

ROČNÍK/VOL. LXIX
ROK/YEAR 2016

2

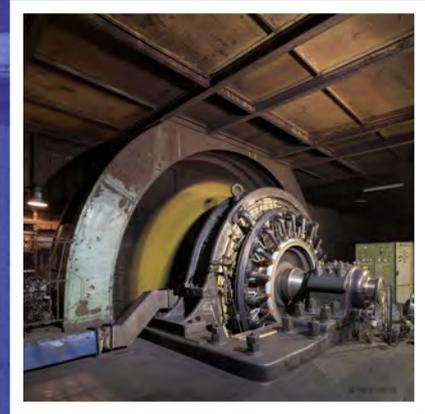


Hutnické listy

METALLURGICAL
JOURNAL

ODBORNÝ ČASOPIS PRO METALURGIÍ A MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ
PROFESSIONAL PERIODICAL FOR METALLURGY AND MATERIAL ENGINEERING

WWW.HUTNICKELISTY.CZ
ISSN 0018-8069





Žárovzdorné materiály pro metalurgii, sklářství, cementářství, keramiku, energetiku / www.mslz.cz



MŠLZ

Registrační číslo / Registration Number
MK ČR E 18087Mezinárodní standardní číslo
International Standard Serial Number
ISSN 0018-8069**Vydavatel / Publisher**OCELOT s.r.o.
Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice
IČ: 49245848, DIČ: CZ-49245848
Registrace v obchodním rejstříku Krajského soudu v Ostravě, oddíl C, vložka 30879**Redakce / Editorial Office**OCELOT s.r.o.
Redakce časopisu Hutnické listy
Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice
Česká republika**Vedoucí redaktor / Chief Editor**Mgr. Šárka Seidlerová
tel.: +420 731 181 238
e-mail: seidlerovas@seznam.cz**Technický redaktor / Technical Editor**Ing. Jan Počta, CSc.
tel.: +420 596 995 156
e-mail: j.poceta@seznam.cz**Grafický redaktor / Graphic Editor**Ing. Dana Horáková
tel.: +420 777 047 666
e-mail: hutnicke.listy@seznam.cz**Tisk / Printing**Printo, spol. s r.o.
Gen. Sochora 1379
708 00 Ostrava-Poruba**Grafika titulní strany / Graphic design of the title page**

Miroslav Juřica, e-mail: grafik@konstrukce.cz

Podkladová fotografie / Underlying photograph

Mgr. Viktor Mácha, e-mail: viktor.macha@centrum.cz

Redakční rada – Předseda / Editorial Board – Chairman

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika

Členové / MembersIng. Michal Baštinský
Ing. Karel Hala
prof. dr. hab. inž. Leszek Blacha
prof. dr. hab. inž. Henryk Dyja
prof. Ing. Vojtěch Hrubý, CSc.
Ing. Henryk Huczala
prof. Ing. František Kavička, CSc.
Ing. Ludvík Martínek, Ph.D.
prof. Ing. Karel Matocha, CSc.
prof. Ing. Ludovít Parířák, CSc.
Ing. Jiří Petřela, Ph.D.
Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.
Ing. Vladimír Toman
prof. Ing. Karel Tomášek, CSc.
Ing. Zdeněk Vašek, Ph.D.EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s., Ostrava, Česká republika
U. S. Steel Košice, s.r.o., Košice, Slovenská republika
Politechnika Śląska, Katowice, Polsko
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
Univerzita obrany, Brno, Česká republika
TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Třinec, Česká republika
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava, Česká republika
ŽP VVC s.r.o., Podbrezová, Slovenská republika
VÍTKOVICE, a.s., Ostrava, Česká republika
MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava, Česká republika
Hutnictví železa, a.s., Praha, Česká republika
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika
ArcelorMittal Ostrava, a.s., Ostrava, Česká republika

Abstrakty hlavních článků jsou publikovány v české, slovenské a anglické verzi na webových stránkách Hutnických listů.

Časopis vychází 6x ročně. Cena jednotlivého čísla 200 Kč. K ceně se připočítává DPH. Roční předplatné základní 1 190 Kč, studentské 20 % sleva proti potvrzení o studiu. K předplatnému se připočítává poštovné vycházející z dodávek každému odběrateli. Po dohodě se zahraničními odběrateli je možno stanovit cenu v Euro (€) jako souhrnnou včetně poštovného. Předplatné se automaticky prodlužuje na další období, pokud je odběratel jeden měsíc před uplynutím abonentního období písemně nezruší prostřednictvím listinné nebo elektronické pošty. Objednávky na předplatné přijímá redakce nebo SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlfbku 1800/77, hala A3, 193 00 Praha 9-Horní Počernice, Česká republika (+420 225 985 225, send@send.cz). Informace o podmínkách publikace, inzerce a reklamy podává redakce.

Za původnost příspěvků, jejich věcnou a jazykovou správnost odpovídají autoři. Podklady k tisku redakce přijímá v elektronické podobě. Recenzní posudky jsou uloženy v redakci. Žádná část publikovaného čísla nesmí být reprodukována, kopírována nebo elektronicky šířena bez písemného souhlasu vydavatele.

© OCELOT s.r.o., 2016

Časopis je zařazen Radou vlády ČR pro výzkum a vývoj do seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR a do mezinárodní databáze CSA Materials Research Database with METADEX, spravované firmou ProQuest, USA.

Abstracts of the main articles are published in Czech, Slovak and

English version at the web site of the Metallurgical Journal. The journal is published 6 times a year. Price of a single issue is CZK 200 without VAT. Net price of basic annual subscription is CZK 1 190, student have 20% discount against the confirmation of study. Forwarding cost (postage) is added to the net price of subscription. Upon agreement with the foreign customers the subscription price, including postage, can be paid in Euro. Subscription is automatically renewed for the next year, unless the customer does not cancel it at the latest one month before the expiry of the subscription period in writing or by electronic mail. Orders are to be sent to the Editorial Office or SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlfbku 1800/77, hala A3, 193 00 Praha 9-Horní Počernice, Czech Republic (+420 225 985 225, send@send.cz). Editorial Office provides also information on the conditions of publication of articles and on conditions of advertising.

The authors bear the responsibility for the originality of their articles and for their factual and linguistic accuracy. Editorial Office accepts the articles in electronic form. Peer reviews are archived in the Editorial Office. No part of the published issues may be reproduced or electronically distributed without written permission of the publisher.

© OCELOT s.r.o., 2016

The journal was included by the Government Council for Research and Development of the Czech Republic into the list of non-impacted peer-reviewed journals published in the Czech Republic. Abstracts of its articles make part of the international database "CSA Materials Research Database with Metadex", administered by the database centre ProQuest, USA.

Obsah / Content

Recenzované vědecké články / Peer-reviewed Scientific Papers

- prof. Ing. Karel Michalek, CSc.; doc. Ing. Bedřich Smetana, Ph.D.; Ing. Michaela Strouhalová* 4
Ing. Monika Kawuloková, Ph.D.; Ing. Simona Zlá, Ph.D.; Mgr. Aleš Kalup doc. Ing. Markéta
Tkadlečková, Ph.D.; doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D.; prof. Ing. Karel Michalek, CSc. Ing. Aleš Opler
Use of High-temperature Thermal Analysis for Determination of the Liquidus and Solidus Temperatures
for Bearing Steels
Využití vysokoteplotní termické analýzy pro určení teplot solidu a likvidu u ložiskové oceli
- prof. Ing. Miroslav Raudenský, CSc., prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc., Ing. Jozef Hrabovský, Ph.D.* 10
Ing. Petr Kotrbáček, Ph.D. and Ing. Michal Pohanka, Ph.D.
Mechanical Properties of Oxidized Steel Samples by Small Punch Test
Stanovení mechanických vlastností okují metodou small punch test

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

- Ing. Klára Drobíková; Ing. Roman Gabor, Ph.D., Mgr. Oldřich Motyka, Ph.D.* 17
doc. Ing. Daniela Plachá, Ph.D.; prof. Ing. Jana Seidlerová, CSc.
Vliv druhu pojiva na tvorbu odpadního plynu při termické úpravě briketovaných jemnozrnných metalurgických kalů
Effect of choice of binder on waste gas production during thermal treatment of briquetted metallurgical sludge
- Ing. Martin Lampa, Ph.D.; Ing. Andrea Samolejová, Ph.D.* 24
Optimisation of vehicle fleet capacity as determined through a simulation using the Monte Carlo algorithm
Optimalizace vozového parku založená na algoritmu Monte Carlo

Informační články / Informative Articles

Zprávy z HŽ, a.s. / Information of HŽ, a.s.

- Ing. Vala* 29
Hutní výroba v ČR a SR. Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2015

Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť / Professional Periodical for Metallurgy and Material Engineering

- Ing. Ladislav Kašpar* 31
Dinaska Svitavy oslavila 30. výročí

Ze života škol / Information on Activities of Universities

- doc. Ing. Adéla Macháčková, Ph.D.* 34
23rd International Students' Day of Metallurgy 12. – 14. 5. 2016
- Ing. Lucie Holešinská* 35
Generační setkání absolventů VŠB-TU Ostrava

Historie hutnictví / History of Metallurgy

- prof. Ing. Karel Stránský, DrSc.; Ing. Drahomíra Janová; prof. Ing. František Kavička, CSc.* 36
doc. Ing. Libor Pantělejev, Ph.D.; RNDr. Karel Stránský, MBA; jun., Ing. Zdeněk Spotz, Ph.D.
Ing. Lubomír Stránský, CSc.; Ing. Bohumil Sekanina, CSc.; Ing. Jan Pošta, CSc.
K historii těžby a zpracování stříbrnosných a zlatonosných rud v Jílovém u Prahy a v některých dalších vybraných lokalitách (pokračování)
To History of the Mining and Treatment of the Silver and Gold Containing Ores in Jílové u Prahy and in some Next Chosen Localities (continuation)

- doc. Ing. Gabriel Kunhalmi, CSc.* 42
Železiarstvo v údolí Hrona a Coburgovci

Společenská kronika / Social Chronicle

- Odišel Dr.h.c. prof. Ing. Jaroslav Kocich, PhD. 45
Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D. oslavil své životní jubileum 46

Historický seriál / Historical Serial

- prof. Ing. Karel Tomášek, CSc.* 47
Stručně o metalurgii hliníka na Slovensku – 1. díl

Dodavatelé příspěvků ve všeobecné části

- Hutnictví železa, a.s. • P-D Refractories • VŠB-TU Ostrava • ÚFM AK ČR • VUT Brno • CSM Ostrava
- Slovenská železná cesta • pravidelní dopisovatelé • redakce

Inzerce

- P-D Refractories • VŠB-TU Ostrava

Recenzované vědecké články

Use of High-temperature Thermal Analysis for Determination of the Liquidus and Solidus Temperatures for Bearing Steels

Využití vysokoteplotní termické analýzy pro určení teplot solidu a likvidu u ložiskové oceli

doc. Ing. Karel Gryc, Ph.D.¹; doc. Ing. Bedřich Smetana, Ph.D.²; Ing. Michaela Strouhalová¹; Ing. Monika Kawuloková, Ph.D.²; Ing. Simona Zlá, Ph.D.²; Mgr. Aleš Kalup²; doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.¹; doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D.¹; prof. Ing. Karel Michalek, CSc.¹; Ing. Aleš Opler³

¹ VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, Department of Metallurgy and Foundry Industry, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic

² VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, Department of Physical Chemistry and Theory of Technological Processes, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic

³ VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY, a.s., Ruská 2887/101, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Czech Republic

The paper is devoted to comparison of the solidus and liquidus temperatures determined by methods of thermal analysis for industrially produced steel grade 100CrMo7. Two modern devices for high temperature thermal analysis were used. Method of direct thermal analysis (PTA) was applied on the device STA 449 F3 Jupiter with use of samples weighing approx. 22 g. The samples weighing approx. 120 to 210 mg were subjected to a differential thermal analysis (DTA) on the device Setaram SETSYS 18TM. Solidus and liquidus temperatures were obtained on the basis of evaluation of experimentally obtained curves during heating (DTA) and cooling (PTA - only liquidus temperature). The results of measurements using methods of thermal analysis were also confronted with the corresponding temperatures obtained from the industrial partner and with the temperatures obtained using specialised programs IDS and ThermoCalc. Identically as in earlier works it was proved that for more accurate determination of the liquidus and solidus temperatures of real steel grades it is very beneficial to use multiple methods of high-temperature thermal analysis. The liquidus temperature obtained by both methods (PTA and DTA) differs only by 1 °C. Variability of the results from individual experiments using different methods is also very low, proving thus the robustness of both methods used. The importance of using different methods of thermal analysis, their mutual verification, is also confirmed by the fact that theoretically determined temperatures differ from the experimentally determined values.

Key words: bearing steel; solidus temperature; liquidus temperature; thermal analysis methods; thermodynamic database.

Metody pro studium procesů spojených s výrobou oceli jsou založeny na znalosti termodynamických vlastností materiálů vyskytujících se v technologických uzlech. Teploty solidu (T_S) a likvidu (T_L) patří k nejdůležitějším parametrům, zejména pro odlévání a tuhnutí oceli. Přesná znalost T_L je zvláště důležitá pro nastavení přehřátí oceli před jeho odléváním. Teplota T_S se týká především procesu tuhnutí, kdy existence a rozsah dvoufázové oblasti mezi T_L a T_S ovlivňuje segregaci a jiné jevy spojené s procesem tuhnutí. Znalost těchto kritických teplot je důležitá nejen pro správné nastavení technologie odlévání a tuhnutí ocelového polotovaru, ale také pro přesné nastavení podmínek pro modelování tuhnutí oceli.

Tento článek navazuje na předchozí práce autorského kolektivu. Opět platí, že je zaměřen na možnosti zpřesnění těchto teplot (T_L , T_S) experimentálními metodami vysokoteplotní termické analýzy. Konkrétně byla analyzována ložisková ocel 100CrMo7. Pro tuto značku oceli je možné předpokládat, vzhledem k vysokému obsahu uhlíku (1 hm. %), že skutečná hodnota T_L se může výrazně lišit od teoretické T_L stanovené výpočtem. Očekává se, že na základě přesnější informace o teplotě likvidu je možno nastavit teplotu lité, a to tak, aby bylo dosaženo vyšší kvality ingotu, tj. menšího výskytu pórovitosti a makrosegregací.

Použily se dva moderní přístroje pro vysokoteplotní analýzu. Metoda přímé termické analýzy (DirTA) byla aplikována na velké ocelové vzorky (hmotnost cca. 22 g) v experimentálních podmínkách na zařízení Netzsch STA 449 F3 Jupiter. Druhé zařízení, Setaram SETSYS 18TM, bylo použito pro metodu diferenční termické analýzy (DTA) a pro

malé vzorky (hmotnost cca 120 – 210 mg). Na základě vyhodnocení experimentálně získaných křivek během ohřevu (DTA) a chlazení (DirTA, pouze T_L) byly získány teploty T_S a T_L . U obou použitých metod činil rozdíl pro teplotu T_L pouze 1 °C. Variabilita výsledků získaných z jednotlivých měření v rámci používaných metod byla rovněž velmi nízká. Tato skutečnost potvrzuje robustnost obou používaných metod termické analýzy. Bylo provedeno porovnání naměřených teplot T_S a T_L s jejich hodnotami získanými od průmyslového partnera VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY, a.s., i s teplotami T_S a T_L získanými pomocí specializovaného softwaru specializovaných IDS a ThermoCalc. Využití výše popsaných metod termické analýzy vedlo ke stanovení teploty solidu (1280 °C) a likvidu (1441 °C) pro ocel 100CrMo7. Naměřená teplota se liší od teoreticky stanovené teploty o desítky stupňů a dokonce i více než o 100 °C. Teoreticky vypočtená teplota (IND) T_S je přibližně o 155 °C nižší nežli naměřená teplota. Teplota T_L pak byla vypočtena průmyslovým partnerem o 28 °C vyšší, než je ve skutečnosti.

Klíčová slova: ložisková ocel; teplota solidu; teplota likvidu; metody termické analýzy; termodynamická databáze

Methods for studying processes related to steelmaking are based on the knowledge of thermodynamic properties of materials occurring in the given technological nodes. Solidus (T_S) and liquidus (T_L) temperatures belong to the most critical parameters, especially for casting and solidification of steel. Exact knowledge of T_L is particularly important for setting of the superheating temperature of the steel before its casting. T_S is then related mainly with the solidification process as such, when in the two-phase region between T_L and T_S the segregation phenomena take place. Knowledge of these critical temperatures is important not only for the correct setting of the given casting technology and solidification of the steel intermediate product, but also for precise setting of conditions for modelling of the course of steel solidification.

This paper builds on numerous previous works, for example [1]. It focuses again on possibilities of more precise determination of these temperatures (T_L , T_S) using experimental methods of high-temperature thermal analysis. This time the focus was concentrated on the bearing steel 100CrMo7 and on determination of its liquidus and solidus temperatures. It can be assumed that due to the very high C content, the true value of the liquidus temperature may be significantly different from the theoretical temperature determined by calculation. It is expected that by obtaining more precise accurate information about the liquidus temperature it would be possible to adjust the casting temperature so as to achieve higher quality of the ingot, i.e. lower scope of porosity and of macro-segregation.

1. Used methods of thermal analysis and theoretical calculations

The term thermal analysis [2] can be explained as group of methods, which enable monitoring of changes in the investigated substance by measurement of selected physical properties in dependence on time or temperature (phase transition, heat capacity, dissociation, etc.). Thermal analysis is from the perspective of the steel industry used mainly for determination of T_L and T_S .

Methods of thermal analysis represent mostly dynamic processes, the aim of which is to obtain information about change of the sample state. These processes

require a non-isothermal temperature mode, which is generally constant heating or cooling of the sample [2, 3]. Changes in the state of the studied material are determined both directly by measurement of the selected physical properties, and indirectly by measurement of the properties of atmosphere surrounding the sample.

Several dozens of thermo-analytical methods exist. Three of them are important. These three methods are used in one half up to three-quarters of all professional works concerning thermal analyses [4-10]. These methods are the following ones: differential thermal analysis (DTA), differential scanning calorimetry (DSC) and thermo-gravimetric analysis (TG). Simultaneous methods also exist in combinations TG/DTA and TG/DSC. In the past the method of direct thermal analysis, based on direct measurement of the change of the sample temperature, especially during controlled cooling, was also used very often [11]. This method has been and still is used mainly for measurements of T_L and T_S of metallic materials.



a) Netzsch STA 449 F3 Jupiter

b) Setaram SETSYS 18™

Obr. 1 Zařízení pro vysokoteplotní termickou analýzu
Fig. 1 Equipment for high-temperature thermal analysis

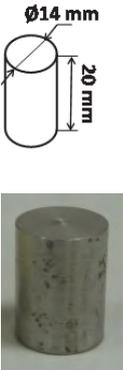
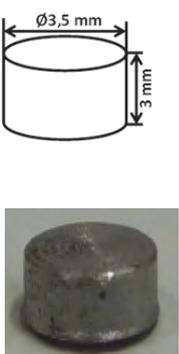
As it was already mentioned in the previous work [1], at the Faculty of Metallurgy and Materials Engineering at the VŠB – Technical University of Ostrava a new laboratory for modelling of processes in liquid and solid phase was established within the project RMSTC (Regional Materials Science and Technology Centre). This laboratory was, among other things, equipped with

new equipment for high-temperature thermal analysis – Netzsch STA 449 F3 Jupiter (Fig. 1a). Another device used in this laboratory for high-temperature thermal analysis is Setaram SETSYS 18_{TM} (Fig. 1b). The equipment Netzsch STA 449 F3 Jupiter was used for measurements using the PTA method - direct measurement of sample temperature in dependence on time (large samples, sample mass approx. 22 g), see Tab. 1. Values of the liquidus temperature during the cooling mode were obtained, and also in the mode of cyclic experiments (2 cooling cycles were performed under identical conditions). The solidus temperature could not be determined by this device and this method due to low sensitivity of the temperature sensor, which was reflected in the ambiguity of the cooling/heating curve).

Setting of temperature modes of cooling was as follows: the sample was heated to the temperature, at which the sample completely in the liquid phase. From this temperature it was cooled down at the cooling rate of 5 or 10 °C·min⁻¹ (first cooling) until complete solidification, and it was then again re-heated to the complete melting and then cooled down again at the cooling rate of 5 or 10 °C·min⁻¹ (second cooling). The device Setaram SETSYS 18_{TM} with DTA method, the principle of which is measurement of the temperature difference between the sample and the reference, was used for determination of the liquidus and solidus temperatures (small samples, sample mass approx. 120 to 210 mg) only during heating. Dimensions of the samples are also given in Tab. 1. Heating itself of the sample was carried out at higher heating rate (30 °C·min⁻¹) from the temperature of 20 to 1 200 °C, and then from 1 200 to 1 600 °C at the heating rate of 10 °C·min⁻¹. Temperatures T_L and T_S were not determined from the DTA curves obtained during cooling. Thanks to the higher sensitivity of the sensor it was possible to determine in the analysed steel grade also the solidus temperature.

Tab. 1 Rozměry vzorků ocelí pro použité metody vysokoteplotní termické analýzy

Tab. 1 Dimensions of steel samples for used high-temperature thermo-analytical methods

Sample for device:	STA 449 F3 Jupiter	Setaram SETSYS 18 _{TM}
Dimensions:		

Chemical composition of the investigated bearing steel 100CrMo7 according to the specification of the industrial

partner - VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY, a.s. (VHM) is given in v Tab. 2.

Tab. 2 Chemické složení ložiskové oceli dle specifikace

Tab. 2 Chemical composition of bearing steel according to the specification

Element	Element content (mass %)
C	0.93 – 1.05
Si	0.15 – 0.35
Mn	0.25 – 0.45
P	max. 0.025
S	max. 0.015
Cr	1.65 – 1.95
Mo	0.15 – 0.30
Cu	max. 0.30
Al	max. 0.050

Apart from the above mentioned methods of thermal analysis we obtained from the VHM also T_L and T_S determined on the basis of calculation relationships used in steel shop of this industrial partner. These values were further complemented by our own calculations made with the inclusion of complex available chemical composition in specialised programs IDS (Solidification Analysis Package) and ThermoCalc (database TCFE7) and they are collectively presented in Tab. 3.

Tab. 3 Teoreticky stanovené T_L a T_S

Tab. 3 Calculated liquidus and solidus temperatures

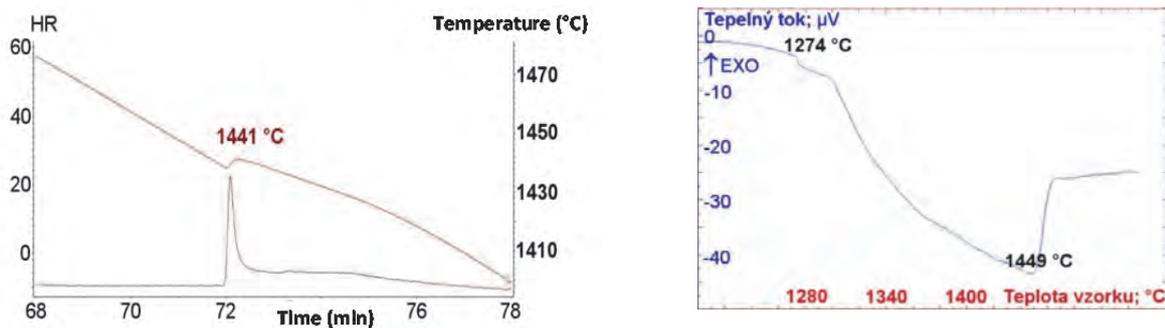
Source	T_S	T_L
	(°C)	
VHM	1 125	1 469
IDS	1 319	1 451
ThermoCalc	1 318	1 453

2. Results and their discussion

Fig. 2 shows examples of results of individual experiments carried out with use of two above-mentioned methods of thermal analysis on both laboratory devices during more precise determination of T_S and T_L of the investigated steel.

Fig. 2a) shows the cooling curve obtained by PTA method with use of the device Netzsch STA 449 F3 Jupiter. A sample weighing approx. 22 g was cooled down at the cooling rate of 10 °C·min⁻¹. The minimum of the heat flow assigned in this curve to the temperature of 1 441 °C was assessed as T_L . Then the sample temperature decreases gradually due to reduction of the share of exothermic effect in the next course of phase transformations.

Fig. 2b) shows the DTA curve obtained with use of the device Setaram SETSYS 18_{TM} – this time during heating, namely at the heating rate of 10 °C·min⁻¹. On the basis of experience with the evaluation of DTA curves the temperatures $T_S = 1 274$ °C and $T_L = 1 449$ °C were identified on this curve.



