzí 1080–3360t/rok. Prepočet ročnej výrobnosti na týždennú nie je možný z hľadiska odstávky pece v zimnom období–zamrzanie vody.

Bolo zistené, že v Betliari teplota tavenia vysokopecnej trosky bola 1246 °C, čo svedčí o kvalitnom pecnom zariadení na vtedajšiu dobu (z analyzovaných troch vysokých pecí bolo to najvýkonnejšie pracujúce zariadenie). Potvrzuje to aj nízky obsah celkového železa v analyzovaných troskách. Podľa 1 v Osrbli teplota tavenia vysokopecných trosiek dosiahla až 1274 °C.

## Záver

V rámci tejto práce sa podarilo splniť hlavnú náplň cieľov spomínaných v úvode. Základným problémom, ktorý bol riešený v práci bola analýza práce drevouhoľných vysokých pecí na Slovensku. V práci sú analyzované tri lokality– Betliar, Štítnik a Šramková.

Významným prínosom tejto práce sú poznatky o vysokých peciach, ktoré sú popísané z hľadiska ich vlastníctva, princípu práce, ich výrobnosti, konštrukcie, atď.

1. Vysoká pec v Betliari bola najvýkonnejším pecným zariadením z analyzovaných zariadení. Vysokou teplotou tavenia a pomerne nízkym obsahom železa v troskách táto vysoká pec vyrábala najefektívnejšie.
2. Všetky tri vysoké pece používali drevné uhlie ako palivo, čo bolo potvrdené Baumannovou analýzou, kde síra absentovala alebo sa vyskytla len v minimálnych množstvách.
3. Oblasť Gemeru je známa MgCO<sub>3</sub>, čo potvrdil aj vysoký obsah MgO v analyzovaných troskách.

## Použitá literatúra

- [1] PETRÍK, J – MIHOK, L.: The archaeometallurgical analysis of the slags from extincted blast furnace plants. Carpatica, Užhorod 2002, s. 250–257.
- [2] ŠARUDYOVÁ, M.: Topografia železiarní na Slovensku v 19. storočí. Košice 1989, s. 134.
- [3] PETRÍK, J. – MIHOK, L. – FRÖHLICH, L.: Výroba železa v Červeňanoch a na Troch Vodách. Z dějin hutnictví 31, NTM Praha, 2002, s. 35.
- [4] PLEINER, R.: Dějiny hutnictví železa v Československu, I.. Praha 1986.
- [5] DANIHELKA, A. – DEYL, Z. – FALTUS, J. ET AL.: Dějiny hutnictví železa v Československu 2. Praha 1986, s. 97–98.
- [6] JAGOŠ, J.: Teória hutníckych procesov, Bratislava 1981, s. 159.

## Summary

The aim of the submitted work is the archaeometallurgical analysis of the slags, the refractory materials and the iron ore found in Betliar, Štítnik and Šramková, district Rožňava. The furnace slags, dated to the 19–th century were waste materials from iron smelting in the blast furnaces. The chemical analysis proved



that there was used slag former in the furnaces. The Baumann analysis proved charcoal in the samples, because the samples were without or with low percentage of S. It also proved that all of the furnaces were charcoal blast ones.

The higher effectivity of the smelting process was in Štítník (smelting temperature of slag was 1246 °C, but in the other sites the lower content of iron in the slag was proved, too). This district is well-known for MgCO<sub>3</sub> which was also proved in the samples.