- a) Křivka ochlazování vzorku oceli 100CrMo7 na zařízení Netzsch STA 449 F3 Jupiter
 a) Cooling curve for steel sample from experiment realised on Netzsch STA 449 F3 Jupiter device
 b) DTA křivka ohřevu vzorku oceli 100CrMo7 na zařízení Setaram SETSYS 18_{TM}
 b) DTA curve from heating of steel sample on Setaram SETSYS 18_{TM} device

Obr. 2 Příklad křivek získaných při vysokoteplotní termické analýze studované oceli 100CrMo7

Fig. 2 Examples of curves obtained during high-temperature analysis of 100CrMo7 steel grade

Determination of T_S and T_L of this steel was preceded by a number of methodological experiments. Among others, on both devices with use of both methods their calibration was performed using the samples of standard – nickel of purity 4N5, the melting point of which (1 455 °C) is exactly known. Deviations obtained during experiments with nickel of high purity then allowed

us to quantify the temperature correction expressing the effect of experimental conditions on the values of T_S and T_L of real steel grades. Tab. 4 presents the corrected T_S and T_L for individual valid experiments, including basic statistical analysis (average, standard deviation, variation coefficient).

Tab. 4 Korigované T_S a T_L získané pomocí metod termické analýzy

Tab. 4 Corrected T_S and T_L obtained by used thermo-analytical methods

Device	Method	Conditions of experiment			Results					
		Sample	Mode	Heating/cooling rate °C·min ⁻¹	Liquidus temperature T_S			Solidus temperature T_L		
					°C	Statistical values		°C	Statistical values	
SETSUS	DTA	V1C9	H	10	1296	Average	1 280	1443	Average	1 440
		V1C10			1275			1438		
		V1C11			1271	Standard deviation	10	1435	Standard deviation	3
		V1C2			1277	Variation coefficient	0.78 %	1442	Variation coefficient	0.20 %
JUPITER	PTA	V1.1	C1	5	-			1442		
			C2		-			1441		
		V1.3	C1	10	-			1439	Average	1 441
			C2		-			1435		
		V1.4	C1	10	-			1440	Standard deviation	3
			C2		-			1441		
		V1.5	C1	10	-			1446		
			C2		-			1440		

Pozn.: H – ohřev, C1 – ochlazování v 1. cyklu, C2 – ochlazování v druhém cyklu

Note: H – heating, C1 – 1st cycle of cooling, C2 – 2nd cycle of cooling

As already mentioned above, small samples with mass of 120 - 210 mg were used for experiments with the DTA method during their heating. The values of T_S and T_L were taken from the obtained from DTA curves and they were subsequently corrected. From the corrected values obtained during heating of individual samples an average was then calculated (1 280 °C), which is considered to be the real T_S of the given steel grade. T_S

determined by the DTA method show higher standard deviation (10 °C) and also higher variation coefficient (0.78 %). This variability is, however, generally accepted to be negligible. In the case of T_L the variability is even lower and its average value (1 440 °C) can thus also be regarded as relevant.

As it is evident from the example in Fig. 2b, during cooling of large samples of this steel it was not possible

to determine reliably T_S , since during cooling no sufficient thermal effect appeared on these large samples. In the case of use of the method of direct thermal analysis it was possible to read for the investigated steel only T_L values directly from the cooling curve, while variability of individual measured values was again very low. The obtained values that were corrected with respect to experimental conditions can be considered relevant. Final T_L determined by this method (1 441 °C) was recalculated the average of the values obtained in a series of all relevant experiments performed using the PTA method. For practical reasons it is preferable to consider higher value of the T_L as a result of high temperature thermal analysis, it means $T_L = 1 441$ °C.

Tab. 5 Srovnání experimentálně získaných a teoreticky stanovených T_L a T_S

Tab. 5 Comparison of experimentally obtained and theoretically determined T_L and T_S

Source	Solidus temperature T_S	Liquidus temperature T_L	ΔT_S	ΔT_L
	(°C)			
Thermal analysis	1280	1441	X	X
VHM	1125	1469	-155	28
IDS	1319	1451	39	10
ThermoCalc	1318	1453	38	12

Comparison of T_S and T_L determined by correctly set methodology of high thermal analysis with the values determined by calculation shows that the real T_S and T_L in case of the steel 100CrMo7 significantly differ from the theoretically determined values. The differences between theoretically calculated and measured values is summarised in Tab. 5.

The most significant differences of both temperatures (T_S and T_L) was obtained by comparison of the experimentally determined values with the values used in the conditions of our industrial partner, wherein the difference of T_S was 155 °C and that of T_L was 28 °C. Theoretically calculated temperatures (IDS or ThermoCalc) are very close to each other. They differ less from the experimentally determined T_S and T_L than the values provided by the industrial partner, in spite of that the differences are not quite negligible (39; 38; or 10 and 12 °C). In all cases, the deviation is higher in case of T_S than in case of T_L .

Conclusions

The paper presented methods of comprehensive verification of solidus and liquidus temperatures for the steel grade 100CrMo7. Two methods of thermal analysis were used. On the device STA 449 F3 Jupiter we applied method of direct thermal analysis (PTA). On the device Setaram SETSYS 18_{TM} the samples were subjected to differential thermal analysis (DTA).

The acquired findings can be summarised in the following points:

1. Both used methods of thermal analysis showed a high degree of reproducibility of results, which proves the correct setting of the experimental methodology.
2. Correctness of the measured liquidus temperatures T_L is accentuated by their almost identical average obtained by different methods with very different masses of the samples, when the difference between them was 1 °C.
3. For the tested steel grade 100CrMo7 it was not possible to identify the thermal effect on the cooling curve of large sample using direct thermal analysis, which confirms correctness of the approach taken, when several methods were used for determination of the solidus temperature T_S and the liquidus temperature T_L of real industrially produced steels.
4. For the steel grade 100CrMo7 the following temperatures were determined with use of the methods of thermal analysis: $T_S = 1 280$ °C, $T_L = 1 441$ °C.
5. The measured temperatures differ from the theoretically determined values by of tens and even more than 100 °C. Theoretically determined T_S is approx. by 155 °C lower than the measured one; T_L was then determined in the operating conditions by 28 °C higher than it corresponds to reality.

The issue of verification of the T_L and T_S requires more complex approach using several methods. Larger differences in respect to the calculated values can be expected especially in the case of special steels with high content of carbon or of alloying elements. In the final phase industrial scale experiments should be performed, which would enable adjustment of the casting technology itself, so that there significant operational savings could be achieved, by possible reduction of the temperature of steel overheating. Furthermore, it is advisable to implement the obtained results into numerical simulations aimed at optimisation of casting processes of steel casting and solidification, which would lead to achievement of more accurate results corresponding to real operating conditions.

Acknowledgements

This work was realised at the Faculty of Metallurgy and Materials Engineering within solution of the project No. LO1203 "Regional Materials Science and Technology Centre - Sustainability Program," funded by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic.

Literature

- [1] GRYC, K. et al. In *Metal 2011*: 20th International metallurgical conference, Brno, 2011, pp. 125–131. ISBN 978-80-87294-24-6.

- [2] GALLAGHER, P.K. *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry: Principles and Practice*. 2nd ed. Amsterdam: The Netherlands: Elsevier, 2003. 691 pp., ISBN 0-444-82085-X.
- [3] SMETANA, B., ZLÁ, S., DOBROVSKÁ, J., KOZELSKÝ, P. Phase transformation temperatures of pure iron and low alloyed steels in the low temperature region using DTA. *International Journal of Materials Research*, 101 (2010) 3, 398–408. ISSN 1862-5282.
- [4] ZHAO J.C. *Methods for Phase Diagram Determination*. Oxford: Elsevier, 2007.
- [5] BANDA W. et al. Liquidus temperature determination of the Fe-Co-Cu system in the Fe-rich corner by thermal analysis. *Journal of Alloys and Compounds*, 461 (2008), 178–182.
- [6] NASSAR, H., FREDRIKSSON, H. On peritectic reactions and transformations in Low-Alloy Steels. *Metallurgical and materials transactions A*, 41A (2010), 2776–2783.
- [7] GMELIN, E., SARGE, S., M. Temperature, Heat and Heat Flow rate calibration of Differential scanning calorimeters. *Thermochimica Acta*, 347 (2000), 9–13.
- [8] SARGE, S., M. et al. Temperature, Heat and Heat Flow Rate Calibration of Scanning Calorimeters in the Cooling Mode. *Thermochimica Acta*, 361 (2000), 1–20.
- [9] BOETTINGER, W. J., KATTNER U. R., A K.-W. MOON. *National institute of standards and technology. DTA and Heat-flux DSC Measurements of Alloy Melting and Freezing: NIST Recommended Practice Guide*. Spec. Publ. 960-15. Washington: U.S. Government printing office, 2006.
- [10] GRUNBAUM, G. et al. *A Guide to the Solidification of Steels*. Stockholm: Jernkontoret, 1977, 162 pp.

Závitové tyče na 3D měření výrobků

Středojemná válcovna ArcelorMittal Ostrava začíná využívat 3D měření svého unikátního výrobku, závitových tyčí. Zařízení v hodnotě přibližně 1 mil. Kč, které navrhl a vyvinul tým zlepšovatelů, zkrátí čas potřebný pro měření tyčí, čímž se zvýší celkový objem výroby. Měření navíc bude podstatně přesnější: tyče dokáže změřit na tisíce milimetru. V dubnu se bude zařízení testovat a po vyhodnocení se jeho aplikace v případě úspěchu rozšíří.



„Při výrobě závitových tyčí na středojemné válcovně jsme měli nízké hodinové výkony. Vyhodnocení prostojů nám ukázalo, že nejvíce času ztrácíme při seřizování trati a odběru vzorků,“ vysvětluje Michaela Roubíčková z oddělení trvalého zlepšování, která s myšlenkou 3D měření přišla.

Dosavadní postup, kdy musel operátor změřit digitálním posuvným měřítkem sedm požadovaných rozměrů, trval až čtyři minuty a výsledky byly v řádech desetin až setin milimetru. „Požadavky zákazníků jsou stále náročnější, to nás přimělo přemýšlet i nad měřením, které bude přesnější. Proto jsme se rozhodli jít cestou 3D měření, díky němuž jsme schopni měřit s přesností na tisíce milimetru,“ doplňuje Roubíčková. Spolu s kolegy z úseků automatizace a řízení výroby pak na míru navrhla a sestrojila hliníkovou konstrukci, do níž je umístěn profilometr a servomotor. Zařízení vloženou tyč naskenuje a zobrazí obraz, včetně naprogramovaných rozměrů.

„Máme za sebou první zkoušky na třech typech profilů. Měření je daleko přesnější a rychlejší, vše je tedy dle našich představ a plánů i po praktické zkoušce,“ hodnotí

první výsledky Roubíčková. V případě, že se 3D měření v ostrém provozu osvědčí, bude se aplikovat i u ostatních profilů. Předpokládaná návratnost investice je cca 4 měsíce. Není do ní ale započítán čas ušetřený během seřizování trati, který se zjistí právě v průběhu zkoušek. Je proto pravděpodobné, že skutečná návratnost bude ještě kratší.

Středojemná válcovna je součástí závodu 14 – Válcovny v ArcelorMittal Ostrava. V době svého vzniku v 80. letech byla co do výše investic druhou největší investicí v Československu, hned za jadernou elektrárnou Temelín. Pořizovací cena válcovny byla 7 miliard Kčs. Válcovna dnes vyrábí široký sortiment za tepla válcovaných dlouhých výrobků – jemnou a střední profilovou ocel základních tvarů, žebírkové tyče pro výztuž do betonu, rovnoramenné úhelníky, tyče profilu U a speciální profily. Jako jediná v ČR vyrábí také tyče s průběžným závitem používané ve stavebních konstrukcích, důlních dílech, tunelech či podzemních stavbách, a to bez nutnosti svařování nebo drátování.



- Z tiskové zprávy 12. dubna 2016 -

Mechanical Properties of Oxidized Steel Samples by Small Punch Test

Stanovení mechanických vlastností okují metodou small punch test

prof. Ing. Miroslav Raudenský, CSc.; prof. Ing. Jaroslav Horský, CSc.; Ing. Jozef Hrabovský, Ph.D.;
Ing. Petr Kotrbáček, Ph.D.; Ing. Michal Pohanka, Ph.D.

Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Heat Transfer and Fluid Flow Laboratory,
Technická 2, 616 69 Brno, Czech Republic

The aim of this work was to determine mechanical properties of oxidized samples made of two different types of steel, low-carbon steel (DC 01) and low-silicon steel (M47-FP). The small punch test (SPT) was chosen to examine several sheet specimens with an initial thickness of 0.5 mm previously exposed to oxidation at 1 000 °C. The formed oxide scale layers were mainly composed of hematite and magnetite and they had thicknesses according to oxidation time. The paper presents a method of determining suitable material parameters for transformation of force-deflection curves to the stress-strain curve for defined steel at elevated temperature (from 600 °C to 800 °C) using Ansys Workbench. For determination of the appropriate transformation, the Chaboche model was used. The presented results show the advantages and disadvantages of considered method that can be employed in many engineering applications.

Key words: small punch; oxide scale; Chaboche kinematic hardening; DC 01; M47-FP; stress-strain curve

Cílem této práce bylo stanovit mechanické vlastnosti okují vytvořených oxidací za vysokých teplot na ocelovém povrchu. Studie byla provedena pro dva typy oceli: nízkouhlíkovou ocel DC 01 a křemíkovou ocel M47-FP s nízkým obsahem křemíku. Nízkouhlíková ocel reprezentovala typický materiál pro běžné aplikace. Křemíková ocel s nízkým obsahem křemíku odpovídala svým chemickým složením plechům používaným v elektrotechnice. Pro stanovení mechanických vlastností byl použit small punch test (SPT). Při tomto testu je do upnutého tenkého vzorku definovaného materiálu vtlačován hrot s kuličkou nebo zaoblený hrot. Kruhový vzorek je držěn po svém obvodu mezikruhovými čelistmi a je deformován zvoleným hrotem ve vertikálním směru. Experiment a tedy celou úlohu je možné zjednodušit na osově symetrickou.

Vzorky s původní tloušťkou 0,5 mm, byly před provedením testu zokujeny při teplotě 1 000 °C. Oxidické vrstvy dosahovaly na uhlíkové oceli tloušťek přes 100 μm a na křemíkové oceli kolem 25 μm. Vzniklé okuje se skládaly převážně z hematitu a magnetitu a jejich tloušťka závisela na době oxidace. Současně s testy zoxidovaných vzorků byly provedeny testy základního neoxidovaného materiálu. Všechny testy byly provedeny pro několik teplot deformovaného vzorku v teplotním rozsahu od 600 do 870 °C

Článek popisuje metodu pro stanovení materiálových parametrů pro transformaci změřených křivek síla vs. posunutí na křivku napětí vs. přetvoření pro definovanou ocel za zvýšených teplot. Jako nástroj pro získání odpovídajících materiálových parametrů byl zvolen software Ansys Workbench. K popisu materiálového chování měřených vzorků byl použit Chabocheho model s kinematickým zpevněním.

Výpočet probíhal iteračně, protože současně s hledanými materiálovými parametry bylo nutné stanovit součinitele tření mezi nástrojem a vzorkem při dané teplotě. Zjištěné součinitele tření jsou jedním z výsledků tohoto výzkumu. Výsledné závislosti napětí - přetvoření jsou silně teplotně závislé a jsou popsány vztahem, pro který jsou materiálové konstanty zjištěny postupem uvedeným v článku. Tyto závislosti je možné využít například při výpočtech, ve kterých se řeší deformace tenkých ocelových vzorků s vrstvou oxidů. Popisovanou metodu je možné použít i v dalších technických aplikacích.

Klíčová slova: small punch test; vrstva okují; Chabocheho materiálový model; DC 01; M47-FP; deformační křivka

In steel processing, such as continuous casting, hot rolling, and furnace heating, steel is frequently processed in relatively high temperatures and oxygen-rich environment (by water spraying or in wet ambient conditions). The growth of scale layers on the steel surface becomes an integral part of the production of steel. However, scale layers are the most undesirable by

product, because the growth of scale layers could deteriorate the surface and material properties of steel. For example, the growth of scale layers can initiate micro cracks on the steel surface, which can cause the degradation of the physical and mechanical properties of semi-finished or finished products.

For these reasons, it is essential to understand the effect of the scale layers growth on the associated physical and mechanical properties. The proper understanding can lead a better control of scale layer growth, or more specifically, to provide appropriate schedule for descaling to eliminate the crack initiation or to predict the possible degradation due to the growth of scale oxide for maintaining the required integrity of the steel processed.

Because the inherent brittleness and inhomogeneity of oxide structures and the high processing temperatures at which the scales are formed and tested, the quantification or measurement of the mechanical properties of oxide scales can be very problematic and complicated. Furthermore, different steel compositions and processing conditions can create different types of oxide scales; as a result, a great variety of oxide layers with different morphological and chemical conditions can be obtained; this large variability of the oxides can add the complexity and difficulty of the measurement of the mechanical properties. Many techniques, such as tensile tests [1], bending tests [2, 3] and small punch tests (SPTs) [4], have been applied for studying the mechanical properties of the oxide scale formed on the steels or other metals. This paper continues in work presented in Punch Tests at Oxide Scales Surface of Structural Steel and Low Silicon Steel [5]. Methodology and results presented in this paper are based on the measurements described in [5]. Results measured by SPT methodology were processed and evaluated and are presented in this paper. The evaluation was focused on the mechanical properties of the tested specimens. This paper provides comprehensive view on the methodology of mechanical properties obtaining.

1. Method

1.1 The Small Punch Test

In the present study, the small punch test (SPT) is selected for the quantification of the mechanical properties of the steel specimens with different oxide scales. In SPT, as shown in Fig. 1, a punch with a semispherical (or ball) head is pushed at a constant speed through the bore of the dies to press the center portion of the specimen to rupture, where the specimen periphery is clamped and fixed between an upper and a bottom die. The tester is instrumented to provide punch load-displacement data until the specimen is fractured. The deflection in the center of the specimen at the maximum load (at fracture) is frequently measured as the major parameter to represent the material property.

The main advantage of SPT is its miniaturized specimen size. As compared with the dimensions of specimen for the standard tensile test (ASME E8/E8M) [6] or the standard bending test (ASTME855) [7], the size of the SPT specimen is approximately one-order of magnitude smaller. Thus, the SPT becomes less destructive and allows mechanical property changes to be determined

locally, which can accommodate to the problems arisen from the inhomogeneity and brittleness of the steel with the oxide scale. The SPT is especially convenient for testing needed to be conducted at elevated temperatures, such as the test temperatures required in the present study, since its size is small enough to fit to most of the furnaces that have good high-temperature controls.

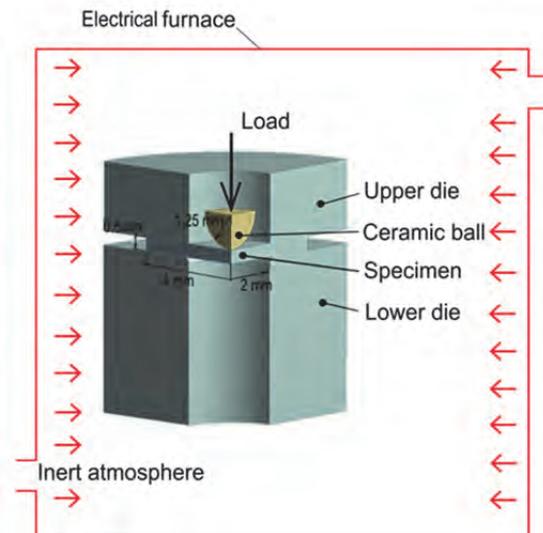


Fig. 1 Schematic illustration of the small punch test SPT
Obr. 1 Ilustrační schéma small punch testu

One of the first attempts to use the miniaturized SPT was the study of Baik et al. [8], who applied a SPT to study the degradation of the mechanical properties after long time exposure to an irradiation environment and correlated the SPT results to those based on the standard Charpy V-notch test. A test specimen much smaller than the standard Charpy specimen would be extremely desirable since small specimens take less space within a reactor in studying the neutron damage. Following this study, many Japanese investigators started to develop the SPT to evaluate the mechanical properties of different materials. Komazaki et al. [4] studied the influence of oxidation on the mechanical properties of Cu alloys used in rocket combustion chamber to understand the material integrity for the long-time service. The Cu alloy specimens were oxidized at 825 °C for 15 hours and then loaded for SPT at temperatures ranging from room temperature to 600 °C. Their testing results indicated that strength and ductility of oxidized specimen gradually decreased with increasing testing temperature accompanying intergranular brittle fracture. No specific values of the mechanical property degradation were reported. The SPT test together with X-ray diffraction of oxide scale was studied in [5].

Over the last two decades, the SPT has been developed to become a versatile and popular technique for studying mechanical properties for various types of materials using specimens with reduced sizes. It has become an ASTM standard for the determination of the

sheet metal failures under forming processes [9] and for studying the integrity of ultra-high molecular weight polyethylene used for surgical implant applications [10]. Recently, it has been under considerations to become a European standard for metallic materials [11].

1.2 The Inverse FE Analysis

The result of the SPT is relationship between the punch force and specimen deflection. The recorded load-displacement data serve for the inverse finite-element analysis (FE) to get stress vs. strain curve which characterizes the material response to mechanical loading. The basic and most important parameters of this curve are then yield stress and ultimate stress.

In the inverse FE analysis, a specific optimization algorithm is adopted to search the best-fit material properties, so that the load-displacement behavior calculated by the FE analysis matches well with the recorded experimental data [12]. The material properties to be searched should be well-defined in the material constitutive model used by the FE analysis. Note that the inverse technique used in the present purpose for material properties is also known as "parameter identification" [12–14], and was carried out by Screening, optimization method in toolbox Direct Optimization of computational program Ansys Workbench 14.0.

The material constitutive model used in this paper is originally developed by Chaboche [15, 16] and assumes that the materials are elasto-viscoplastic, which fits very well with the material behavior of steel under the SPT at the elevate temperatures.

Many authors deal with searching suitable parameters to convert force at the yield point and force at the ultimate point into the yield stress respectively ultimate stress. Several empirical parameters were presented [17, 18]. However, the empirical relationships are obtained for a specific type of specimens with defined thickness and tested under given conditions.

2. Experiment

2.1 Specimens Base Material

Two types of steel are chosen to investigate the composition effects on the mechanical properties of steel with oxide scales. The first type is silicon steel, DC01 (European Material No. 1.0330) [19], while the second one, M47-FP steel (ASTM and AISI designation), is non-oriented electrical steel [20]. The DC01 steel is one of the most popular low-carbon structural steels used by industries; its oxide scales are relatively easily removed from its surface, therefore can be considered as a benchmark for gauging the quality of steel with

oxidescaled surfaces. The M47-FP steel is selected because of its high content of silicon and popularity used in magnetic core applications. Also, the oxide scale of the M47-FP is relatively difficult to be removed from its surface. Composition of both used materials is presented in Tab. 1.

Tab. 1 Chemical composition of the studied materials, (wt. %)

Tab. 1 Chemické složení studovaných materiálů, (hm. %)

Specimen	C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Sn
DC 01	0.035	0.290	0.005	0.006	0.009	0.028	0.130	0.010
M47-FP	0.010	0.240	1.140	0.006	0.011	0.050	0.030	0.010

2.2 Specimens Preparation

The steel samples were cut into circular specimens with diameter of 8 mm and thickness of 0.5 mm and heated by an electrical furnace to 1 000 °C. As an oxidizing atmosphere, ambient atmosphere without addition of special gases was chosen. The values of the oxidation time and temperature for both materials are listed in Tab. 2.

Tab. 2 Oxidation time and temperature

Tab. 2 Časy oxidace a teploty

No.	Specimen	Temperature	Oxidation Period	Steel Thickness	Scale Thickness
		(°C)	(s)	(µm)	
1	Silicon steel	1 000	14 400	410	47
2	Carbon steel	1 000	1 200	183	230
3	Silicon steel	No oxidation	No oxidation	500	0
4	Carbon steel	No oxidation	No oxidation	500	0

By oxidation, four specimens were obtained: specimen of low silicon steel with an oxide scale layer, specimens of carbon steel with an oxide scale layer and two reference specimens of base materials without any scales (see Tab. 2).

2.3 Experiment Description

The oxidized specimens were loaded for the SPT at four different temperatures varying from 600 to 880 °C, where the tester was located inside of the electrical furnace as shown in Fig. 2. The temperature during testing was kept constant within ± 0.5 °C. The small punch tests have been performed on the experimental machines constructed by IPM ASCR at a constant speed until the specimen is ruptured. To validate the measurement, the test of low silicon steel with oxide scale layer at 800 °C was repeated.



Fig. 2 The apparatus used for the small punch test (SPT)
Obr. 2 Zařízení pro small punch test (SPT)

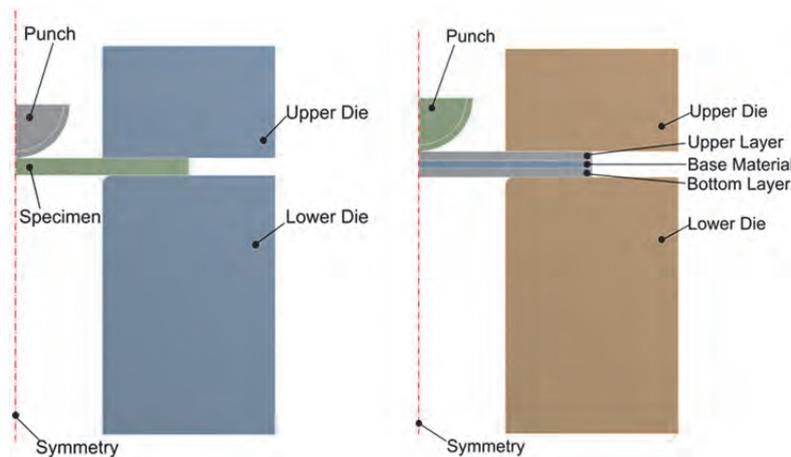


Fig. 3 Model of geometry for the non-oxidized (left) and oxidized (right) specimen
Obr. 3 Model geometrie vzorku bez okují (vlevo) a s okujemi (vpravo)

Individual components of the numerical model of geometry were connected through the contact surfaces. Contact areas were thus defined between the bottom and the top of the sample with bottom respectively upper and lower die. Further contact was then defined between the top of the sample and the puncher. All contacts were set up as contacts with friction. Frictional coefficient between the specimen and the die was defined by the value of 0.5. Frictional coefficient between the indenter and the specimen was considered as unknown parameter and was sought in experiment evaluation process.

3.2 Material Model

Chaboche's kinematic hardening material model [21] was developed for a monotonic uniaxial loading. Chaboche model is a superposition of multiple kinematic models. Simplified form for the description of monotonic loading is published in [16], see eq. (1). This equation is used for description of material behavior during the SPT test. Individual terms of the equation determine the slope and the course of the stress (σ_x) – strain (ε_{px}) curve.

3. Numerical Simulation

3.1 Model of Geometry

Model of geometry for oxidized specimens was adjusted to match the actual model for SPT measurements. Modification consisted in distribution of the geometry of the samples into three parts. The top and the bottom corresponded to a layer of the oxide scales; the middle section represented the base material. Thicknesses of each layer were defined according to measurements by electron microscope. All layers were modeled as continuous and homogeneous. The corresponding geometry models are presented in Fig. 3.

$$\sigma_x = \sigma_y + \frac{C_1}{\gamma_1} (1 - e^{-\gamma_1 \varepsilon_{px}}) + C_2 \varepsilon_{px}, \quad (1)$$

where σ_y is yield stress and C_1 , C_2 and γ_1 are the unknown material parameters to be found. For the formation of Chaboche's model it is necessary to have experimental data from which the coefficients of Chaboche's model are identified. Estimation of parameters can be performed by using mathematical approaches such as nonlinear regression with initial estimate of required coefficients. In numerical modelling and finding the optimal parameters for the specimen measured during the SP test the value of stress depending on the strain were not known. Therefore, the necessary parameters of Chaboche's model were parameterized and searched by optimization method based on several values of force and corresponding to the value of deformation selected from the whole measured process.

Two basic parameters as Young's modulus, frictional coefficient between ceramic ball and specimen and four parameters as yield strength, C_1 , γ_1 , C_2 which represent

the Chaboche's material model were selected for optimization process.

3.3 Evaluation

The unknown parameters (parameters in eq. (1) and interface friction coefficient) were searched by optimization, loop of numerical simulations. Optimization algorithm changes the unknown inputs so at the corresponding measured displacement the most accurate values of force were achieved. The input measured data for evaluation are shown in Fig. 4 and 5. The optimization task was carried out for all the measured curves based on several values of force and corresponding deformation.

However, the approach in this paper is general; the presented resultant values are based on some assumptions as crack initialization was not involved, the thermal component of Chaboche's material model was neglected, material of steel and oxides were taken as homogenous.

4. Results and Discussion

Experiments with 4 samples were carried out at temperatures of 600, 700, 800 °C and for maximum temperature achievable for each sample (maximum temperatures varied from 870 to 880 °C). The records of force vs. displacement for each elevate temperature are shown for base (clean) material in Fig. 4 and for specimen with oxide scale in Fig. 5.

Evaluated material parameters for individual specimens at appropriate temperatures calculated by optimization are presented for base material of structural steel M47-FP in Tab. 3, for base material of silicon steel DC 01 in Tab. 4. The material parameters of samples with oxide scales are shown for structural steel M47-FP in Tab. 5 and for silicon steel DC 01 in Tab. 6.

The stress-strain curves for obtained material parameters based on Chaboche's material model equation are plotted for base material in Fig. 6, for material with oxide scales in Fig. 7.

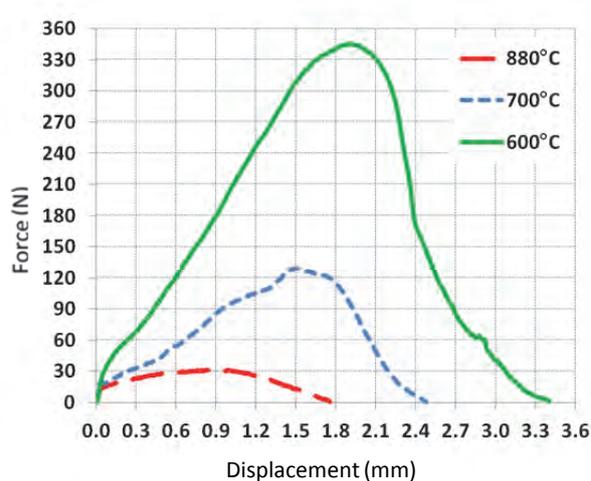
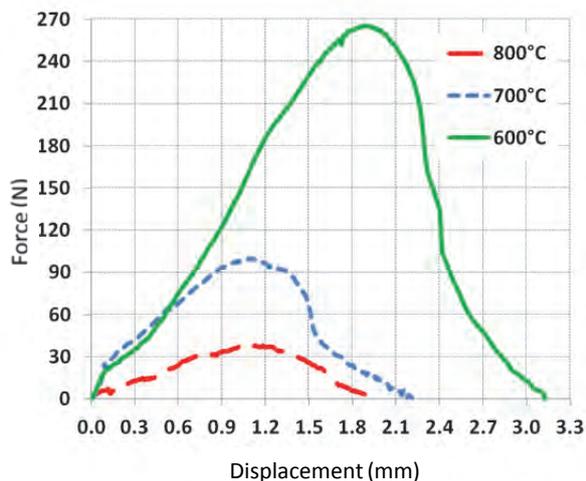


Fig. 4 Force vs. displacement for the samples without oxide scale layer in structural steel M47-FP (left), in silicon steel DC 01 (right)

Obr. 4 Závislosti síly na posunutí pro nezokoujené vzorky z konstrukční oceli M47-FP (vlevo) a pro křemíkovou ocel DC 01 (vpravo)

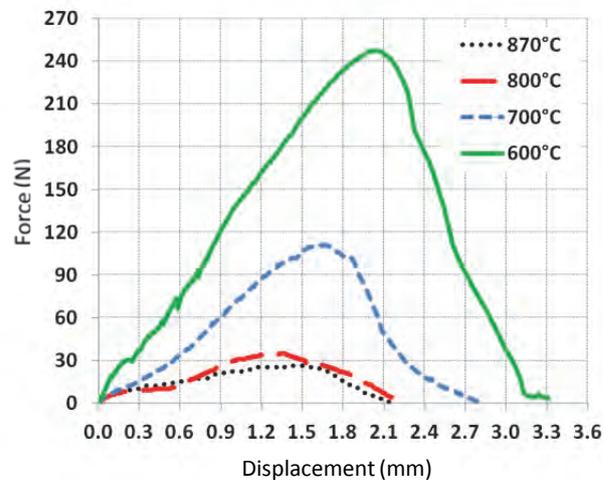
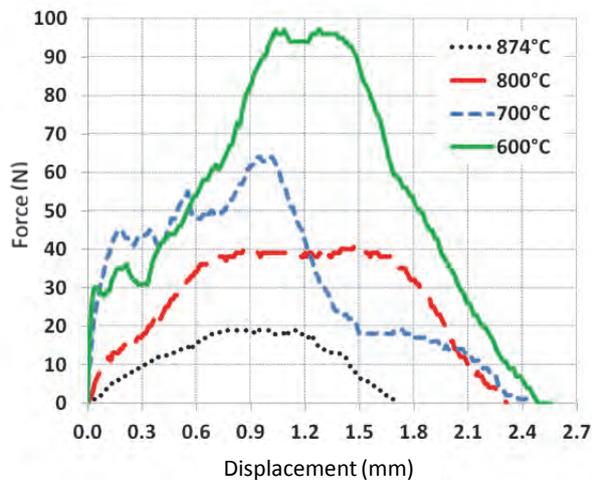


Fig. 5 Force vs. displacement for the samples with oxide scale layer in structural steel M47-FP (left), in silicon steel DC 01 (right)

Obr. 5 Závislosti síly na posunutí pro zokoujené vzorky z konstrukční oceli M47-FP (vlevo) a pro křemíkovou ocel DC 01 (vpravo)

Tab. 3 Calculated parameters of the Chaboche's material model equation for the base material of structural steel M47-FP

Tab. 3 Spočtené parametry Chabocheho modelu pro konstrukční ocel M47-FP

Temperature	Frictional Coefficient	Young's Modulus	Yield Stress σ_y	C_1	C_2	γ_1
(°C)	(-)	(MPa)				(-)
600	0.26	6 800	85.0	800.0	105.0	200.0
700	0.26	6 700	62.0	1 200.0	2.5	250.8
800	0.28	2 120	19.0	870.0	2.2	190.2

Tab. 4 Calculated parameters of the Chaboche's material model equation for the base material of silicon steel DC 01

Tab. 4 Spočtené parametry Chabocheho modelu pro křemíkovou ocel DC 01

Temperature	Frictional Coefficient	Young's Modulus	Yield Stress σ_y	C_1	C_2	γ_1
(°C)	(-)	(MPa)				(-)
600	0.28	15 500	75.0	3 670.0	116.0	148.0
700	0.32	13 500	25.7	1 640.0	76.5	155.7
800	0.33	12 850	24.4	1 255.0	38.3	1 477.8
880	0.34	12 200	23.1	870.0	0.1	2 800.0

Tab. 5 Calculated parameters of the Chaboche's material model equation for the specimen with oxide scale layer in structural steel M47-FP

Tab. 5 Spočtené parametry Chabocheho modelu pro zokujený vzorek z konstrukční oceli M47-FP

Temperature	Frictional Coefficient	Young's Modulus	Yield Stress σ_y	C_1	C_2	γ_1
(°C)	(-)	(MPa)				(-)
600	0.26	12 000	21.0	620.0	0.07	1 200.0
700	0.26	11 000	20.0	600.0	3.50	2 011.2
800	0.28	1 130	15.0	112.0	1.07	1 255.7
874	0.31	450	5.1	96.9	0.05	2 870.7

Tab. 6 Calculated parameters of the Chaboche's material model equation for the specimen with oxide scale layer in silicon steel DC 01

Tab. 6 Spočtené parametry Chabocheho modelu pro zokujený vzorek z křemíkové oceli DC 01

Temperature	Frictional Coefficient	Young's Modulus	Yield Stress σ_y	C_1	C_2	γ_1
(°C)	(-)	(MPa)				(-)
600	0.26	1 480	25.1	302.0	15.0	602.1
700	0.26	1 110	7.6	277.0	4.6	1 579.7
800	0.28	656	3.2	261.0	9.5	1 869.4
870	0.31	655	2.6	875.0	4.0	466.5

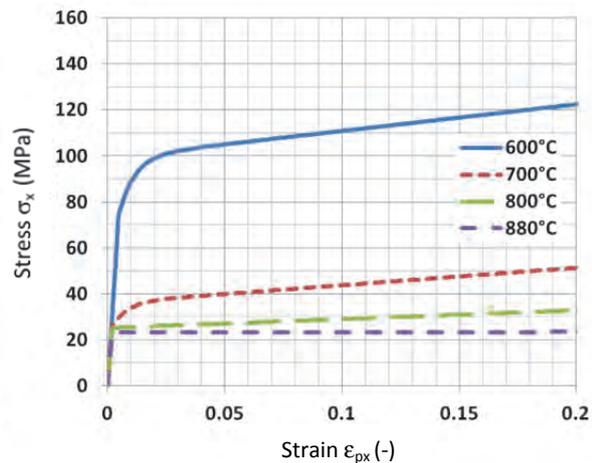
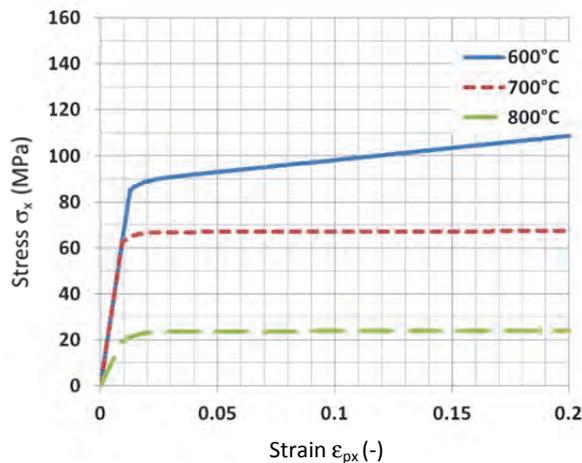


Fig. 6 Stress vs. strain determined for the samples without oxide scale layer in structural steel M47-FP (left), in silicon steel DC 01 (right)

Obr. 6 Závislost napětí na přetvoření stanovená na vzorku bez okují pro konstrukční ocel M47-FP (vlevo) a křemíkovou ocel DC 01 (vpravo)

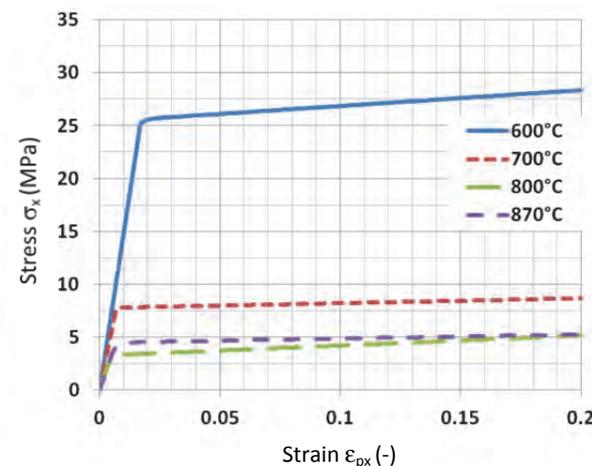
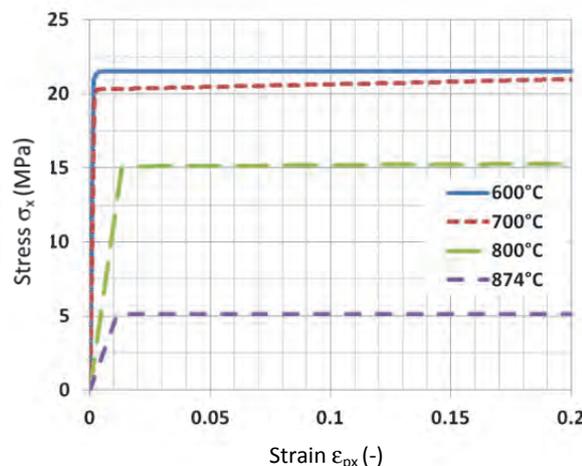


Fig. 7 Stress vs. strain determined for the samples with oxide scale layer in structural steel M47-FP (left), in silicon steel DC 01 (right)

Obr. 7 Závislost napětí na přetvoření stanovená na vzorku s vrstvou okují pro konstrukční ocel M47-FP (vlevo) a křemíkovou ocel DC 01 (vpravo)

5. Conclusions

Mechanical behavior of specimens with and without oxide scale layer was studied on two types of steel. The first type of specimens was made from structural steel, which is characterized by high oxide scale growth and its relatively low adherence of scale on the steel surface. The second type of specimens were prepared from silicon steel, it is characterized by slower oxide scale growth and its difficult descaling. Initial thickness of the samples was 500 μm , the final thickness of oxidized samples of silicon steel was 410 μm (covered both sides by 23 μm of oxides). The final thickness of oxidized carbon steel samples was 183 μm covered both sides by 115 μm scale layers. The presented results documents well sensitivity of the material parameters on the thickness, chemical composition and homogeneity of the oxide layer.

Small punch test at constant strain rate was chosen for analysis of mechanical behavior of the oxidized and clear samples. These tests were carried out on all types of specimens at elevated temperature (600 – 800 °C). Force-displacement curves at corresponding temperature were recorded.

The advantage which was presented in this paper is methodology of direct material parameters estimation through the Ansys Workbench without additional programs. In this case the fully-fledged Chaboche's material model was applied. The numerical model was used in loop mode to get friction coefficient and coefficients to equation describing stress – strain behavior of the samples.

The presented results allow comparing behavior of structure (carbon) and silicon steels under deformation and are rare by providing deformation data for steel samples covered by oxides. The results are unique because the material properties of the oxide scales are very hard to identify.

Acknowledgements

The research leading to these results has received funding from the Ministry of Education, Youth and Sports under the National Sustainability Programme I (Project LO1202).

Literature

- [1] KRZYŻANOWSKI, M., BEYNON, J.H. Modelling the boundary conditions for thermo-mechanical processing oxide scale behavior and composition effects. *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.*, (2000) 8, 927–945.
- [2] ECHSLER, H., ITO, S., SCHÜTZE, M. Mechanical properties of oxide scales on mild steel at 800 to 1000°C. *Oxidation of Metal.*, 60 (2003) 3, 241–269.
- [3] PICQUE, B., BOUCHARD, P.O., MONTMITONET, P., PICARD, M. Mechanical behavior of iron scale: experimental and numerical study. *Wear*, 260 (2006) 3, 231–242.
- [4] KOMAZAKI, S., TERADA, C., KUTSUZAWA, T., MORIYA, S. Influences of oxidation and hydrogencharging on mechanical properties of Cu-Cr-Zr alloy. *Nihon Kikai Gakkai ronbunshu Trans Japan Society of Mechanical Engineers*, 76 (2010) 768, 95–101.
- [5] HRABOVSKY, J., DOBES, F., HORSKY, J. Small punch tests at oxide scales surface of structural steel and low silicon steel. *Oxid Met.*, 82 (2014) 3-4, 297–310. DOI: 10.1007/s11085-014-9492-5.
- [6] ASTM Standard test methods for tension testing of metallic materials. *ASTM E8/E8M-09*. Vol. 03.01. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
- [7] ASTM Standard test methods for bend testing of metallic flat materials for spring applications involving static loading. *ASTM E855-08*. Vol. 03.01. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
- [8] BAIK, J.M., KAMEDA, J., BUCK, O. Small punch test evaluation of intergranular embrittlement of an alloy steel. *Scripta Metallurgica*, (1983) 17, 1443–1447.
- [9] ASTM Standard test methods for ball punch deformation of metallic sheet material. *ASTM E643-09*. Vol. 03.01. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
- [10] ASTM Standard test method for molecular weight polyethylene used in surgical implants. *ASTM F2183-02*. Vol. 03.01. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- [11] European Committee for Standardization, *CWA 15627 (E): Punch test method for metallic materials*. CEN Workshop Agreement. Brussels, 2007.
- [12] PENUELAS, I., BETEGON, C., RODRIGUEZ, C., BELZUNCE, J. Inverse Methods on Small Punch Tests. *Numerical Simulations - Applications, Examples and Theory*; Edited by Prof. Lutz Angermann, Intech Books, 2011, pp. 311–330. ISBN 978-953-307-440-5. Available online: www.intechopen.com/download/pdf/12706 [cit. 2016-31-1].
- [13] ASTER, R.C., BORCHERS, B., THURBER, C.H. *Parameter estimation and inverse problems*, 2nd ed.; Elsevier Academic Press: Waltham MA, 2012.
- [14] SZELIGA, D., GAWAD, J., PIETRZYK, M. Parameters identification of material models based on the inverse analysis. *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 14 (2004) 4, 549–556.
- [15] CHABOCHE, J.L. Constitutive equation for cyclic plasticity and cyclic viscoplasticity. *Int. J. of Plasticity*, (1989) 5, 247–302.
- [16] IMAOKA, S. *Chaboche nonlinear kinematic hardening model*. Memo Number: STI0805A, Ansys Release: 12.0.1, 2008 May 4. Available online: http://ansys.net/tips_sheldon/STI0805_Chaboche.pdf [cit. 2016-31-1].
- [17] KAMEDA, J., MAO, X. Small-punch and TEM-disc testing techniques and their application to characterization of radiation damage. *Journal of materials science*, (1992) 27, 983–989.
- [18] MA Y.W.; YOON K.B. Assessment of tensile strength using small punch test for transversely isotropic aluminium 2024 alloy produced by equal channel angular pressing. *Materials science and engineering*, (2010) A527, 3630–3638.
- [19] *European Steel and Alloy Grades*, DC 01 (1.033). Available online: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=199 [cit. 2016-31-1].
- [20] *AK Steel, Selection of electrical steels for magnetic cores*. Available online: www.aksteel.com/markets_products/electrical.aspx. [cit. 2016-31-1].
- [21] *Ansys. Ansys 14.0 help*. Ansys, Inc. Available online: <http://www.ansys.com/> [cit. 2016-31-1].

Vliv druhu pojiva na tvorbu odpadního plynu při termické úpravě briketovaných jemnozrnných metalurgických kalů

Effect of choice of binder on waste gas production during thermal treatment of briquetted metallurgical sludge

Ing. Klára Drobíková^{1,2}; Ing. Roman Gabor, Ph.D.³; Mgr. Oldřich Motyka, Ph.D.¹; doc. Ing. Daniela Plachá, Ph.D.¹; prof. Ing. Jana Seidlerová, CSc.¹

¹ VŠB – Technická Univerzita Ostrava, Centrum nanotechnologií, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika

² IT4Innovations Centre of Excellence, VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika

³ VÚHŽ a.s., Dobrá 240, 739 51 Dobrá, Česká republika

Možnost recyklace jemnozrnných metalurgických odpadů, jako jsou vysokopecní a konvertorové kaly, v místě jejich vzniku je spojena s nutností jejich úpravy do formy pelet nebo briket. Řešení tohoto problému je spojeno s výběrem pojiva, které je cenově dostupné, nevnáší do procesu recyklace nežádoucí příměsi a případně podporuje redukci oxidů železa obsažených v odpadech. V předložené práci byly pro briketaci jemného vysokopecního a konvertorového kalu použity jako pojiva škrob Unipret, škrob pro přípravu mastných jídel NATURA, kukuřičný škrob jemný NATURA, portlandský cement, bentonit a slévárenská struska. Mechanické vlastnosti (pádová zkouška, pevnost v tlaku) briket s obsahem 10, 15 a 30 hm. % uvedených pojiv byly hodnoceny po 7 a 28 dnech tuhnutí. Původní vzorky odpadů i brikety s technologicky vyhovujícími mechanickými vlastnostmi byly v laboratorních podmínkách podrobeny termické úpravě. V průběhu ohřevu i výdrže (20, 40, 70 a 100 min) při konečné teplotě (900, 1 000, 1 100 °C) bylo sledováno množství a složení vznikajícího odpadního plynu. Po ukončení procesu byly ve vzniklé tuhé fázi stanoveny formy železa. Na základě mechanických vlastností směsných briket bylo zjištěno, že pro použití v provozních podmínkách vyhovují pouze brikety připravené z VP kalu s obsahem 30 hm. % škrobu Unipret a z VP kalu s obsahem 10 hm. % portlandského cementu. Přítomnost pojiva ovlivňuje množství vznikajícího odpadního plynu, ale podíl kovového železa po termické úpravě byl výrazně ovlivněn pouze u brikety s obsahem 30 hm. % škrobu Unipret.

Klíčová slova: metalurgické kaly; recyklace; pojivo; briketace; termická úprava; odpadní plyn

Recycling of fine-grain metallurgical wastes such as blast furnace or converter sludges in the place of their origin is interconnected with the need of their modification to the form of briquettes or pellets. Solution to this problem is in the selection of the binder that is affordable, does not introduce to the recycling process unwanted impurities and, eventually, it aids the reduction of the iron oxides present in the waste. In this paper, starch Unipret, starch for the preparation of greasy food NATURA, fine corn starch NATURA, portland cement, bentonite and foundry slag were used for the briquetting of the fine-grain blast furnace and converter sludge. After 7 and 28 days of solidification, mechanical properties (drop test, resistance to the pressure) were assessed in the briquettes containing 10, 15 and 30 wt. % of the binders. Original waste samples and the technologically suitable briquettes (in terms of mechanical properties) were then subjected to thermal treatment under laboratory conditions. During the heating up to the final temperature (900, 1 000, 1 100 °C) and keeping the temperature stable for 20, 40, 70 and 100 min, amount and composition of the produced waste gas was assessed. After the process, iron species were determined in the resulting solid phase.

Key words: sludge, recycling, binder, briquette, thermal treatment, waste gas

Vysoké nároky na snížení emisí v posledních letech vedou ke zvýšení množství jemnozrnných metalurgických odpadů, vznikajících při suchém nebo mokřím čištění vysokopecního, resp. ocelárenského plynu. Vedle využitelného obsahu železa tyto odpady obsahují řadu nežádoucích polutantů (např. Cd, Pb, Zn aj.). Z důvodu obsahu těchto prvků se tyto odpady řadí dle katalogu odpadů do skupiny „N“ nebezpečný odpad pod

katalogovým číslem 10 02 07* - Pevné odpady z čištění plynů obsahující nebezpečné látky, 10 02 13* - Kaly a filtrační koláče z čištění plynů obsahující nebezpečné látky [1]. Využití těchto odpadů jako druhotné suroviny je omezeno z důvodu často vysokého obsahu nežádoucích polutantů a velikosti částic. Nejen pro recyklaci, ale také před uložením na skládky je nutné uvedené odpady upravit.

Jednou z vhodných metod pro snížení mobility polutantů a tedy snížení nebezpečných vlastností odpadů [2 – 5] je solidifikace / stabilizace (s / s). Jejím cílem je dosažení a udržení požadovaných fyzikálních vlastností a chemické stability včetně trvalého zadržení polutantů. Stabilizace a solidifikace může být dosaženo mechanickým procesem nebo chemickou reakcí mezi odpadním materiálem a pojivem. Volba pojiva (přísad) závisí na charakteru zpracovávaného druhu odpadu a lze použít i kombinaci jedné nebo několika přísad anorganického nebo organického charakteru. Během solidifikace dochází k zapouzdření polutantů z odpadu do pevného produktu a nemusí přitom docházet k interakci mezi odpadem a pojivem. Migrace polutantů je omezena zmenšením povrchu nebo potažením polutantu nepropustnými sloučeninami [3]. Stabilizace redukuje nebezpečné vlastnosti odpadu chemicky tím, že váže polutanty do stabilní nebo málo rozpustné formy. Fyzikální vlastnosti a manipulovatelnost odpadních materiálů nemusí být během stabilizace změněny. Speciálním způsobem solidifikace je vitifikace, která spočívá ve vytavení odpadu se sklotvornými materiály nebo odpadním sklem. Další metodou je bitumenace, kterou lze fixovat jak anorganické, tak organické odpady a provádí se za zvýšené teploty s použitím pojiv především na bázi živice [6].

Pro trvalé uložení odpadních materiálů se nejčastěji používají hydraulická pojiva (portlandské cementy, struskoportlandské a struskové cementy a speciální rychlovažné cementy), která po smíchání s vodou samovolně tuhnou a to na vzduchu i pod vodou. Nevýhodou je zvýšení původního objemu odpadu až na dvojnásobek. Dále pak nehydraulická pojiva (jemné bílé vápno a vápenný hydrát), která tuhnou pouze na vzduchu. V neposlední řadě jsou jako pojivo využívány tzv. pucolánové materiály [5, 7, 8]. Současně se však ve stále větší míře začínají rozšiřovat nové technologie, například s použitím emulzifikovaných asfaltů a rozpustných fosfátů nebo s použitím modifikovaného sirného cementu, silikátů a polymerů [9].

S/S postupy lze využít také při recyklaci jemnozrných metalurgických odpadů s následným využitím přímo v metalurgických agregátech. V průběhu recyklace procházejí brikety řadou operací, při kterých jsou vystaveny působení vnějších sil. Z uvedeného důvodu je hlavním požadavkem na vzniklé solidifikáty nejenom imobilizace polutantů, ale také jejich odolnost vůči mechanickému namáhání. Brikety by dále měly mít jednotnou velikost, tvar, hmotnost a složení. Pevnostní charakteristiky briket ovlivňuje tlak použitý při jejich výrobě (lisování), doba stlačení a v neposlední řadě velikost částic vstupního materiálu. K přípravě kvalitních briket je nezbytné použít vhodné pojivo, jehož volba je tedy velmi důležitá. Pro svou správnou funkci by pojivo mělo splňovat několik základních vlastností - zejména by nemělo obsahovat jakékoliv nežádoucí příměsi a mělo by být cenově dostupné. Mezi pojiva se řadí celá řada anorganických (vápno, cement, jíly, vodní sklo) i organických materiálů (ropné živice, dehet,

asfalt, plasty, smola, pryskyřice, škrob a melasa). Melasa a další konvenční pojiva nejsou pro briketaci jemnozrných metalurgických odpadů vhodná vzhledem k obsahu fosforu a síry [9]. Vhodným pojivem jsou také pryskyřice. Akrylové pryskyřice jsou termoplastické pryskyřice vyráběné polymerizací různých monomerů, jako jsou kyselina akrylová, kyselina methakrylová a estery těchto kyselin. V posledních letech se jako vhodné pojivo využívají také odpadní plasty [10 – 13].

Pojiva ovlivňují nejen mechanické vlastnosti připravených briket, ale – v průběhu metalurgického procesu – i samotnou redukci oxidů železa a rovněž mohou ovlivnit tvorbu plyných produktů. Předložená práce srovnává vliv vybraných druhů pojiv na složení pevné fáze po termické úpravě připravených briket a množství a složení plyné fáze vznikající v průběhu termické úpravy.

Experimentální část

Materiály a použité metody

Pro experimentální studium byly použity dva typy odpadních materiálů z metalurgického komplexu na Ostravsku, konvertorový (KKO) a vysokopecní kal (VP). Před provedením charakterizace materiálů byly vzorky vysušeny při teplotě 105 °C.

Pojiva použitá k vytvoření směsných briket byla vybrána na základě provedené literární rešerše a s ohledem na jejich složení a cenovou dostupnost – škrob s obchodním názvem Unipret (S1), škrob pro přípravu mastných jídel NATURA (S2), jemný kukuřičný škrob NATURA (S3), portlandský cement (S4), bentonit (S5) a slévárenská struska (S6).

Chemické složení bylo stanoveno pomocí energiově disperzního fluorescenčního spektrometru (EDXRF) SPECTRO XEPOS. Obsah celkového železa, Cd, Zn, Pb byl stanoven po úplném rozkladu vzorků ve směsi kyselin metodou AES-ICP (Ciros Vision, fy SPECTRO) a AAS-FA (UNICAM 969). Obsah kovového železa a FeO byl stanoven dle postupů uvedených v ČSN 72 2041-9 [14] a ČSN 72 2041-12 [15]. Fázové složení vzorků bylo stanoveno rentgenovou práškovou difrakční analýzou (XRD) BRUKER AXS. Morfologie odpadních materiálů byla sledována elektronovým skenovacím mikroskopem (REM) QUANTA 450 FEG ve VÚHŽ Dobruška. Odpadní plyn vznikající při termické úpravě byl analyzován plynovým chromatografem Agilent Technologies 6890N. Byly stanoveny koncentrace CO, CO₂, H₂, CH₄ a vyšších uhlovodíků (methan, ethan, ethyn, propan, propen, butan, buten, isobutan, isobuten, buta-1,3-dien).

Postup briketace

Byly připraveny směsi původního odpadního materiálu s 10, 15 a 30 hm. % vybraného pojiva. Ke zhomogeni-

zované směsi bylo přidáno potřebné množství vody (0 – 60 ml) a vzniklá směs byla opět důkladně promíchána. Poté byly připraveny briкеты válcovitého tvaru o průměru 53 mm a průměrné výšce 62 mm lisováním pod zatížením dvou tun. Briкеты tuhly za přístupu vzduchu při laboratorní teplotě po dobu 7, resp. 28 dní.

Charakterizace briket

U vytvořených briket byly sledovány jejich mechanické vlastnosti - index pádové zkoušky a pevnost v tlaku. Index pádové zkoušky ČSN ISO 616 [16] byl stanoven 2× vždy po 1, 2, 3, 5, 10 a 20 pádech. K provedení pádové zkoušky byly použity vždy dvě briкеты pro uvedený počet pádů.

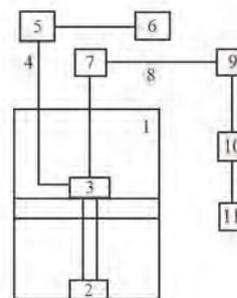
Stanovení pevnosti v tlaku bylo provedeno v souladu s normou ČSN ISO 4700 [17] bez vyhodnocení a vyjádření výsledků měření uvedené v této normě. Předmětem zkoušky je stanovení maximálního tlakového zatížení, která předchází zborcení briкеты. Briкета je vložena mezi dvě rovnoběžné desky a zatěžována při konstantní rychlosti. Zkouška je ukončena v okamžiku prudkého poklesu zátěžné síly, která indikuje vznik magistralní trhliny. Hodnoty pevnosti zkoušených briket větší než 2 000 N odpovídají požadavkům pro vsázkové suroviny vysoké pece.

Termická úprava

Použitá laboratorní jednotka pro termickou úpravu je tvořena pecí NABERTHERM s váhou (obr. 1). Laboratorní pec má konstantní rychlost ohřevu $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ na maximální teplotu 1 100 - 1 200 $^{\circ}\text{C}$. V zadní stěně pece je umístěn otvor pro přístup plynu a otvor pro odvod odpadního plynu, který vede přes chladič a jímku kondenzátu. Odpadní plyn postupuje dále do plynových hodin a následně do měřící jednotky (sběr dat).

Vzorky jsou do pece vkládány v retortě. Termické zpracování vzorků probíhalo s konstantní rychlostí ohřevu a různou dobou výdrže (20, 40, 70 a 100 min) na požadované teplotě (900, 1 000 a 1 100 $^{\circ}\text{C}$). Před ohřevem byla celá laboratorní aparatura propláchnuta dusíkem. V průběhu termické úpravy vzorků byl zaznamenáván pokles hmotnosti vzorku a množství vzniklého odpadního plynu. Vznikající odpadní plyn byl v průběhu

ohřevu i výdrže na požadované teplotě odebírán do Tedlarových vaků o objemu 1 l (Tedlar bag, 1 l, CHROMSERVIS) a analyzován do 24 hodin po odběru. Termické úpravy byly podrobeny původní vzorky VP a KKO a vybrané briкеты.



Obr. 1 Schéma laboratorní jednotky: 1 – Pec NABERTHERM, 2 – váha, 3 – retorta se vzorkem, 4 – přívod N_2 , 5 – regulační ventil, 6 – zdroj inertního plynu, 7 – chladič, 8 – odvod spalin, 9 – plynové hodiny, 10 – měřící jednotka, 11 – PC

Fig. 1 Schematic diagram of the apparatus: 1 – Nabertherm furnace, 2 – laboratory balance, 3 – retort with sample, 4 – inlet of N_2 , 5 – regulatory valve, 6 – cylinder, 7 – cooler, 8 – conducting of exhaust, 9 – gas meter, 10 – measurement unit and 11 – PC

Výsledky a diskuse

Z hlediska využitelnosti v metalurgickém procesu je odebraný vzorek KKO vhodnější, protože obsahuje více železa než vzorek VP. Kovové železo v KKO tvoří pouze 12,4 % celkového obsahu železa. Tento podíl je však cca 10 násobně vyšší ve srovnání s podílem Fe v kovové formě ve vzorku VP (tab. 1). KKO obsahuje železo převážně vázané ve druhém oxidačním stupni, na rozdíl od VP, kde je železo převážně vázané ve třetím oxidačním stupni. Oba vzorky však obsahují významné obsahy Zn a Pb (tab. 2) a liší se v obsahu uhlíku. VP obsahuje téměř 7× více uhlíku (22,3 hm. %) než KKO (3,27 hm. %). Obsah síry je u obou materiálů nižší než 0,30 hm. %.

Tab. 1 Obsah forem železa v VP a KKO

Tab. 1 Amount of iron species in blast furnace and converter sludge

Parametr	VP	KKO
	(hm. %)	
Fe celkové	39,7	55,8
FeO	4,94	55,2
Fe kovové	0,57	6,90

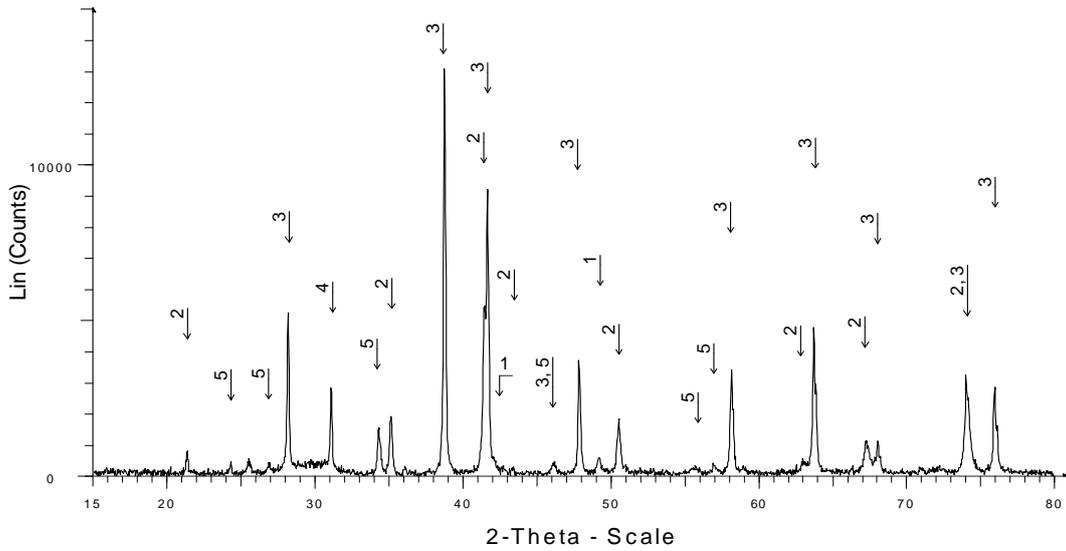
Tab. 2 Obsah vybraných polutantů ve VP a KKO

Tab. 2 Amount of selected pollutants in blast furnace and converter sludge

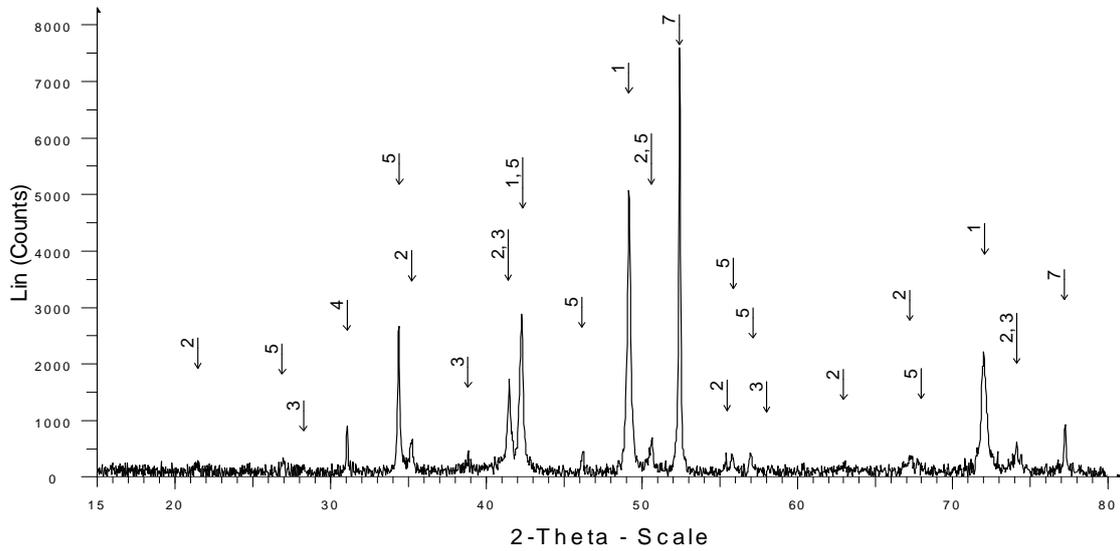
Parametr	As	Ba	Cd	Cl	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Sr	Pb	V	Zn
	(mg·kg ⁻¹)												
VP	< 38	120	< 20	420	187	< 1,5	< 1,1	14	41	109	1 300	25	2 300
KKO	< 0,40	56	< 20	563	919	106	< 1,30	150	400	46	2 000	42	11 000

Stanovené formy železa chemickou cestou byly potvrzeny rentgenovou difrakční analýzou, jak vyplývá z difrakčních záznamů uvedených na obr. 2 a 3. Základní složkou VP (obr. 2) je hematit, v menší míře je zastoupen magnetit a wüstit. VP dále obsahuje grafit

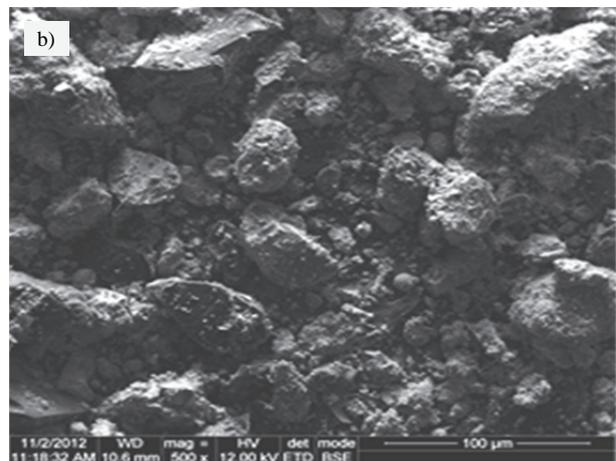
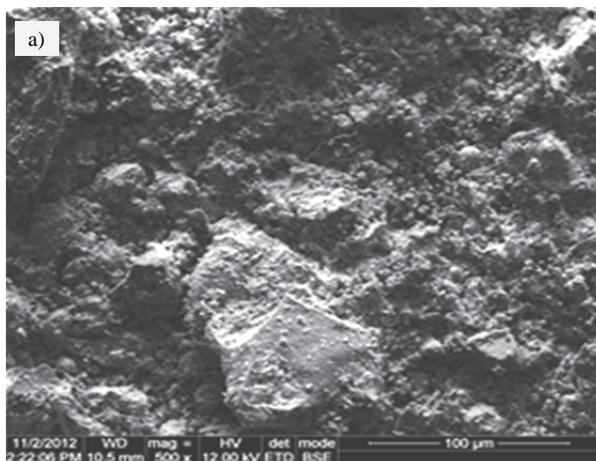
a kalcit. Vzorek KKO (obr. 3) obsahuje kovové železo, wüstit, magnetit, hematit, grafit a kalcit. REM snímky vzorků (obr. 4) dokazují vysokou míru agregace částic. Oba vzorky jsou tvořeny velikostně i tvarově různorodými částicemi.



Obr. 2 XRD záznam vzorku VP (1 - wüstit, 2 - magnetit, 3 - hematit, 4 - grafit, 5 - kalcit)
Fig. 2 XRD patterns of blast furnace sludge (1 - wüstite, 2 - magnetite, 3-hematite, 4 - graphite, and 5 - calcite)



Obr. 3 XRD záznam vzorku KKO (1 - wüstit, 2 - magnetit, 3 - hematit, 4 - grafit, 5 - kalcit, 7 - železo)
Fig. 3 XRD patterns of converter sludge (1 - wüstite, 2 - magnetite, 3 - hematite, 4 - graphite, 5 - calcite, 7 - iron)



Obr. 4 REM snímky: a) vysokopecního kalu b) konvertorového kalu
Fig. 4 REM images of a) blast furnace sludge and b) converter sludge

Mechanické vlastnosti připravených briket

Z podílových zastoupení jednotlivých frakcí pádových zkoušek směsných briket tvořených odpadním materiálem a použitými druhy škrobu vyplynulo, že brikety obsahující 15 hm. % těchto pojiv nemají požadovanou odolnost, s výjimkou briket tvořených KKO i VP se škrobem Unipret a dobou tuhnutí 7 dní. Zvýšením množství škrobu Unipret na 30 hm. % dochází ke zvýšené odolnosti brikety vůči pádu pouze u VP. Briketa neztrácí soudržnost ani po dvacátém pádu a zachovává si svůj tvar z 99,1 %. V případě brikety tvořené KKO a 30 hm. % škrobu Unipret dochází k postupnému rozpadu a po dvacátém pádu se briketa z 65 % rozpadá. Z pádových zkoušek vyplývá, že směsné brikety tvořené 15 hm. % pojiva S5 a S6 nemají požadovanou odolnost a rozpadají se během prvních třech pádů bez ohledu na dobu tuhnutí a odpadní materiál, ze kterého jsou tvořeny. Brikety připravené z obou odpadů a pojivem S4 si zachovaly svůj tvar i po dvaceti pádech nezávisle na obsahu pojiva a době tuhnutí z více než 50 % [18].

Naměřené maximální tlakové síly (F_{\max} (N)), které předcházejí zborcení brikety, nejsou normovány. Lze je však porovnat s hodnotou pevnosti pelet požadovanou u vsázkových surovin do vysoké pece ($F_{\max} \geq 2\,000$ N) [16]. Uvedený limit splňovaly směsné brikety připravené ze vzorku KKO se škrobem Unipret, bentonitem, slévárenskou struskou a portlandským cementem. Tento limit dále splňovaly směsné brikety připravené z VP se škrobem Unipret, slévárenskou struskou a portlandským cementem [18]. V provozu by mohly být použity pouze brikety připravené z VP se 30 hm. % škrobu Unipret a z VP s 10 hm. % portlandského cementu, protože mají požadovanou odolnost stanovenou pádovými zkouškami a pevnosti v tlaku.

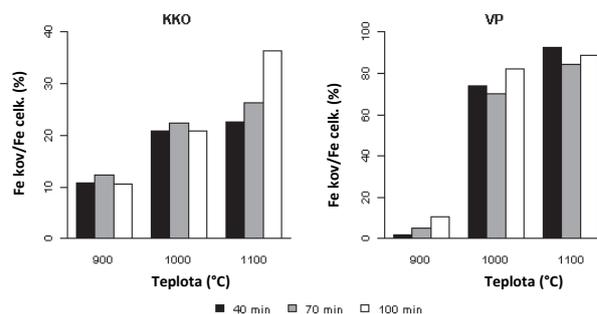
Vliv teploty termické úpravy na složení tuhé fáze

Během termické úpravy původních vzorků VP a KKO kalů dochází k postupné redukci oxidů železa obsažených v těchto odpadních materiálech a roste podíl železa v kovové formě (obr. 5). Podíl kovového železa roste s rostoucí teplotou výrazněji při termické úpravě VP. Doba výdrže na konečné teplotě vzniklý podíl kovového železa výrazně ovlivnila pouze u KKO a konečné teplotě 1 100 °C.

Z porovnání podílu kovového železa v tuhé fázi po termické úpravě briket (výdrž při 900, 1000, 1100 °C po dobu 40 minut), tvořených VP s 30 hm. % škrobu Unipret vyplývá, že jeho podíl roste s rostoucí teplotou v důsledku postupné redukce oxidů železa obsažených v původních materiálech (obr. 6). Přítomnost uvedeného množství pojiva ovlivnilo podíl kovového železa jen při nejnižší teplotě výdrže, tj. 900 °C [19]. Při této teplotě pravděpodobně redukce oxidů železa byla ovlivněna i uhlíkem vzniklým z pojiva.

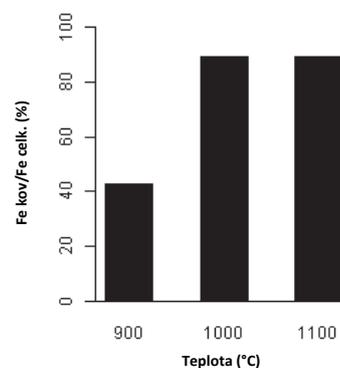
Naopak po tepelné úpravě brikety tvořené VP a 10 hm. % portlandského cementu po 20 minutové

výdrži na teplotě 900 °C došlo k nevýraznému nárůstu obsahu kovového železa (cca na 1 hm. %) ve srovnání se vzorkem po tepelné úpravě samotného VP.



Obr. 5 Závislost podílu kovového k celkovému obsahu železa v pevné fázi po termické úpravě VP a KKO při různých teplotách a dobách výdrže (40, 70 a 100 min)

Fig. 5 Dependence of the metal iron/total iron ratio in solid phase after the thermal treatment of the blast furnace sludge and the converter sludge under varying temperature and retention time (40, 70 and 100 min)



Obr. 6 Závislost podílu kovového k celkovému obsahu železa v pevné fázi po termické úpravě briket tvořených VP s 30 % škrobu Unipret při různých teplotách a době výdrže 40 min

Fig. 6 Dependence of the metal iron/total iron ratio in solid phase after the thermal treatment of the briquettes consisting of blast furnace sludge and 30 % Unipret starch under varying temperature and retention time 40 min

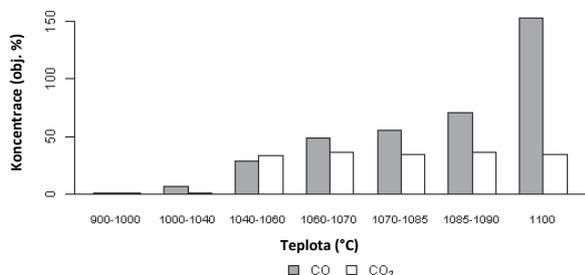
Vliv termické úpravy na množství a složení odpadního plynu

Během termické úpravy původních vzorků VP a KKO v rozmezí teplot 900 – 1 100 °C vzniklo rozdílné množství odpadního plynu. U obou vzorků ohřevem na vyšší teplotu než 1 100 °C již odpadní plyn nevznikal. Ze vzorku KKO (vlhkost 11,1 %) vzniklo v průměru méně odpadního plynu (4 dm³/100 g) než z VP (vlhkost 9,6 %, 14,7 dm³/100 g). S ohledem na celkové množství vniklého plynu bylo možné analyzovat pouze plyn vznikající během termické úpravy VP, který obsahuje oxid uhelnatý a uhlíčitý (obr. 7). V souladu s Boudouardovou reakcí koncentrace CO₂ v odpadním plynu s rostoucí teplotou klesala. Ke zvýšení koncentrace CO a naopak snížení koncentrace CH₄ (obr. 8) přispěly také endotermické chemické reakce:



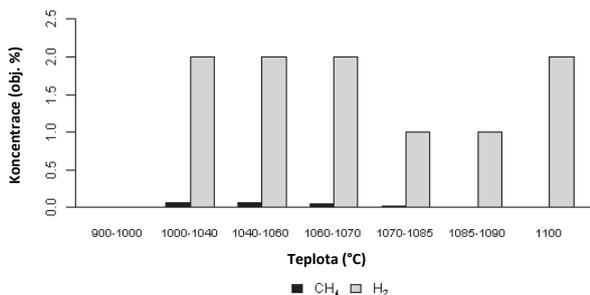


Koncentrace dalších sledovaných uhlovodíků (obr. 9) narůstá v intervalu 900 °C až 1 060 °C a poté pozvolna klesá. Největší množství vyšších uhlovodíků vzniká v rozmezí teplot 1 044 – 1 060 °C. Při maximální sledované teplotě (1 100 °C) již nevznikají.



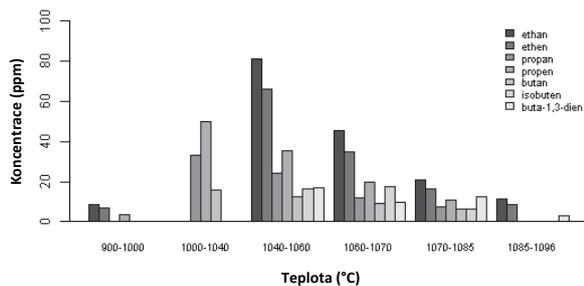
Obr. 7 Koncentrace CO a CO₂ v odpadním plynu vznikajícím během teplotní úpravy VP v závislosti na teplotě

Fig. 7 CO and CO₂ concentration in the waste gas resulting from the thermal treatment of the blast furnace sludge in dependence on the temperature



Obr. 8 Koncentrace CH₄ a H₂ v odpadním plynu vznikajícím během teplotní úpravy VP v závislosti na teplotě

Fig. 8 CH₄ and H₂ concentration in the waste gas resulting from the thermal treatment of the blast furnace sludge in dependence on the temperature



Obr. 9 Koncentrace vyšších uhlovodíků v odpadním plynu vznikajícím během teplotní úpravy VP v závislosti na teplotě

Fig. 9 Hydrocarbon concentration in the waste gas resulting from the thermal treatment of the blast furnace sludge in dependence on the temperature

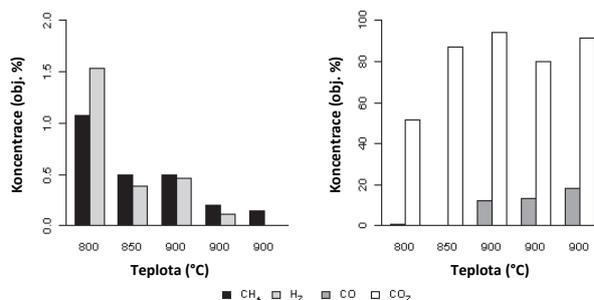
Přítomnost 30 hm. % škrobu Unipret v připravené briketě z VP zvýšilo množství vznikajícího odpadního plynu (vznikalo průměrně 20 dm³/100 g brikety). Odpadní plyn v průběhu ohřevu a 40 minutové výdržky na požadované teplotě obsahoval především CO, CO₂, CH₄ a H₂. Koncentrace CO₂, CH₄ a H₂ a uhlovodíků přitom s rostoucí teplotou klesala, zatímco koncentrace CO naopak rostla. Největší množství metanu a vodíku

vznikalo při 800 °C (při termické úpravě brikety s konečnou teplotou 900 a 1 000 °C) v souladu s exotermickými reakcemi:



Odpadní plyn obsahoval všechny stanovované vyšší uhlovodíky pouze v koncentracích na úrovni mg·dm⁻³ [18].

Přítomnost portlandského cementu (10 hm. %) ve směsi s VP rovněž zvýšila množství vzniklého odpadního plynu (průměrně 17 dm³/100 g brikety) již při 20 minutové výdržky na teplotě 900 °C. Koncentrace CO, CO₂, CH₄ a H₂ se s rostoucí teplotou mění stejně jako u předcházejících vzorků (obr. 10). Největší množství CH₄ a H₂ opět vznikalo při nejnižší sledované teplotě, 800 °C. Koncentrace zbývajících sledovaných uhlovodíků se pohybovala pouze v jednotkách mg·dm⁻³.



Obr. 10 Koncentrace CH₄, H₂, CO a CO₂ v odpadním plynu během teplotního zpracování brikety VP s obsahem 10 hm. % portlandského cementu v závislosti na teplotě – doba výdržky 20 min při teplotě 900 °C

Fig. 10 CH₄, H₂, CO and CO₂ concentration in the waste gas during the thermal treatment of the quettes consisting of blast furnace sludge with 10 wt. % of portland cement in dependence on the temperature – retention time 20 min at 900 °C

Závěr

Z jemnozrnných odpadních materiálů (vysokopecní kal a konvertorový kal) byly připraveny brikety s různým obsahem pojiv (škrob Unipret, škrob pro přípravu mastných jídel NATURA, kukuřičný škrob jemný NATURA, portlandský cement, bentonit a slévárenská struska). Po jejich utužení byly určeny jejich mechanické vlastnosti (pádová zkouška, pevnost v tlaku). Původní odpadní materiály a vybrané brikety byly podrobeny termické úpravě, během které bylo sledováno množství i složení vznikajícího odpadního plynu. V pevném zbytku byly stanoveny formy železa.

Na základě mechanických vlastností směsných briket bylo zjištěno, že pro použití v provozních podmínkách vyhovují pouze brikety připravené z VP kalu s obsahem 30 hm. % škrobu Unipret a z VP kalu s obsahem 10 hm. % portlandského cementu. Z provedených experimentů termické úpravy původních vzorků a briket

vyhovujících provozním podmínkám vyplývá, že přítomnost pojiva ovlivňuje množství vznikajícího odpadního plynu. V souladu s reakcemi mezi přítomnou vlhkostí a uhlíkem byla nejvyšší koncentrace CH_4 v plynu při nejnižší teplotě ($800\text{ }^\circ\text{C}$) a naopak nejvyšší koncentrace CO při nejvyšší teplotě úpravy ($1\ 100\text{ }^\circ\text{C}$). Koncentrace vyšších uhlovodíků (methan, ethan, ethen, ethyn, propan, propen, butan, buten, isobutan, isobuten, buta-1,3-dien) nepřesáhla $100\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Zároveň s rostoucí teplotou procesu jejich koncentrace klesala. Zvolená pojiva neovlivnila množství vznikajících vyšších uhlovodíků. Přítomnost pojiva u VP (30 hm. % škrobu Unipret) ovlivnila podíl Fe v kovové formě ve srovnání s jeho podílem po termické úpravě původního vzorku jen u nejnižší teploty výdrže, tj. $900\text{ }^\circ\text{C}$. Přítomnost 10 hm. % portlandského cementu v briketě připravené z VP ovlivnila podíl kovového železa nevýrazně ve srovnání s briketou s obsahem 30 hm. % škrobu Unipret.

Poděkování

*Tento příspěvek je vypracován za podpory MŠMT
(SP2016/57)*

Literatura

- [1] Vyhlaška č. 381/2001 Sb. Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů).
- [2] VALLS, S., VÁZQUEZ, E. Stabilisation and solidification of sewage sludges with Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 30 (2000) 10, 1671–1678.
- [3] GILLIAM, T. M., WILES, C. C. Stabilization and Solidification of Hazardous, Radioactive, and Mixed Wastes. *ASTM International* 1992. ISBN 0 8031 1443-5.
- [4] CHEN, Q. Y., TYRER, M., HILLS, C. D., YANG, X. M., CAREY, P. Immobilization of heavy metal in cement-based solidification/stabilization: A review. *Waste Management*, 29 (2009) 1, 390–403.
- [5] KURAŠ, M. Pojiva pro solidifikaci odpadů. *Odpadové fórum*, 1 (2012), 22-23. [in czech]
- [6] KAFKA, Z., VOŠICKÝ, J. Chemická stabilizace nebezpečných složek v průmyslových odpadech. *Chemické listy*, 92 (1998), 789–793. [in czech]
- [7] BATCHELOR, B. Overview of waste stabilization with cement. *Waste Management*, 26 (2006) 7, 689-698.
- [8] DERIE, R. A new way to stabilize fly ash from municipal incineration. *Waste Management*, 16 (1996) 8, 711–716.
- [9] KAFKA, Z. *Základy ochrany životního prostředí – část odpady*. Studijní materiály Vysoká škola chemicko-techno-logická v Praze [online][cit.8.3.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/ZOZP/skriptaZOP.doc>
- [10] MANEESH, S. Doctoral Thesis, *Study on the Cement-Bonded Briquettes of Iron and Steel Plant By-products as Burden Material for Blast Furnaces*. Lulea Univeristy of Technology, Sweden (2003).
- [11] EL-HUSSINY, N. A., SHALABI, M. E. H. A self-reduced intermediate product from iron and steel plants waste materials using a briquetting proces. *Powder Technology*. 2011, 205, p. 217–223.
- [12] SINGH, V., TATHAVADKER, V. Development of Agglomeration Process to Utilize the Ferromanganese Fines in Steel Making Process. *ISIJ International*. (2011) 51, 59–62.
- [13] HONZA, O., KRET, J. *Výroba aglomerátu s vysokým obsahem železa*. Ostrava: VŠB-TUO, 2007, 70 s., ISBN 978-80-248-1281-6.
- [14] ČSN 72 2041-10: Chemický rozbor ocelářské strusky - Část 10: Stanovení celkového železa. Praha: Český normalizační institut, 1992.
- [15] ČSN 72 2041-9: Chemický rozbor ocelářské strusky-Část 9: Stanovení kovového železa. Praha: Český normalizační institut, 1992.
- [16] ČSN ISO 616: Koks- Stanovení indexů pádové zkoušky. Praha: český normalizační institut, 2001.
- [17] ČSN ISO 4700 (441570) Železnorudné pelety. Stanovení pevnosti v tlaku. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [18] DROBÍKOVÁ, K., GABOR, R. Recycling the waste materials from steel plants using a briquetting process. *Result and Solutions of young R & S for Innovations and Progress*. 12-13th September, 2013, Horní Lomná, s. 21–25.
- [19] DROBÍKOVÁ, K., PLACHÁ, D., MOTYKA, O., GABOR, R., MAMULOVÁ KUTLÁKOVÁ, K., VALLOVÁ, S., SEIDLEROVÁ, J. Recycling of blast furnace sludge by briquetting with starch binder: waste gas from thermal treatment utilizable as a fuel, *Waste management*, 48 (2016), 471–477.

Průmysl – Britové v čínské ocelové bouři

DiePresse.com

22.02.2016

Po hornících jde nyní o krk také britskému ocelářskému průmyslu. Z původních zhruba 350 000 pracovních míst v ocelářství jich nyní zbylo 35 000. Toto kdysi tak pyšné odvětví je dnes ve Velké Británii v akutním nebezpečí. Poté, co loni bylo z 30 000 pracovních míst škrtáno 6 000, pokračují Jobovy zprávy bez přerušení dál. Nejprve ohlásil ztrátu 1 050 pracovních míst Tata Steel, největší výrobce oceli v zemi, a pak následoval poslední nezávislý výrobce oceli v britských rukou, Sheffield Forgemaster, který zruší 100 pracovních míst. Otázka dnes již nestojí tak, co může být z ocelářského průmyslu v Británii zachráněno, ale zda se ještě jako takový vůbec udrží. Není to první ocelářská krize, ale mohla by být poslední. Ještě v roce 1967 zaměstnával ocelářský průmysl v Británii 350 000 lidí, z toho asi 200 000 u státního podniku British Steel. Ten se zřítíl při prvním ropném šoku v roce 1973. Dnes ničí oceláře silná libra, dvojnásobné ceny energie než ve Francii a v Německu, pěti- až sedminásobné daňové zatížení, především ale konkurence z Číny. Uzavírání velkých oceláren vede k pustnutí celých regionů, například okolí Port Talbot ve Walesu, kde Tata Steel škrtá 950 pracovních míst. Bez ocelárny se staneme „městem duchů“ říkají tamní obyvatelé.

Optimisation of vehicle fleet capacity as determined through a simulation using the Monte Carlo algorithm

Optimalizace vozového parku založená na algoritmu Monte Carlo

Ing. Martin Lampa, Ph.D.; Ing. Andrea Samolejová, Ph.D.

VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic

S rozvojem výpočetní techniky a softwarových produktů dochází ke stále většímu uplatnění aritmetických (numerických) metod v manažerském rozhodování i v průmyslových podnicích. Rozhodování je jednou z nejvýznamnějších manažerských aktivit, které manažeři každodenně využívají při výkonu své funkce. Význam pojmu manažerské rozhodování se nejvíce projevuje v tom, že kvalita a výsledky rozhodovacích procesů ovlivňují efektivnost, fungování a prosperitu průmyslových podniků. Informace hrají v rozhodovacích procesech klíčovou úlohu. Rozhodovací procesy se obvykle chápou jako procesy shromažďování a transformace vstupních dat do výstupních informací. Zásadní úlohu v procesech získávání dat, shromažďování dat a jejich přeměny v informace hraje manažer, jehož znalosti, zkušenosti a intuice jsou nebytné pro správné rozhodování. Obvykle časový tlak a omezenost jednotlivých zdrojů zabraňují pečlivému hledání všech dat, na jejichž základě manažer získá kvalitní informace pro rozhodování. Nekvalitní informace a tím i nekvalitní rozhodování mohou být jeden z důvodů podnikatelského neúspěchu. Jeden z velmi dobře uplatnitelných simulačních algoritmů řešení na počítači je metoda Monte Carlo. Aplikace algoritmu Monte Carlo spočívá v nalezení souvislosti mezi jednotlivými veličinami, které jsou řešením zkoumaného problému a charakteristikami náhodných procesů reprodukovatelných na počítačích. Cílem článku je ukázat použití simulačního algoritmu Monte Carlo na příkladu optimalizace vozového parku tak, aby celkové denní náklady na přepravu zboží vozidly byly minimální.

Klíčová slova: vědecké řízení; optimalizace; simulace; algoritmus Monte Carlo

With the development of computers and software products, there is now greater use of quantitative methods in industrial enterprises when making managerial decisions. One of the most applicable solutions to computer simulation algorithms is the Monte Carlo method. The application of the Monte Carlo algorithm lies in finding a relation between the individual variables, which are the solutions to the problem and represent the characteristics of random processes reproducible on computers. The aim of this article is to show the application of simulations from the Monte Carlo algorithm using the example of optimising vehicle fleet capacity so that the total daily costs spent on transporting goods are minimal.

Key words: management science; optimisation; simulation; Monte Carlo algorithm

Over the last two decades, there have been great advances in computer technology and these advances have also affected managerial decision-making [1]. Mathematical methods with the use of computer technologies have been increasingly used in most problems of managerial decision-making [6]. One of the most applicable methods of computer implementation is the Monte Carlo method [3]. A static, stochastic method uses random (pseudo-random) numbers in the course of the calculation [2]. In this article, its use will be shown while optimising vehicle fleet capacity so that the daily costs spent on transporting goods are minimal.

1. The task

A company provides the transportation of goods based on customer orders according to the following rule:

Tab. 1 Day of ordering and the subsequent transport of the goods
Tab. 1 Den objednání a následné přepravy zboží

Ordered on	Transported on
Monday	Tuesday
Tuesday	Wednesday
Wednesday	Thursday
Thursday	Friday
Friday	Monday

Orders are not received on Saturdays or Sundays and there is no transportation on these days. Transportation is carried out by using trucks. The daily cost of operating one truck is 600 € – provided the trucks operate 8 hours each day.

If an order requires overtime operation, i.e. an operation that exceeds the set 8-hour operational time, the costs for each overtime hour are 250 €.

Through statistical investigation for the assumption of a normal distribution of probability, the following data were determined:

- Data on the transport capacity of cars – on average, during an 8-hour running time, 1 car transports 80 orders with a standard deviation of 15 orders,
- Data on customer demand.

Tab. 2 Individual customer demands per respective days

Tab. 2 Nároky jednotlivých zákazníků na dané dny

Days	The average number of orders x	Standard deviation σ
Monday	7 800	800
Tuesday	6 400	700
Wednesday	5 500	600
Thursday	7 000	750
Friday	5 000	500

The business unit has to set an optimal vehicle fleet capacity so that the total daily costs spent on transportation are minimal.

2. Analysis of the solution

From the substantive point of view, this is a task that belongs to the methodology of the queuing theory [4]. It is a simple task to determine the optimal dimension (size, capacity) of the operating system:

- Operating system = vehicle fleet that provides transportation services,
- Two main variables are assumed (variables crucial to solution of the task)
 - operation intensity = transport capacity of the vehicle,
 - the intensity of the requirements entering the operating system = the number of orders.
- Number of the contracts has the character of random variables with a normal distribution of probability.

Two extreme situations (two extreme variations in the capacity of the operating system) that lead to relatively high costs of the activity may occur in terms of optimisation:

- A heavily oversized operating system (too many vehicles):
 - high costs of the vehicle fleet,
 - costs of overtime work converge to zero; the requests do not queue.
- A heavily undersized operating system (the number of vehicles is too small):
 - low costs of the vehicle fleet,
 - high costs for overtime work; formation of request queues (possible loss of profit due to queues).

Between the extreme variants, there is a number of possible variants of dimensioning the vehicle fleet that are associated with the different daily costs of transportation [5]. Of the possible variants, it is necessary to choose the optimal variant - the one with the lowest daily costs for transportation.

The following applies for the i -th variation of the operating system dimension:

$$N = N_V + N_M$$

N – daily costs for transportation

N_V – daily costs for operating the vehicle fleet

N_M – daily overtime cost

3. The procedure of solving the task using a simulation of the Monte Carlo algorithm

For the assumption of normal probability distribution of both of the main variables:

1. The simulations (predictions) of the number of orders are performed according to the intensity of the requirements entering the operation. The simulation itself is in Tab. 3.

Tab. 3 Simulation of the number of orders

Tab. 3 Simulace počtu zakázek

Day	Simulated value of the distribution function ^{*)}	Determinant variable t	Prediction ^{**)} of the number of contracts $x = \bar{x} + t \cdot \sigma$
Mon	0.88147	1.1	8 680
Tue	0.9970	2.7	8 290
Wed	0.11941	-1.1	4 840
Thu	0.78817	0.8	7 600
Fri	0.17061	-0.9	4 550

^{*)} from the table of random numbers, we assume five-digit values for the distribution function of the normal probability distribution.

^{**)} Prediction of the number of orders:

$$x = \bar{x} + t \cdot \sigma$$

For Monday: $x = 7\,800 + 1.1 \times 800$ **$x = 8\,680$**

For Tuesday: $x = 6\,400 + 2.7 \times 700$ **$x = 8\,290$**

For Wednesday: $x = 5\,500 - 1.1 \times 600$ **$x = 4\,840$**

For Thursday: $x = 7\,000 + 0.8 \times 750$ **$x = 7\,600$**

For Friday: $x = 5\,000 - 0.9 \times 500$ **$x = 4\,550$**

\bar{x} – the average number of orders

σ – determinant deviation

2. A simulation of the operational intensity of the 8-hour transportation capacity for the chosen number of vehicles is carried out: 70, 80, ..., 110

n – the number of vehicles

\bar{x} – mean value of operational intensity

\bar{x}' – the average transport capacity of the fleet

Determining the number of vehicles for the highest number of orders:

The highest number of orders = 7 800

Determinant deviation = 800

One vehicle transports an average of 80 orders per hour

The total number of vehicles for the highest number of orders = $(7\,800 + 800)/80 = 110$

Determination of the number of vehicles for the lowest number of orders:

The lowest number of orders = 5 000

Determinant deviation = 500

One vehicle transports 80 orders per hour

The total number of vehicles for the lowest number of orders = $(5\,000 + 500)/80 = 70$

In the following step (Tab. 4), a simulation of the operational intensity is performed.

Tab. 4 Simulation of operational intensity

Tab. 4 Simulace intenzity obsluhy

The Number of vehicles n	Day	The simulated value of the distribution function of normal distribution	Determinant variable t	$\bar{x}' = n \cdot \bar{x}$	$\sigma' = \sqrt{n} \cdot \sigma$	Prediction of 8-hour transport capacity $\bar{x}' = x + t \cdot \sigma'$
70	Mon	0.33166	-0.4	5 600	126	5 550
	Tue	0.87094	1.1	5 600	126	5 739
	Wed	0.11120	-1.2	5 600	126	5 449
	Thu	0.22254	-0.7	5 600	126	5 512
	Fri	0.96023	1.7	5 600	126	5 814
80	Mon	0.76869	0.7	6 400	134	6 494
	Tue	0.39300	-0.2	6 400	134	6 373
	Wed	0.02982	-1.8	6 400	134	6 159
	Thu	0.57991	0.2	6 400	134	6 427
	Fri	0.94479	1.6	6 400	134	6 614
90	Mon	0.96023	1.7	7 200	142	7 441
	Tue	0.88936	1.2	7 200	142	7 370
	Wed	0.88936	-0.5	7 200	142	7 129
	Thu	0.55013	0.1	7 200	142	7 214
	Fri	0.10920	-1.2	7 200	142	7 030
100	Mon	0.26299	-0.6	8 000	150	7 910
	Tue	0.77806	0.7	8 000	150	8 105
	Wed	0.12446	-1.1	8 000	150	7 835
	Thu	0.23510	-0.7	8 000	150	7 895
	Fri	0.68774	0.4	8 000	150	8 060
110	Mon	0.48454	0	8 800	157	8 800
	Tue	0.65269	0.4	8 800	157	8 863
	Wed	0.18167	-0.9	8 800	157	8 659
	Thu	0.84631	1.0	8 800	157	8 957
	Fri	0.74108	0.6	8 800	157	8 894

Calculation example for $n = 70$

$$\bar{x}' = 70 \times 80 = 5\,600$$

$$\sigma' = \sqrt{70} \cdot 15 = 126$$

- The expected overtime is simulated (from the simulation of the number of orders and the eight-hour capacity of the fleet) in Tab. 5.

Tab. 5 Simulation of expected overtime operation
Tab. 5 Simulace očekávaného přesčasového provozu

n	Day	Simulation		Prediction of expected overtime operation			
		The number of orders	8-hour capacity of the vehicle fleet	The number of pending orders	The number of overtime hours	The total number of overtime hours	The average number of daily overtime hours
70	Mon	7 800	5 550	2 250	225	445	89
	Tue	6 400	5 739	661	66		
	Wed	5 500	5 449	51	5		
	Thu	7 000	5 512	1 488	149		
	Fri	5 000	5 814	0	0		
80	Mon	7 800	6 494	1 306	131	191	38.2
	Tue	6 400	6 373	27	3		
	Wed	5 500	6 159	0	0		
	Thu	7 000	6 427	573	57		
	Fri	5 000	6 614	0	0		
90	Mon	7 800	7 441	359	36	36	7.2
	Tue	6 400	7 370	0	0		
	Wed	5 500	7 129	0	0		
	Thu	7 000	7 214	0	0		
	Fri	5 000	7 030	0	0		
100	Mon	7 800	7 910	0	0	0	0
	Tue	6 400	8 105	0	0		
	Wed	5 500	7 835	0	0		
	Thu	7 000	7 895	0	0		
	Fri	5 000	8 060	0	0		
110	Mon	7 800	8 800	0	0	0	0
	Tue	6 400	8 863	0	0		
	Wed	5 500	8 659	0	0		
	Thu	7 000	8 957	0	0		
	Fri	5 000	8 893	0	0		

4. The result of the task - recommended by the simulation calculations

A calculation of the total daily costs for transportation with the individual numbers of vehicles is shown below:

$$N = N_V + N_M$$

$$N_{70} = 70 \times 600 + 89 \times 250 = 64\,250 \text{ €}$$

$$N_{80} = 80 \times 600 + 38.2 \times 250 = \mathbf{57\,550 \text{ €}}$$

$$N_{90} = 90 \times 600 + 7.2 \times 250 = \mathbf{58\,500 \text{ €}}$$

$$N_{100} = 100 \times 600 + 0 \times 250 = 60\,000 \text{ €}$$

$$N_{110} = 110 \times 600 + 0 \times 250 = 66\,000 \text{ €}$$

Under the given conditions, the total daily transport costs will be minimised when operating 80 vehicles or 80 to 90 vehicles.

Conclusions

As seen from the article, in this case, the use of the Monte Carlo algorithm is very appropriate when dealing with the problem of optimal vehicle fleet capacity. It was found that the overall lowest daily transport costs are 57 500 € when using 80 trucks. In this case, MS Excel was used to generate pseudorandom numbers. Computers play an indispensable role at the application of simulations and not using them in today's field of quantitative methods of managerial decision-making is unimaginable.

Acknowledgements

The work was supported by the specific university research of Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic No. SP2015/90.

Literature

- [1] TVRDOŇ, L.; LENORT, R. Industrial Control System Make to Stock Decision Making in Metallurgical Companies. In *METAL 2011: 20th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials*, Ostrava: TANGER, 2011, pp. 1223–1228. ISBN 978-80-87294-24-6.
- [2] BESTA, P.; SAMOLEJOVÁ, A.; LENORT, R.; ZAPLETAL, F. Innovative Application of Mathematical Methods in Evaluation of Ore Raw Materials for Production of Iron. *METALURGIJA*, 53 (2014) 1, 93–96.
- [3] GROS, I.; DYNTAR, J. *Matematické modely pro manažerské rozhodování*. 2. uprav. a rozšíř. vyd. Praha: VŠCHT, 2015. 303 s.
- [4] JANOVSÁ, K.; VOZŇAKOVÁ, I.; ŠVAJDOVÁ, L. The Verification of Applicability of Economical-Mathematics Methods of Structural Analysis as a Tool for Optimising Economic Proceedings of Metallurgical Enterprise. In *METAL 2010: 19th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials*. Ostrava: TANGER, 2010, pp. 121–124. ISBN 978-80-87294-17-8.
- [5] WICHER, P.; STAŠ, D.; KARKULA, M.; LENORT, R.; BESTA, P. A Computer Simulation-Based Analysis of Supply Chains Resilience in Industrial Environment. *METALURGIJA*, 54 (2015) 4, 703–706.
- [6] SAMOLEJOVÁ, A.; FELIKS, J.; LENORT, R.; BESTA, P. Hybrid Decision Support System for Iron Ore Supply. *METALURGIJA*, 51 (2012) 1, 91–93.

Ostravská válcovna trubek ArcelorMittal se podílí na stavbě 2 000 km plynovodu v Polsku

Společnost ArcelorMittal Tubular Products Ostrava (AMTPO), největší výrobce trubek v Česku, se bude podílet na výstavbě rozsáhlé sítě plynovodů v Polsku. Účelem nového plynového koridoru je dokončit plynifikaci Polska a propojit stávající LNG terminál se zbytkem Evropy. V březnu poputuje z AMTPO na stavbu plynovodu prvních pět kilometrů spirálově svařovaných trubek.

„Stavba plynového koridoru v Polsku je dnes nejrozsáhlejším projektem tohoto typu v Evropě. Podílet se na této zakázce spolu s dalšími dodavateli je pro nás ohromnou příležitostí, která vzhledem k velikosti a předpokládané době trvání projektu nabízí možnost dlouhodobé spolupráce,“ říká Libor Černý, generální ředitel AMTPO.



Nové plynovody budou tvořit koridor sever-jih, který propojí polské plynovody s dalšími zeměmi napříč Evropou. Vytvoří se oboustranný koridor navazující na terminál LNG v Swinoujscie a další stávající infrastruktury v České republice, Rakousku, Maďarsku, Chorvatsku a na Slovensku.

- Z tiskové zprávy ArcelorMittal březen 2016 -

Superkov by mohl dělat konkurenci hliníku

Stahl Aktuell

23.02.2016

Výzkumníci z univerzity v Los Angeles (UCLA) vyvinuli extrémně pevný a přesto velmi lehký materiál, který by mohl vytvořit konkurenci hliníku, doposud v lehkých konstrukcích preferovaného. Podle sdělení UCLA se „superkov“ vytvoří tým, že se do hořčíku v tekutém stavu přimíchají nanočástičky silikonkarbidu. Hořčík, který má o třetinu menší hustotu než hliník, je nejllehčí kov se strukturou. Silikonkarbid je ultravrdká keramická látka, která je používána především pro průmyslové nože. Směs těchto dvou látek se postará o to, že hořčíkový nanokompozit je pevnější a má vyšší tuhost než doposud používané materiály pro lehké konstrukce. Kromě toho se dá lépe tvářet a je také žáruvzdornější. Šéf výzkumné skupiny v UCLA Xiaochun Li říká, že se výzkumníci zatím jen dotkli možných výsledků. „V novém systému se skrývá nová třída kovů s revolučními vlastnostmi“.

Zprávy z HŽ, a.s.

Hutní výroba v ČR a SR

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2015

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	leden	únor	leden-únor	leden		únor		leden-únor	
	2016	2016	2016	2015	2016/15	2015	2016/15	2015	2016/15
	tis. t			tis. t	%	tis. t	%	tis. t	%
KOKS									
CELKEM	241,35	230,36	471,71	299,19	80,67	265,93	86,63	565,12	83,47
z toho (HŽ) ČR	108,13	107,49	215,62	157,52	68,64	140,14	76,70	297,67	72,44
(HŽ) SR	133,22	122,87	256,10	141,67	94,04	125,78	97,69	267,45	95,75
AGLOMERÁT									
CELKEM	798,63	760,40	1 559,03	881,08	90,64	759,08	100,17	1 640,16	95,05
z toho ČR	492,53	475,30	967,83	549,18	89,69	487,98	97,40	1 037,16	93,32
SR	306,10	285,10	591,20	331,90	92,23	271,10	105,16	603,00	98,04
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	647,20	603,74	1 250,94	721,98	89,64	629,59	95,89	1 351,57	92,55
z toho ČR	331,76	336,66	668,42	370,20	89,62	317,70	105,97	687,90	97,17
SR	315,44	267,08	582,52	351,78	89,67	311,89	85,63	663,66	87,77
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	788,32	760,65	1 548,98	914,03	86,25	811,70	93,71	1 725,73	89,76
z toho ČR	412,93	431,97	844,90	487,50	84,70	423,60	101,98	911,10	92,73
SR	375,39	328,68	704,08	426,53	88,01	388,10	84,69	814,63	86,43
KONTISLITKY									
CELKEM	754,39	722,25	1 476,64	872,00	86,51	770,28	93,76	1 642,28	89,91
z toho ČR	379,75	394,32	774,07	446,36	85,08	383,08	102,93	829,45	93,32
SR	374,64	327,93	702,58	425,63	88,02	387,20	84,69	812,83	86,44
BLOKOVNY									
CELKEM	50,61	49,32	99,93	50,17	100,88	47,63	103,55	97,80	102,18
z toho ČR	50,61	49,32	99,93	50,17	100,88	47,63	103,55	97,80	102,18
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	711,94	719,72	1 431,66	781,15	91,14	763,84	94,22	1 544,99	92,66
z toho ČR	393,75	415,56	809,31	404,37	97,38	403,06	103,10	807,42	100,23
SR	318,18	304,16	622,35	376,79	84,45	360,79	84,31	737,57	84,38
TRUBKY									
CELKEM	55,10	57,69	112,79	66,29	83,12	62,57	92,21	128,86	87,53
z toho ČR	37,38	39,82	77,20	47,15	79,29	43,24	92,09	90,39	85,41
SR	17,72	17,87	35,59	19,14	92,55	19,33	92,48	38,47	92,51
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM = (HŽ) ČR	22,19	20,56	42,74	19,45	114,08	15,08	136,32	34,53	123,79
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM = (HŽ) ČR	1,16	1,19	2,35	1,60	72,64	1,28	93,11	2,88	81,74

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Hutnictví železa, a.s. - Ing. Vala

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2016 a 2015

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	únor	březen	únor - březen	únor		březen		leden- březen	
	2016	2016	2016	2015	2016/15	2015	2016/15	2015	2016/15
	tis. t			tis. t	%	tis. t	%	tis. t	%
KOKS									
CELKEM	230,36	264,69	736,40	265,93	86,63	297,89	88,85	863,01	85,33
z toho (HŽ) ČR	107,49	129,54	345,16	140,14	76,70	158,15	81,91	455,82	75,72
(HŽ) SR	122,87	135,15	391,24	125,78	97,69	139,74	96,71	407,19	96,08
AGLOMERÁT									
CELKEM	760,40	815,13	2 374,16	759,08	100,17	845,57	96,40	2 485,73	95,51
z toho ČR	475,30	511,83	1 479,66	487,98	97,40	512,67	99,84	1 549,83	95,47
SR	285,10	303,30	894,50	271,10	105,16	332,90	91,11	935,90	95,58
SUROVÉ ŽELEZO									
CELKEM	603,74	708,91	1 959,84	629,59	95,89	700,36	101,22	2 051,93	95,51
z toho ČR	336,66	361,41	1 029,83	317,70	105,97	348,69	103,65	1 036,60	99,35
SR	267,08	347,49	930,02	311,89	85,63	351,67	98,81	1 015,33	91,60
SUROVÁ OCEL									
CELKEM	760,44	883,04	2 431,81	811,70	93,69	899,96	98,12	2 625,69	92,62
z toho ČR	431,77	467,59	1 312,29	423,60	101,93	463,95	100,79	1 375,05	95,44
SR	328,67	415,45	1 119,51	388,10	84,69	436,01	95,28	1 250,64	89,52
KONTISLITKY									
CELKEM	722,25	842,65	2 319,29	770,28	93,76	854,31	98,63	2 496,59	92,90
z toho ČR	394,32	427,94	1 202,01	383,08	102,93	419,20	102,09	1 248,65	96,26
SR	327,93	414,71	1 117,28	387,20	84,69	435,11	95,31	1 247,94	89,53
BLOKOVNY									
CELKEM	49,32	55,70	155,63	47,63	103,55	58,66	94,95	156,46	99,47
z toho ČR	49,32	55,70	155,63	47,63	103,55	58,66	94,95	156,46	99,47
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
CELKEM	719,72	820,18	2 251,83	763,84	94,22	851,26	96,35	2 396,25	93,97
z toho ČR	415,56	450,63	1 259,94	403,06	103,10	446,33	100,96	1 253,75	100,49
SR	304,16	369,55	991,90	360,79	84,31	404,93	91,26	1 142,50	86,82
TRUBKY									
CELKEM	57,69	57,48	170,28	62,57	92,21	71,44	80,46	200,31	85,01
z toho ČR	39,82	39,04	116,25	43,24	92,09	51,63	75,62	142,02	81,85
SR	17,87	18,44	54,03	19,33	92,48	19,82	93,07	58,29	92,70
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
CELKEM = (HŽ) ČR	20,56	21,52	64,27	15,08	136,32	18,90	113,88	53,43	120,29
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
CELKEM = (HŽ) ČR	1,19	1,23	3,58	1,28	93,11	1,32	92,52	4,20	85,14

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Hutnictví železa, a.s. - Ing. Vala

Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť

Dinaska Svitavy oslavila 30. výročí

Ing. Ladislav Kašpar

P-D Refractories a.s., Nádražní 218, 679 63 Velké Opatovice

V prosinci roku 2015 uplynulo 30 let od zahájení výroby dinasů na závodě Dinaska Svitavy. Technicky velmi dobře vybavený závod se stal součástí n.p. Moravské šamotové a lupkové závody Velké Opatovice, který byl tehdy největší výrobce žárovzdorných materiálů. I když se v porovnání s historií ostatních závodů na výrobu žárovzdorných materiálů v rámci ČR stále jedná takřka o adolescenta, není jistě od věci si připomenout sice relativně krátkou, ale určitě ne nudnou historii tohoto závodu.

Proč byla nová Dinaska potřeba?

Počátkem 70. let 20. století pokračovala v tehdejší ČSSR akcelerace výroby surového železa a oceli, což vyvolávalo i potřebu rozvoje koksárenství. Koncepce koksárenství zpracovaná v roce 1971 předpokládala průměrnou roční spotřebu koksárenského dinasů do roku 1980 v objemu 15 000 t. Na to nebyla v tuzemsku dimenzovaná výrobní kapacita a chyběly i zdroje vhodných surovin. Kvalitní dinas domácí provenience postrádaly i další spotřebitelské obory, tedy především sklářství a výroba oceli. Proto bylo uloženo VHI Československé keramické závody Praha zpracovat studii na realizaci nového závodu na výrobu dinasů se zahrnutím výsledků řešení státního úkolu technického rozvoje na vývoj technologického postupu výroby vysocehutného dinasů na bázi krystalických křemenců, neboť tmelové křemence již v Čechách byly dotěženy. V odůvodnění záměru bylo rovněž zmíněno, že pokud k výstavbě nedojde, bude třeba importovat v letech 1976–1990 až 100 000 t koksárenského dinasů. Po schválení studie na úrovni vlády ČSSR byla vypracována projektová dokumentace, v této fázi na akci s názvem „Dinaska Čechy – Jeníkov“, s kapacitou 32 000 t a s realizací v letech 1976–1978. V průběhu projednávání zpracovávané dokumentace byly zvažovány varianty rozšíření stávajícího závodu ve Vidnavě nebo vybudování nového závodu ve Svitavách. Nakonec byla přijata varianta – Dinaska Svitavy. K tomu přispěla existence

vhodné průmyslové lokality s jednoduchým napojením na inženýrské sítě, komunikace a vlečku, ale také zřejmě ne tak tuhý odpor místních orgánů vůči výstavbě a budoucímu provozu ekologicky citlivého závodu.

Stavba byla zahájena v prosinci 1981. Role investora byla z úrovně Československých keramických závodů, Praha určena Moravským šamotovým a lupkovým závodům, n.p. (MŠLZ), Velké Opatovice. Funkci generálního projektanta vykonával původně Projektový keramický ústav, Praha, později tato role přešla na Keramoprojekt Praha. Vyšším dodavatelem stavby byly Vítkovické stavby n.p., Ostrava, vyšším dodavatelem technologie pak Přerovské strojírný n.p. (PS Přerov). Inženýrský dozor prováděla firma Keramoprojekt Brno. Rozpočtové náklady činily 484,8 mil. Kč.

Počátky výroby

Kontrolní den stavby nového závodu 19.12.1985 potvrdil, že veškeré stanovené termíny a úkoly postupu prací stavby byly splněny. Náběhová křivka na roční kapacitu 30 000 t byla rozvržena do roku 1988. Objevily se však problémy limitující plynulost výroby. Bylo to zejména nedostatečné vybavení strojních dílen na výrobu ocelových forem pro lisování, nedodržování poměru frací dovážených křemenců z Lahoště a také havárie kleneb žárového pásma obou tunelových pecí na výpal dinasů. Při následné opravě kleneb už byl nevyhovující vysocehutný šamot z Horní Břízy nahrazen vlastním novým dinasem, který se plně osvědčil.

Přes všechny nedostatky a problémy poplatné tehdejší době, vznikla ve Svitavách moderní kapacita na výrobu dinasů. Zásadní technologické zařízení bylo jednoznačně na tehdy špičkové světové úrovni. K mísení pracovní hmoty dodala firma Netzsch systém se 2 mísiči TEKA. Jemné frakce křemenců byly domílány na protiproudém tryskovém mlýnu Majac. Ke strojnímu lisování dinasů projekt určil moderní vysokotlaké lis SGP, z toho 3 s lisovací silou 8 000 MN a 3 s lisovací silou

6 300 MN, vybavené automatickou regulací lisovací výšky ve vazbě na potřebný měrný lisovací tlak. Pro lisování tvarovek větších rozměrů byly nasazeny 2 lisy Horn s lisovací silou 16 000 MN. K zajištění výpalu vyvinuly a vybudovaly PS Přerov 2 tunelové pece o délce 191 m, vybavené hořákovými systémy Wellman s regulací výpalu dle nastavené pálicí křivky.



Obr. 1 Hala hydraulických lisů

Původní technologie vycházející ze zpracování lahošťských křemenců byla vypracována ve VÚK Horní Bříza. Doladovat ji pomáhal nestor českého dinasu doc. Ing. Josef Růžek, CSc. Při nelehké aplikaci ve vlastním závodě odvedli vysoce odbornou práci podnikoví technologové doc. Ing. Jaroslav Kunc, CSc. a Ing. Karel Mikulášek. Ti pak štafetu předali již nově vzniklému kolektivu svitavských technologů pod vedením Ing. Františka Hlouška, nynějšího ředitele Dinasky. Na nich bylo, aby technologii postupně vycizelovali až na současnou špičkovou úroveň.

Historicky první zakázkou pro koksárenství byla výroba 7400 t dinasu na výstavbu bloku A, KB č.1 ve VSŽ Košice v r. 1987. Následovaly dodávky pro koksárenské baterie KB č.1 NH Ostrava, KB č.12 TŽ Třinec a KB č.4 a č.9 OKK Ostrava.

Nelehké časy v nových podmínkách

Další osudy Dinasky začaly být silně ovlivňovány politicko-ekonomickými změnami v zemi nastartovanými v r. 1989. V novém společenském klimatu nebylo porozumění pro obory těžkého průmyslu vč. výroby oceli a koksárenství. Výsledkem bylo přehodnocování a rušení dříve naplánovaných projektů, a to zejména jednoho z největších z nich – nové koksovně OKK ve Stonavě. Velkolepé představy o potřebě dinasu v tuzemsku se rozplynuly vničeč. Ačkoliv Dinaska již za dobu své existence prokázala, že je schopna vyrábět kvalitní dinas, nedostatek referencí nedával šanci k uplatnění dinasu na zahraničních trzích. Nově vybudovaný závod neměl pro koho vyrábět, nastalo dilema, jak situaci řešit. V zájmu zachování evidentně perspektivního závodu a potažmo zajištění využívání jeho kapacit proběhla na Dinascce řada pokusů o náhradní výrobu. Jednalo se o keramickou dlažbu,

vysocehlinitý šamot, hlinitanový cement, později dokonce magnezit. Úspěšným doplňkovým výrobkem se však nakonec staly keramické komínové vložky. Technické vybavení Dinasky muselo však být doplněno o linku na plastickou keramickou výrobu.

Postupně se však přece jen díky vynikajícím hodnotám chemických, fyzikálních, mechanických, mineralogických a žárových parametrů začal svitavský dinas prosazovat na zahraničních trzích. K tomu přispěl i přechod na novou surovinu, tmelové křemence ze slovinšské lokality Mirna, patřící firmě Kremen Novo Mesto. Od poloviny 90. let se tak staly stálými odběrateli mnohé sklářské firmy, jako Glaverbel, Saint-Gobain, Asahi Glass, BSN, Vetropack. Jejich okruh se postupně rozrůstal. K tomu přispěla i pozdější příslušnost MŠLZ do nadnárodní korporace P-D Refractories Group. Skláři oceňují kromě velmi dobrých klasických parametrů dinasu i nízké hodnoty flux-faktoru a v podstatě nule se blížící obsah zbytkového křemene. Poněkud složitější byl průnik do oblasti koksárenství. Zde nelze nezmínit jeden z milníků historie Dinasky, jímž byla v roce 1997 v rámci spolupráce s americkou firmou Harbison Walker Refractories (HWR) uskutečněna dodávka více než 18 000 t dinasu na výstavbu koksárenské baterie typu Non-recovery pro firmu Indiana Steel v Chicagu. Spolupráce s firmou HWR pokračovala následně i ve sklářství. Hlavně na asijské a americké trhy pronikal svitavský dinas pod jejich značkou Vegazed. Významné objemy dinasu začaly být dodávány také do pro výrobu surového železa, a to pro vyzdívků ohříváčů větru. Zákazníky se staly mnohé přední světové firmy v tomto oboru, např. Arcelor Mittal, Bethlehem Steel, Ilva, US Steel, Danieli Corus nebo Paul Wurth.

Výstup na dinasový Olymp

Největší výzvou pro výrobce dinasu jsou dodávky pro koksárenství. Koksárenská baterie je konstrukčně náročná stavba vyžadující velké objemy dinasu. Požadavky na kvalitativní parametry dinasu a jejich stabilitu jsou vysoké. Náročnost výroby je zvýrazněna vysokým počtem velmi komplikovaných tvarovek. Vše je umocněno požadavkem na dlouhou životnost baterie, min. 30 let. Po prvních dodávkách pro výše uvedené tuzemské koksárenské baterie se dařilo získávat i zakázky exportní. Již byla zmíněna mimořádná zakázka do USA, následovaly dodávky pro koksovnu Ilva v Itálii a Ispat-Sidex v Rumunsku. Snahy projektantů koksoven o co nejvyšší účinnost koksovacího procesu při minimálních dopadech na životní prostředí zvyšovaly i požadavky na parametry dinasu. Úspěšnost v získávání zakázek na výstavbu koksárenských baterií byla ovlivňována stále se zostřující konkurencí, a to hlavně ze strany čínských, ukrajinských a ruských výrobců. Získání zakázky v roce 2007 pro KB č.3 německé koksovně ZKS Dillingen v tomto prostředí bylo nesporným úspěchem. Konkurenční schopnost Dinasky ovšem byla také posílena nebyvalým rozvojem

konstrukčně-výrobní základny na výrobu ocelových forem. Dinaska dnes disponuje pro tyto účely co do rozsahu a parametrů technického vybavení a úrovně know-how výjimečnou strojřenskou kapacitou, a to i ve srovnání se světovou úrovní.



Obr. 2 Vypálený dinas z vozokomorové pece



Obr. 3 Sklad forem

Technické řešení koksárenské baterie v Dillingenu je možno považovat za špičku evropského pojetí moderní baterie. Projekční trendy koksárenských baterií typu

Non-recovery na americkém kontinentu již byly míněny výše. Na počátku 3. tisíciletí se však objevil ze světového pohledu třetí, v odborných kruzích dlouhodobě avizovaný a ve všech směrech vypracizovaný japonský systém Scope 21. Ambicí svitavských dinasářů bylo podílet se na plánované obnově japonských koksoven na bázi tohoto systému. Po mnohaletých jednáních a vzájemném poznávání se v roce 2014 podařilo získat zakázku na dodávku dinasů a šamotu pro výstavbu koksárenské baterie č. 4 ocelárny Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation. Objem dodávaného dinasů představoval úctyhodných 19 286 t v sortimentu 1 195 různých tvarů.

Právě v prosinci 2015, kdy Dinaska slavila 30. výročí, byla výroba dinasů pro blok A této historické zakázky úspěšně zakončena. Byl to pro Dinasku nejlepší možný, navíc symbolický dárek. Splnil se sen všech svitavských dinasářů – dostat se do špičky světových výrobců, vystoupat na pomyslný dinasový Olymp. Pro dokreslení dosavadní historie se hodí uvést, že závod do konce roku 2015 vyrobil více než 300 tisíc tun dinasů a 140 tisíc tun komínových vložek. Dinaska se stala výrobně i obchodně velice dobře fungujícím subjektem s velmi dobrými ekonomickými výsledky. Vedení si je však vědomo, že nelze podlehnout uspokojení. Průběžně probíhá modernizace technologického zařízení. Mimo jiné bylo zautomatizováno dávkování surovin pro přípravu pracovní hmoty, byl pořízen nový lis Sacmi s lisovacím tlakem 10 000 MN. Byla instalována nová vozokomorová pec Fornax, původní vozokomorová pec Bickley a jedna z tunelových pecí byly rekonstruovány. Na závodě jsou zavedeny procesy na snižování všech nákladů, mimořádná pozornost je věnována úspoře energií. Pozoruhodné přínosy přináší mnoho let fungující systém zvyšování produktivity, do něhož jsou zapojeni všichni zaměstnanci. To vše opravňuje k přesvědčení, že Dinaska Svitavy se bude i v dalším období úspěšně rozvíjet a že bude i nadále v tuzemsku i ve světě úspěšně dokumentovat vysokou úroveň českého žárovzorného oboru.

Nový kovací proces šetří až 20 % oceli

www.maschienmarkt.vogel.de

23.02.2016

Rozvody (common-rails) bude možné v budoucnu vyrábět s menší spotřebou materiálu díky novému kovacímu procesu, vyvinutému v IPH Hannover (Institut für Integrierte Produktion Hannover). Při něm je konstrukční díl předformován prostřednictvím příčných klínových válců a teprve potom vykován nahotovo, takže vznikne méně ořepů než doposud. Při klasickém zápusťkovém kování je hrubý ocelový kus zahřát zhruba na 1 200 °C a vložen do dvoudílné zápusťky. Při kování (lisování) se materiál dostane do formy a přebytečný materiál zateče do stran a vytvoří ořepy, které se po vychladnutí odstraní. Při tomto způsobu se ztrácí velké množství materiálu. Například pro rozvody nákladního auta je při výrobě zapotřebí 9,3 kg ušlechtilé oceli. Po dvou kovacích krocích váží hotový výkovek jen 6,3 kg, a tak při výrobě 1 000 kusů rozvodů se vyplývá více než 3 t ušlechtilé oceli. Válcování příčnými klíny zcela ušetří ořepy při prvním kovacímu kroku a podle počítačové simulace se ušetří až 20 % materiálu.

Ze života škol

23rd International Students' Day of Metallurgy 12. – 14. 5. 2016

(23. mezinárodní dny studentů metalurgie)

Putovní soška Sv. Barbory na půdě naší fakulty signalizuje, že se po šesti letech vrací na VŠB – TU Ostrava, fakultu metalurgie a materiálového inženýrství již 23. ročník mezinárodní konference studentů metalurgie. Nelze opomenout, že je to v roce, kdy si připomínáme 300 let od založení naší Alma mater jako první báňské školy v Evropě.



(foto Josef Polák)

V loňském roce se konala tato konference v německých Cáchách a zúčastnilo se jí 12 univerzit z Německa, Rakouska, Polska a České republiky, pro tento ročník přislíbily účast university RWTH Aachen, TU Berlin, TU Clausthal, Czestochowa University of Technology, TU Bergakademie Freiberg, Silesian University of Technology, Montanuniversität Leoben, University of Applied Sciences Upper Austria Wels, Yildiz Technical University.

Náplní této konference je seznámení široké technické veřejnosti s výsledky vědeckého bádání, s vědecko-výzkumnými pracemi, odbornými oblastmi výzkumu,

na kterém se podílejí studenti uvedených univerzit v oborech nejen metalurgických, ale i navazujících (vědy o materiálu, materiálové inženýrství, neklasické nové technologie, pracovní postupy, vývoj technologií, zařízení). Mezi účastníky budou zastoupeni také pracovníci těchto univerzit (akademici i odborní), zástupci firem, odborných škol, odborných pracovišť a institucí. Konference si tak, mimo vzájemnou výměnu odborných poznatků a zkušeností, klade za cíl seznámit širokou odbornou veřejnost s aktuálním vědecko – výzkumným záběrem naší fakulty. Technická veřejnost může sledovat současné zaměření studia a trendy vědeckého bádání. Souhrn přednášených referátů bude obsažen ve sborníku, který obdrží každý účastník. Pro zúčastněné se nabízí inspirace, pro vedoucí pracovníky výběr nových perspektivních zaměstnanců. Nezanedbatelné je navázání nových pracovních kontaktů a přátelských vztahů právě mezi mladými lidmi z různých zemí a pracovišť, nebo potvrzení již existujících a jejich pokračování. Je to jistý vklad do budoucí technické generace.

Pro oslovené sponzory (kterým i touto cestou děkujeme) je zajištěn prostor pro reklamu jejich firmy v přednáškovém sále, v prostorách fakulty i na oficiálním Facebooku FMML. Konference umožní bezprostřední kontakty s jednotlivými přednášejícími – studenty, navázání spolupráce s jejich pracovišti, řešení technických úkolů praxe i univerzity formou projektů, smluv, bakalářských, diplomových nebo doktorských prací. Pro tento účel může být využit i uvítací společenský večer, konaný první den konference.

V rámci doprovodného programu konference je pro účastníky zajištěna exkurze v provozech ArcelorMittal Ostrava – Steckel Mill, Medium & Fine Section Mill a Vítkovice Heavy Machinery, zajímavá bude i prohlídka Dolní oblasti Vítkovic, kde si mnozí vzpomenou na slávu a výkony tohoto kdysi metalurgického gigantu a která bude jistě zajímavým doplňkem pro zahraniční účastníky.

Na organizaci této studentské konference se podílí studenti FMML.

Bližší informaci o této studentské konferenci můžete získat na <http://isd2016.eu/>

*doc. Ing. Adéla Macháčková, Ph.D.
proděkan pro vnější vztahy FMML*



alumni ABSOLVENTI
VŠB-TUO

Generační setkání absolventů VŠB-TU Ostrava

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (VŠB-TUO) je tradiční institucí s dlouhou a bohatou historií. V současné době je dynamickou a moderní univerzitou s kvalitním zázemím a nabídkou v mnoha oblastech. Za dobu její existence se zde odehrály tisíce příběhů, bylo dosaženo nespočtu úspěchů v široké škále aktivit a brány univerzity slavnostně opustilo na 100 000 absolventů.

Univerzita si svých absolventů velmi váží a snaží se s nimi prostřednictvím absolventské sítě Alumni VŠB-TUO udržovat kontakty a posilovat vazby. Letos poprvé pořádá generační setkání absolventů a jejich rodin. Smyslem akce je ukázat, že VŠB-TUO je také univerzitou s rodinnou tradicí studia, sejt se společně s absolventy, kteří v duchu rodinných generací tvoří srdce historie univerzity.

Zveme všechny tyto absolventy, aby se přidali k ostatním a přišli se společně poznat a pobavit. První generační setkání absolventů se uskuteční 18. června 2016 v areálu univerzity v Ostravě – Porubě.



Přijďte zažít netradiční akci v duchu tradic a užíjte si příjemné rodinné odpoledne spojené s grilováním, setkáním s vedením univerzity a zábavným programem, do kterého se zapojí všichni členové vaší rodiny. Víte, co je molekulární mixologie? I to pro vás chystáme a jako dárek od nás dostanete Kartu absolventa

VŠB-TUO plnou benefitů poskytovaných univerzitou, partnery a dalšími více než sedmy sty komerčními subjekty zcela zdarma. Akce bude zahájena ve 14 hodin a koná se za každého počasí.

A komu je vlastně akce určena? Na setkání jsou zváni všichni absolventi, kteří mají alespoň jednoho rodinného příslušníka, který studoval nebo studuje na VŠB-TUO v přímé i nepřímé linii (to znamená prarodiče, rodiče, děti, vnuci, sourozenci, tety, strýcové, sestřenice, bratrance, opatrovníci i nevlastní rodinní příslušníci). Máte děti nebo vnoučata, kterým chcete ukázat, kde jste prožili svá studentská léta? Chcete vědět, co může univerzita nabídnout jim? Vezměte je s sebou, stejně jako své partnery a partnerky!



Více informací naleznete na <https://alumni.vsb.cz>.

Rádi zodpovíme veškeré vaše další dotazy. Registrovat se už teď na alumni@vsb.cz. Těšíme se na vás!

Ing. Lucie Holešinská

vedoucí útvaru sociálních záležitostí

Alumni – péče o absolventy

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Historie hutnictví

K historii těžby a zpracování stříbrnosných a zlatonosných rud v Jílovém u Prahy a v některých dalších vybraných lokalitách

To History of the Mining and Treatment of the Silver and Gold Containing Ores in Jílové u Prahy and in some Next Chosen Localities

prof. Ing. Karel Stránský, DrSc.¹; Ing. Drahomíra Janová²; prof. Ing. František Kavička, CSc.²; doc. Ing. Libor Pantělejev, Ph.D.²; RNDr. Karel Stránský, MBA², jun.; Ing. Zdeněk Spötz³, Ph.D.; Ing. Lubomír Stránský, CSc.²; Ing. Bohumil Sekanina, CSc.²; Ing. Jan Počta, CSc.^{4,5}

¹ ÚFM v.v.i., Akademie věd České republiky, Žižkova 22, 616 62 Brno, Česká republika

² Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Technická 2, 616 64 Brno, Česká republika

³ Vysoké učení technické v Brně, Středoevropský technologický institut, Technická 3058/10, 616 00 Brno, Česká republika

⁴ CSM Ostrava, Česká republika

⁵ OCELOT, s.r.o., Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice

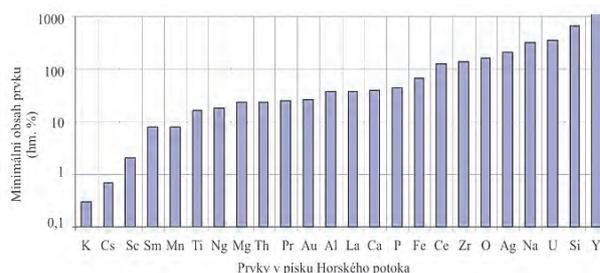
(Dokončení)

5. Dolování a rýžování zlatonosného písku u vsi Hory na Třebíčsku

V Horském potoce, který pramení u vesnice Hory, se rýžovalo zlato již v době předhusitské. Původní název vsi byl Velké Štítky [9] a první zmínku o ní a o sousední vsi Malé Štítky je písemně doložen již v r. 1252 [9]. První zmínka o dolování zlata u Štítek je ze dne 6. června 1645, kdy moravský markrabě Karel Lucemburský dal Jemnickým právo dolovat zlato v nově objevených dolech Štítky (*Schiken*) [10]. Během husitských válek byly obě vsi zničeny a dolování zlatonosných křemenných rud již nebylo nikdy obnoveno. Stopy po dobývání zlatonosného křemene byly zjištěny v obnovené vesnici Hory [9 – 11]. Rýžování zlatonosného písku v Horském potoce probíhá čas od času dodnes v místní lokalitě *Opatovské zákopy*, nacházející se severozápadně od vesnice. Výtěžek rýžování zlata, kterým bývá nevelký počet zlatěnek poměrně ryzího zlata, slouží dnes zpravidla pouze pro badatelské účely.

Prvky, které doprovázely zlatonosný písek v Opatovických zákopech, jsou znázorněny podle rostoucí hmotností na obr. 9 a v tab. 5. Analýza byla provedena metodou SPA. Zlato zde bylo během rýžování nalezeno

v hmotnostním poměru ke stříbru 6,05:1,00. Ve zlatonosném písku byl kromě běžných prvků identifikován vysoký podíl lanthanidů (samarium, lanthan, praseodym, neodým, cer), radioaktivní prvky uran, thorium, dále yttrium a též již zmíněné stříbro a zlato. Celkem bylo identifikováno 24 prvků.



Obr. 9 Identifikace 24 prvků ve vzorcích zlatonosného písku Horského potoka u vsi Hory na Třebíčsku (lokalita Opatovské zákopy) provedená metodikou semikvantitativní poměrné analýzy (prvky jsou uspořádány vzestupně podle jejich atomové hmotnosti)

Fig. 9 Identification of 24 elements in the samples of gold-bearing sand in the Horský stream near the village Hory in Třebíč region (location Opatovské zákopy) performed a semi-quantitative methodology of proportionate analysis (elements are arranged in ascending order according to their atomic mass)

Tab. 5 Semikvantitativní poměrná mikroanalýza (SPA) při rýžování zlatonosného písku v Horském potoce (Opatovické zákopy)
Tab. 5 Semi-quantitative proportionate micro-analysis (SPA) at placer mining of gold-bearing sand from the Horský stream (Opatovické zákopy)

Prvek	(mg/kg)	(hm. %)
K	0,298	0,0081
Cs	0,677	0,0198
Sc	2,09	0,0605
Sm	7,86	0,2272
Mn	8,08	0,2338
Ti	16,7	0,4829
Mg	18	0,5209
Pr	23,8	0,6883
Al	24,2	0,6990
Ca	24,5	0,7088
Fe	26,7	0,7721
Zr	37,1	1,0729
Ag	37,2	1,0759
Na	40,2	1,1625
U	45	1,3018
Si	65,2	1,8850
Y	122	3,5285
Ng	142	4,1069
Th	159	4,5986
Au	207	5,9861
La	326	9,4280
P	350	10,126
Ce	668	19,317
O	1106	31,985
celkem	3 457,6	99,999

6. Výroba zlata a stříbra z těžných surovin

6.1 Zlato

Zlato se v přírodě nachází v kovové formě, vzniklé zvětráváním zlatonosných nerostů a hornin a splavované do vodních toků [12] nebo v rudné formě, často jako součást jiných minerálů – polymetalických rud.

6.1.1 Úprava nerostů

Zlato, vyskytující se podle prvního způsobu v ryzí formě na zemském povrchu nebo v nemalé hloubce pod ním, člověk získával tak, že vlastně pokračoval v procesu započatém přírodou. Podroboval vytěženou rudninu mechanické úpravě spočívající:

- v prvotním zdobňování, např. ve stoupách (rozpořádání těžné hmoty zahrocenými svislými tyčemi s vodním pohonem), čelistových drtičích nebo mlýnech a v třídění podle zrnitosti;

- ve finálním plavení (praní za účelem rozduřování, tj. separace kovonosné hmoty od hlušiny) ve žlabech, splavech a na svážných třídících stolech nebo v ručním rýžování (dříve nazývaném jílování) [13]. K rozduřování dále sloužily mechanické sazečky, u nichž prvenství ve vynálezu přisuzuje autor [14] těžební lokalitě ve Zlaté Idce na východním Slovensku. Tato technologie se váže až k 19. století, přičemž nejsou zprávy, zda tato zařízení byla využívána v těžebních lokalitách Českých zemí. Z toho však nelze vyvozovat, že v Jílovém a na Českomoravské vrchovině sazečky vůbec nepracovaly;
- v intenzifikaci úpravenského procesu s cílem využití i nejjemnějších podílů užitečné hmoty (zahušťovače, kalolisy).

Mechanické způsoby úpravy byly první na řadě, které těžaři volili, protože tak využívali bohatá naleziště. K nejproduktivnějším finálním metodám praní zlata bylo jeho oddělování od jaloviny v proudu vody ve žlabech, jejichž dno bylo vystláno tkaninou nebo zvířecí kožešinou. Tato technologie je prastará a provozovaná již v hlubokém starověku, protože „zlaté rouno“, které patrně znamená ovčí kůži a srst se zachycenými zrnky zlata pocházejících z plavení rudniny, je předmětem již starých řeckých bájí a pověstí.

Zlato vyskytující se v nerostech a jako příměs v rudách jiných kovů se nacházelo ve větších hloubkách pod zemským povrchem. Jeho získávání tak bylo spojeno s větším úsilím jak při těžbě, tak i při hutním zpracování. Proto horníci a hutníci prioritně těžili a zpracovávali bohatá ložiska s využitím jednodušších úpravenských procesů. Chudý podíl suroviny byl přitom spolu s hlušinou odtěžen na odval. Tento jejich přístup ve využívání přírodních zdrojů nebyl nepodobný překotné zlaté horečce v Kalifornii a na Aljašce o několik století později. Až po vyčerpání snadno přístupných ložisek s výskytem kovového zlata nebo lehkotavitelných rud se přistoupilo k intenzivnějším technologiím zpracování ložisek ve větších hloubkách a bohatých olovnatých rud.

Těžení zlata v Jílovém datuje již Václav Hájek z Libočan k roku 734. Plavení zlata se připomíná již za krále Václava I. (1230 – 1253). První zlaté mince z jílovského zlata s příspěvkem zlata z Kašperských Hor byly raženy za panování Jana Lucemburského (1310 - 1346), kdy doly v Jílovém byly v držení Petra Rožmberka. O vývoji těžby a výroby zlata podávají řadu cenných informací písemné zdroje českého přírodovědce Kašpara ze Šternberka (1761 – 1838) nebo nejvyššího mincmistra Bedřicha Šlika (přelom 16. a 17. století), zejména však spisy (1863) prvního ředitele Báňské akademie v Příbrami Johanna Grimma (1850 – 1874). Je zajímavé, že podle [12] nebyly v Jílovém v 17.–18. století složitější úpravenské technologie příliš využívány k zušlechťení zlatých rud. Ještě na počátku 19. století zde totiž pracovaly jen tři stoupy. Zdá se tedy, že ložiska byla skutečně bohatá a na výrobu čistého zlata stačila patrně jednoduchá mechanická úprava. Po r. 1870 majitel dolů Josef Wang postavil na řece Sázavě nové výkonné stoupy

a provedl několik zkušebních testů v těžbě a úpravě rud, v nichž bylo dosaženo průměrně 30 g Au/t dobyté žiloviny. Nadějnost tohoto výsledku je však v rozporu s výsledky analýz provedených na vzorcích odebraných z důlních děl po jejich rozšíření a propojení v celé těžební lokalitě Jílového v r. 1864. Laboratoř v Příbrami, která analýzy prováděla, hodnotila rudy z rozšířených lokalit jako chudé.

6.1.2 Amalgamace

Technologie, která znamená intenzifikaci při výrobě zlata a navazuje na mechanickou úpravu, je amalgamace. Spočívá v zachycení zlatých zrněk ve vrstvě rtuti a tvorbě slitiny – amalgámu typu AuHg₂ s obsahem 20 – 50 % zlata, který se po propírání horkou vodou a vylisování přebytečné rtuti v kožených vacích podrobuje žhání v retortě při teplotě 350 – 400 °C a ve druhém stupni při teplotě 750 – 800 °C [15]. Destilací se tedy odstraňuje rtuť za tvorby surového zlata. To se rafinuje tzv. afinací probíhající vesměs v tavném stavu, která je založena na principu vyšší afinity průměrových kovů ke kyslíku než má zlato. Vysoký obsah rtuti nalezený ve vzorcích odvalu z jámy Pepř (viz níže) ukazují na uplatnění této technologie při výrobě zlata.

6.1.3 Pyrometalurgické technologie

- Vedle amalgamace se při výrobě zlata uplatňovaly pyrometalurgické technologie. Ty spočívají v pražení komplexních sulfidických rud s cílem zvýšení koncentrace Au. Pak následovalo plavení. Tento způsob se prováděl ještě na počátku 19. století.

- Olovnaté rudy s příměsí Au nebo pražence se zpracovávaly tavením a poté tzv. sháněním. Princip technologie shánění spočívá v oxidaci taveniny vzdušným kyslíkem za vzniku klejtu PbO na hladině a stahování oksyložené vrstvy:



Tavenina se tak relativně obohacuje o zlato. Proces se může provádět ve sháněcí peci jako spojitý, a to za neustálého přidávání nové taveniny a současného stahování povrchové oxidované vrstvy, nebo přerušovaný a prováděný v pánvi. V Jílovém však tavicí pece podle [12] nebyly nalezeny.

6.1.4 Hydrometalurgické technologie

Hydrometalurgické technologie, které pracují se zlatem v roztoku solí, jsou vesměs moderní metody. Jejich principy však v dobách, ke kterým se váže tento článek, již byly známé. Např. [13] uvádí způsob separace stříbra a zlata rozpouštěním stříbra v kyselině a sedimentací nerozpouštěného zlata. Tento způsob odpovídá dnešní technologii popsané chemickou rovnicí (14) (viz níže). Popsaný způsob odpovídá metodám provozovaným spíše pro malá množství v laboratořích, než aby byl

průmyslově využíván. Zlato se pak přetavovalo na slitky.

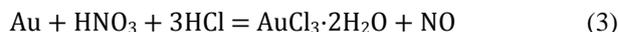
- Jiný hydrometalurgický způsob výroby zlata je kyanidování popsané v [15, 16]. Princip spočívá ve vyluhování zlata z rudy kyanidem draselným (nebo NaCN, příp. Ca(CN)₂) za spolupůsobení oxidace vzdušným kyslíkem. Se zlatem se dále pracuje v tekuté formě, v níž se zlato vysráží hydroxydem draselným:



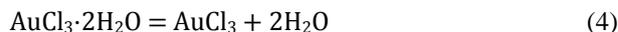
Stejně jako předešlé hydrometalurgické metody se rovněž kyanidování využívalo až v moderní době, od konce 19. století.

6.1.5 Kombinované technologie

Při výrobě drahých kovů se stejně, jako tomu je u jiných neželezných kovů, kombinuje pyrometalurgie s hydrometalurgií. Takovým příkladem je rozpouštění zlata z rudniny v lučavce královské:



V normálním oxidačním prostředí přitom dochází k oxidaci NO na komplexní NO_x. Hydrid zlatitý se termicky rozkládá (kalcinuje), čímž se přechází na pyrometalurgický způsob:



Termický způsob pokračuje dále postupným snižováním mocnosti zlata a uvolňování molekulárního chloru až do vyloučení kovového zlata při stupňující se teplotě na hodnotu 220 – 300 °C:



Rovněž u této technologie se nepředpokládá, že by byla v historii hutnictví zlata průmyslově využívána. Reakce jsou doprovázeny barevnými efekty při vzniku jednotlivých sloučenin, což je pro studijní demonstrace v laboratořích vděčným znakem průběhu reakcí.

6.2 Stříbro

Stříbro se v přírodě vyskytuje v podobě bohatých rud (argentit Ag₂S – výskyt převážně na Jáchymovsku, chlorargyrit AgCl) nebo jako příměs v polymetalických rudách na bázi galenitu PbS nebo měděných rud. K výrobě stříbra se podobně jako u výroby zlata využívají technologie úpravnické, pyrometalurgické, hydrometalurgické, elektrometalurgické (elektrolýza) a jejich kombinace. Jádrem historických technologií však byla prvotní úprava surovin a na ni navazující hutnické způsoby. Úpravenské procesy byly obdobné jako při výrobě zlata, avšak s tím, že úpravou rud se získala základní užitečná složka, která se musela dále pyrometalurgickým způsobem zpracovávat. Ostatní technologie (hydrometalurgie, elektrometalurgie) jsou základem výroby až v moderní době.

6.2.1 Pyrometrické technologie

- Z galenitu s bohatou příměsí stříbra bylo toto stříbro vyráběno parkesováním. Je to tavný způsob, při němž se zvyšuje koncentrace stříbra v olovu. Na taveninu se nechá působit zinek v podobě třísek nebo prášku, který se stříbrem vytváří nízkotající sloučeniny s měrnou hmotností nižší, než má olovo. AgZn sloučeniny vytvářejí na povrchu taveniny flotační pěnu, která je předmětem dalšího zpracování. U zinku se využívá jeho těkavosti za vysokých teplot, takže se z pěny odstraňuje destilací v retortě. Tím se získává olovo bohaté na stříbro (až 20 %), které je dále předmětem separačního zpracování na surové stříbro. Užití této technologie lze datovat nejdříve do 18. století, protože teprve v průběhu tohoto století se z Anglie dostala výroba čistého zinku do kontinentální Evropy.

- Ještě více než pro zlato je pro stříbro typická technologie shánění, jak byla popsána výše (rov. (1) a příslušný text k ní). Tato technologie navazuje vesměs na parkesování.

- Z měděných rud nebo olovnatých rud s vysokým obsahem mědi se stříbro vyrábí pagamentací. Princip pagamentace spočívá v tavení rudy nebo slitiny zlata se stříbrem, pocházející z předešlých pyrometalurgických metod, s ledkem, který odstraní měď v podobě $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ do strusky. Stejněho principu vytěšňování mědi lze využít i v hydrometalurgii, a to s tím, že měď se vyluhuje zředěnou kyselinou sírovou za vzniku CuSO_4 .

6.2.2 Hydrometalurgické technologie

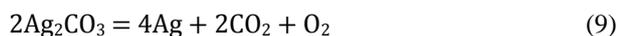
- Bohatší stříbrné suroviny, tj. chlorargyrit AgCl nebo tavenina argentitu či akantitu Ag_2S s CaCl_2 , v níž vzniká AgCl podle rovnice:



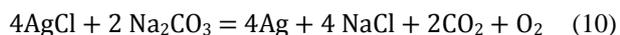
se přetavují se sodou:



Sůl NaCl je rozpustná ve vodě, takže po separaci se Ag_2CO_3 dále termicky rozkládá a získává se kovové stříbro:



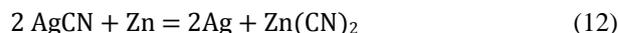
Obě rovnice lze matematicky sečíst, takže výsledný proces lze zkráceně popsat rovnicí:



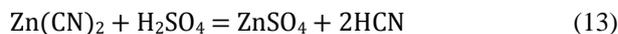
- Kyanidování a louhování aplikované na zlato je podle [11] efektivní metodou používanou při výrobě stříbra. Je to další hydrometalurgická metoda, kdy se AgCl , ať už v podobě rudy, sloučeniny z tavení argentitu nebo odpadu vzniklého ve fotografickém průmyslu, rozpouští v kyanidu:



Obě výsledné složky jsou v roztoku. Do něj se přidá zinek v třískách nebo prášku a vzniká směs kovového Ag a sraženiny $\text{Zn}(\text{CN})_2$:

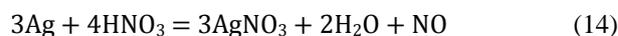


Zinek se od stříbra separuje rozpouštěním v kyselině sírové:

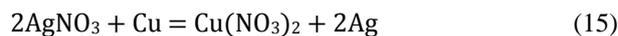


Tuto technologii lze však řadit až do nové doby a navíc, popsané chemické reakce se využívaly pro regeneraci vývojek ve fotografickém průmyslu, takže stříbro je zde druhotný produkt z recyklace.

- Stříbro se dá vyrobit vyluhováním rudniny ve zředěné kyselině dusičné za tepla:



Tím se také separuje stříbro od zlata. Následuje cementace, jejíž podstatou je iontová výměna méně ušlechtilým kovem za vzniku 99,98 % Ag , čili čistého stříbra:



NO z předešlé reakce se pochopitelně okamžitě oxiduje na vyšší, resp. komplexní kysličníky NO_x . Popsaný chemický pochod slouží také pro separaci stříbra a zlata, protože zlato se v HNO_3 nerozpouští. Tato technologie, stejně jako jiné hydrometalurgické metody, se vážou až k moderní době a nebyly používány v době, která je předmětem zkoumání popisovaných prací.

6.3 Rafinace drahých kovů

Na rozdíl od elektrometalurgie, která dovoluje vyrobit kov s vysokým van Arkelovým číslem (vysoká čistota kovu), avšak která není předmětem zkoumání historických hutnických technologií, je výsledkem pyrometalurgických technologií vždy jen surový kov. S čistotou kovu je ve srovnání s pyrometalurgií na tom lépe hydrometalurgie. V obou případech je však van Arkelovo číslo nízké (řádově nižší čistota kovu), takže za oběma technologiemi následuje rafinace kovu.

S přihlédnutím k historickým technologiím jsou zde připomínány jen pyrometalurgické technologie. Oba drahé kovy se ze surového stavu rafinovaly tzv. afinací, která je založena na selektivní oxidaci, při níž se využívá vyšší afinity příměsových kovů ke kyslíku, než mají drahé kovy. To platí o stříbře vždy, neboť se získávalo ze stříbrných rud nebo polymetalických rud s ekonomicky těžitelným obsahem stříbra, a o zlato v případě, že bylo získáno z rudných žil ve větších hloubkách. Afinace se provádí dmýcháním vzduchu do plamenné pece s taveninou surového kovu.

Rafinace stříbra vyluhováním v HNO_3 a elektrolýzou roztoků nebo taveniny, stejně jako rafinace zlata, kontaminovaného stříbrem, kvartací, jejíž chemický princip spočívá ve vyluhování příměsových kovů

a stříbra ve zředěné HNO_3 za tepla nebo v koncentrované H_2SO_4 za vzniku tekutých solí, dále rafinace zlata chlorováním taveniny a elektrolýzou roztoků nebo taveniny jsou již technologie spojené s moderní dobou.

7. Průzkum vzorků z haldy pod úpravnou dolu Pepř

Cílem průzkumu rozsáhlé haldy v lokalitě Dolní Studené – Kocourské pásmo (obr. 10 a 11) bylo původně nalezení a odběr vzorků pórovitého křemene z upravené zlatonosné rudniny spojené s důsledky její amalgamace rtuť. Halda jako odpad zpracované rudniny z dolu Pepř se nachází přímo pod úpravnou svažující se do hlubokého údolí, jímž protéká Studenský potok.



Obr. 10 Halda v lokalitě Dolní Studené v Jílovém u Prahy pod štolou Pepř, svažující se k hluboko zařezanému údolí Studenského potoka (K. Stránský jun., 2005)

Fig. 10 Heap in locality Dolní Studená in Jílové near Prague under the drift Pepř, sloping down to the deeply cut valley of Studenský stream (K. Stránský jr., 2005)



Obr. 11 Úpatí haldy v lokalitě Dolní Studené v Jílovém u Prahy pod štolou Pepř. Průzkum terénu – odebrán valoun pórovitého křemene (foto K. Stránský jun., 2005)

Fig. 11 Foot heap in locality Dolní Studená in Jílové near Prague under the drift Pepř. Ground survey – a boulder of porous quartz was taken (photo by K. Stránský jr., 2005)

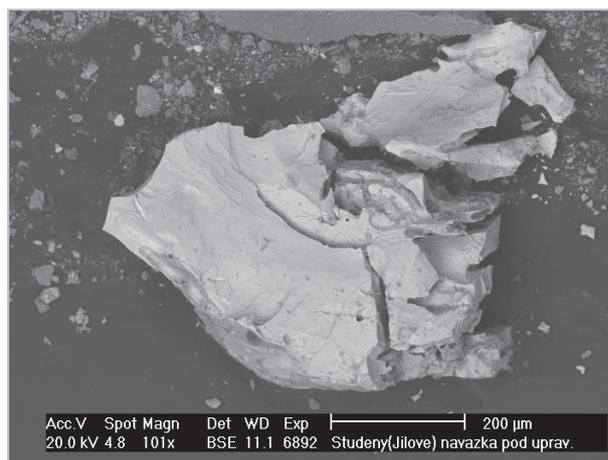
V letních měsících roku 2005 proběhl orientační průzkum haldy pod úpravnou dolu Pepř. Byly odebrány vzorky upravené rudniny s cílem posoudit jejich povrch základní plošnou rtg spektrální mikroanalýzou. Ta poskytla spektrum základních 15 prvků: O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Pb, Ag, K, Ca, Ti, Mn, Fe a Hg. Rtuť byla identifikována v pěti spektrech plošných analýz z celkového počtu 17 analýz, což je 29,4 %. Celkem šlo o minerály typu pyrit FeS_2 a pórovitý křemen (tab. 6). Průměrné obsahy v hm. % byly následující: 12,71 Hg; 48,08 S; 4,92 Pb; 0,26 Ag a 20,93 Fe. Celkový součet činil 86,9 hm. %. Na základě orientačních měření je to přibližný odhad. Detekce vysokého obsahu rtuťi svědčí o tom, že úpravenské procesy zlatonosných rud zahrnovaly amalgamací s využitím rtuťi.

Tab. 6 Difrakční rentgenová analýza křemenné rudniny z haldy v Kocourském pásmu pod štolou dolu a úpravny Pepř (Z minerálů byl rtg. difrakční analýzou doložen pouze pyrit FeS_2 a křemen SiO_2)

Tab. 6 X-ray diffraction analysis of quartz ore from heap in Kocourský zone under the mine drift and processing plant Pepř (Only FeS_2 pyrite and quartz SiO_2 were detected X-ray diffraction analysis from the minerals.)

Minerál	Prostorová grupa	Podíl minerálu (hm. %)	Zástupný chemický vzorec	Krystalografická soustava
Křemen	P3221	88	SiO_2	hexagonální
Pyrit	Pa-3	12	FeS_2	kubická

Povrch analyzovaných částic pórovitého křemene není dokonale rovinný a kolmý ke směru dopadu elektronového paprsku, což je základní nutná podmínka kvantitativní rtg mikroanalýzy. Nerovný povrch vzorků z haldy pod úpravnou je proto velkým problémem. To je demonstrováno např. snímkem částice pyritu a křemene (obr. 12).



Obr. 12 Částice pórovitého křemene identifikovaná jako minerál pyrit FeS_2 a křemen měla jako celek chemické složení v hm. %: 40,74 O; 0,43 Na; 0,34 Mg; 0,49 Al; 37,68 Si; 0,04 P; 0,00 Pb; 0,19 Ag; 0,16 K; 0,09 Ca; 0,10 Ti; 0,10 Cr; 0,00 Mn; 9,51 Fe; 0,55 Cu a 0,44 Zn

Fig. 12 Particles of porous quartz identified as mineral pyrite FeS_2 , and quartz had the following overall chemical composition in wt. %: 40.74 O; At 0.43; 0.34 Mg; 0.49 Al; 37.68 Si; P 0.04; 0.00 Pb; 0.19 Ag; 0.16 A; Ca 0.09; Ti 0.10; 0.10 Cr; 0.00 Mn; 9.51 Fe; 0.55 Cu and 0.44 Zn

Povrch odpadních hald není pochopitelně chráněn proti celoročnímu účinku atmosférických vlivů (např. déšť, sníh, led, vítr), takže výsledky amalgamace zlatonosných rud spojené s tvorbou kyanidů [12] jsou postupem času silně ovlivňovány a na vzorcích se je nepodařilo analyticky věrohodně zachytit.

Závěr

Příspěvek shrnuje výsledky dlouhodobého výzkumu polymetalických stříbrnosných a zlatonosných rud na Českomoravské vrchovině, zejména v oblastech jejích vybraných částí. Terénní výzkum se zaměřil více než na pětadvacet lokalit a byl opřen o důsledný analytický rozbor polymetalických rud a jejich hutnické zpracování. Byl postupně zveřejněn v časopisech *Slévárenství* a *Hutnické listy*. Výsledky dokládá souhrnná publikace [8]. Kromě řady dílčích pohledů na těžbu a zpracování těchto rud přináší článek také informaci, že v Čechách, zejména v Jílovém u Prahy, byl výskyt zlatonosných rud podstatně četnější a významnější než na Moravě a ve Slezsku; zejména to platí o západní části Českomoravské vrchoviny, která v minulosti tvořila jistou komunikační bariéru mezi Čechami a Moravou.

Na rozdílnou těžbu a hutnické zpracování rudnin poukazuje autorský kolektiv porovnáním rozdílných výsledků vybraných měření a chemických analýz vzorků z různých lokalit: Kocourské pásmo v Jílovém u Prahy, hutní revír Utín-Hesov ve Stříbrných Horách, Deblín, Švařec – lokalita Za kaplí a ves Hory na Třebíčsku. Analýzy jsou doplněny rozbory vzorků odebraných z haldy pod dolem a úpravnou z dolu Peří v lokalitě Dolní Studené u Jílového. Na základě výsledků analýz, dokládajících chemické složení vzorků z odvalů v okolí bývalých těžních jam a historických písemných zpráv o činnosti dávných montanistů, byl proveden odhad použitých technologií hutnického zpracování těžených rud. Převládaly mechanické úpravenské technologie a amalgamace při zpracování bohatých ložisek z povrchových křemenných a pyritových vrstev a pyrometallurgie – tavné technologie při zpracování polymetalických sulfidických rud z hlubších žil.

Poděkování

Tato práce byla realizována v rámci projektu č. LO1202, získaného za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I.

Literatura

- [1] BALBÍN, B. *Krásy a bohatství České země*. (Úvodní studie: Tichá, Z.). Praha: Panorama, 1986, 352 s.
- [2] KUBÁTOVÁ, L. *Dolování zlata v Jílovém (1526 – 1968), část 11.* s. 185–228. Okresní muzeum Praha západ u Jílovém u Prahy, 1987, 228 s.
- [3] MORÁVEK, P., RÖHLICH, P. *Jílovský zlatonosný revír a jílovské pásmo v dolním toku Sázavy*. (osobní sdělení na exkurzi ČG Společnosti č. 5, ČGU Praha, 2000.
- [4] PELLANT, CH., PELLANTOVÁ, H. *Horniny a minerály*. Martin: Osveta, 256 s. ISBN 80-217-0582-5.
- [5] STRÁNSKÝ, K., JANOVA, D., POSPÍŠILOVÁ, S., DOBROVSKÁ, J. Poměrná semikvantitativní mikroanalýza těžkých kovů v horninách, struskách a rudách. *Hutnické listy*, 62 (2009) 3, 84–89, ISSN 0018-8069.
- [6] STRÁNSKÝ, K., JANOVA, D., POSPÍŠILOVÁ, S., DOBROVSKÁ, J. Možnost poměrné semikvantitativní mikroanalýzy v horninách, rudinách a struskách. *Slévárenství*, 57 (2009) 7-8, 268–270, ISSN 0037-6825.
- [7] MURDOCH, BARNES, J.A. *Statistical Tables for Science, Engineering, Management and Business Studies*. Cranfield: The Macmillan Press L.T.D., 1970, 40 s.
- [8] STRÁNSKÝ, K., JANOVA, D., STRÁNSKÝ, L. aj. *Těžba a hutnické zpracování polymetalických rud na Českomoravské vrchovině*. Brno: Česká slévárenská společnost, člen ČSVTS Praha. Divadelní 6, 57034 Brno, 2014, 105 s.
- [9] MERTA, J. Zaniklé zlate doly u Hor. In *Archeologia technika*. Technické muzeum v Brně, 1984, s. 19–22.
- [10] HOSÁK, L. *Historický místopis země Moravsko-Slezské*. Praha: ACADEMIA, 2004, 1145 s., ISBN 80-200-1225-7.
- [11] MĚŘÍNSKÝ, Z. Hornické vsi Velké a Malé Štítky Svojkovic u Hor (okres Jihlava a Třebíč). In *Archeologia technika*, Technické muzeum v Brně, 1984, s. 23–43.
- [12] HRABÁK, J. *Hornictví a hutnictví v Království českém, jeho vznik a vývoj až po nynější stav*. Praha: nakl. Fr. Řivnáče, 1902. Dostupné na <http://www.hornictvi.info/cteni/montan.htm> [cit. 1.2.2016]
- [13] AGRICOLA, G. *De re metallica XII* (slov. Překl. Petr, K., Petrová, M.). Ostrava: Montanex, a.s., 2006. ISBN 80-7228-218-6.
- [14] TOMÁŠEK, K. Zlato a stříbro na Slovensku. *Hutnické listy*, 68 (2015) 1, 52-53. ISSN 0018-8069.
- [15] MASLENICKIJ, I.N., ČUGAJEV, L.V., BORBAT, V.F., NIKITIN, M.V., STRÍŽKO, L.S. *Metallurgija blagorodnych metalov*. Moskva: Metallurgija, 1987.
- [16] VOTOČEK, E., HEYROVSKÝ, J. *Chemie anorganická*, 4. vyd., 1. díl, s. 656, 2. díl, s. 657-1000. Praha: Česká chemická společnost pro vědu a průmysl, 1944.

Na veletrhu Tube startuje nový E-business portál

Stahl Aktuell

23.02.2016

Výrobce ocelových trubek Vallourec představil na odvětvovém vedoucím veletrhu Tube v Düsseldorfu v dubnu svůj nový E-business portál iTube. Cílem je podpora procesu digitalizace. Nový portál je přístupný pod adresou www.itubeportal.de. Obsahuje informace, nástroje, jakož i nový internetový obchod s ocelovými trubkami. Navíc nabídne digitální lexikon s odbornými výrazy pro téma ocelové trubky, jakož i praktické výpočtové nástroje pro různá použití trubek.

Železiarstvo v údolí Hrona a Coburgovci

doc. Ing. Gabriel Kunhalmi, CSc.

Slovenská železná cesta, Hlavná 88, 042 01 Košice, Slovenská republika

Územie Slovenska je veľmi bohaté na históriu baníctva a hutníctva. Bolo to dané množstvom rúd viacerých kovov, ich ťažbou a spracovaním – výrobou kovov až po mincovníctvo. Jedna z najvýznamnejších odkazov na túto minulosť je založenie prvej školy technického zamerania s vysokoškolským charakterom – Baníckej akadémie v Banskej Štiavnici v roku 1762. Jednou z oblastí, kde baníctvo a zhutňovanie, hlavne železiarstvo bolo rozvinuté, bolo údolie Hrona.

1. Železiarstvo na Pohroní

Údolie Hrona bolo bohaté nie iba na rudy, ale boli tu aj lesy s veľkými lesnými porastami a teda bolo k dispozícii drevo, potrebné pre bane i zhotovenie dreveného uhlia – redukovačla pri železiarskych procesoch. Prvý hámor, ktorý tam fungoval bol v 40. rokoch 14. storočia. K rozvoju železiarstva prispeli aj turecké nájazdy a potreba zbraní a munície. Miesta železiarstva v tej dobe sú vyznačené na obr. 1. Okrem Pohronia sú na mape označené aj miesta železiarstva na Gemeri.



Obr. 1 Mapa miest železiarstva v oblasti Pohronia a Gemera [1]

Pri ústí Čierneho Hrona traja poddaní Zvolenskej stolice získali povolenie na ťaženie železnej rudy a postavenie hámora. V r. 1580 oba závody prevzala Bansko-bystrická komora [1]. Táto železiareň, ktorá pozostávala zo 4 pecí a 4 hámorov a v 17. stor. vyrobila 110 t železa ročne. Prvá pec bola uvedená do prevádzky J. M. Fritshom v r. 1740, ktorý študoval stavbu pecí na Morave. V Hronci vyrábali muníciu a odliatky – kachlice, diely vodostlpcového stroja Jozefa Karola Hella. Od r. 1870 železiareň v Hronci dodávala železo do Sliezska, dva sklady boli v Opave a Ostrave. Od r. 1786 Hronec bol súčasťou železiarní Štátnej pokladnice Maďarska. Blízko Hronca boli hámre aj v Piesku, Lopeji, Vajskovej, Jesennom, Bystrej a Chva-timechu. V r. 1788 začala

v Hronci pracovať druhá pec a vďaka tomu produkcia vzrástla na 620 t/r.

V Hronci zhotovili po prvý krát dva liate mosty v Uhorsku v r. 1810 a 1813. Časť prvého mosta je tam vystavená ako priemyselná pamiatka (obr. 2). V 19. storočí Hronec bol hlavným miestom odlievania umeleckých odliatkov (malé plastiky, kalichy apod.). V r. 1814 tu začala pracovať prvá valcovňa v Uhorsku [3].



Obr. 2 Segment prvého liateho mosta z r. 1810 vystavený v Hronci

V Chvatimechu v r. 1794 začala pracovať prvá skujňovacia vyhňa. V r. 1833 bol závod pripojený ku železiarni Hronec ako Karlova huta a boli tu v prevádzke tri vysoké pece a hámre poháňané vodným kolesom. V r. 1839 bola v prevádzke prvá rafinančná stieracia pudlovacia pec v Uhorsku. Výroba v Hronci v r. 1850 bola ukončená.

V r. 1842 v Osrbli a 5 rokov neskôr v Piesku bola v prevádzke väčšia valcovacia trať na tyče, klinec [5]. Tiež Michalová, Tisovec, Ľubietová, Moštenica, Banská Bystrica Kostiviarska patrili ku komplexu štátnej pokladnice Hronec.



Obr. 3 Vysoká pec Tri Vody

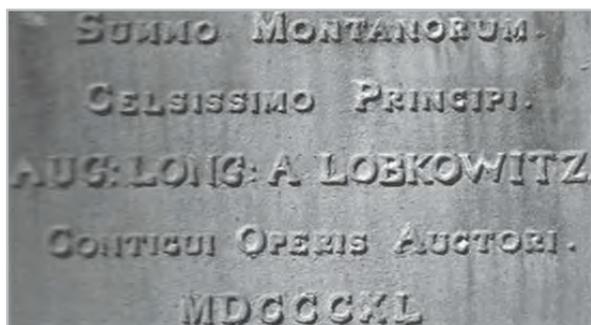
Vysoká pec v Bujakove (obr. 3), či presnejšie na lokalite Tri Vody bola postavená blízko Osrbli. Ako redukovačlo sa používalo aj surové drevo. Bola tu v prevádzke aj valcovňa do 90. rokov 19. storočia. Prevádzka pece bola zastavená pre nedostatok paliva

r. 1882. Vysoká pec na troch Vodách je v súčasnej dobe rekonštruovaná, pri nej stojí informačná tabuľa, na ktorej je výkres pece v reze s popisom pece a jej histórie. V r. 1861 - 1863 bola postavená nová šachtová pec a ročná produkcia prevádzky stúpila na 4 000 t.

Pretože v blízkosti sa nachádzalo rudné ložisko bola pec využívaná na plnú kapacitu, ale pre ekonomickú krízu výroba v šachtovej peci bola zastavená. Zlieváreň bola pritom naďalej v prevádzke. Výrobky boli stroje, vodovodné odliatky, rúry asi $2\,700\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$. Hámor a píla pracovali tu tiež. V r. 1884 vyrábali kuchynský riad a smaltované výrobky, v lisovni v r. 1893 bolo vyrobených 1 083 t smaltovaného tovaru a 242 t iného tovaru [2]. V r. 1901 zlieváreň a výrobňa kuchynského riadu so smaltovaním boli predané firme Bartelmus a tým sa ukončila éra železiarne v Hronci [3].

Podbrezová

V 19. stor. sa rozbehla v Uhorsku výstavba železníc a tým produkcia koľajníc. Na východ od obce Lopej na pravom brehu rieky Hron v Podbrezovej r. 1839 komisia v zložení G. Schweizer, M. Glanzer a knieža Lobkowitz (obr. 4) navrhla výstavbu valcovne a jej presného umiestnenie. Po smrti kniežaťa Lobkowitza stavba valcovne bola prerušená do r. 1846 a jej ďalšiu výstavbu riadila správa v Hronci. V r. 1848 bola výstavba zase prerušená a pokračovalo sa v nej v r. 1849. Dňa 10. septembra 1851 sa slávnostne začala prevádzka pudlovacích pecí. Spolu tu bolo deväť dvojitéch pudlovacích pecí na drevo. Otočnú pudlovaciu pec vykurovanú drevom so Siemensovým regenerátorom navrhol v 70. rokoch 18. stor. M. Glanzer. Roku 1853 bola dokončená výstavba valcovne na koľajnice, plech a tyčové železo.

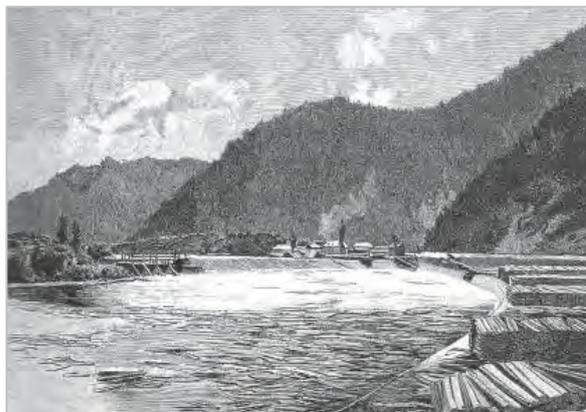


Obr. 4 Pamätná tabuľa k návšteve kniežaťa Lobkowitza v Podbrezovej [2]

Drevo z blízkych lesov bolo dopravované splavovaním a bolo dobrou energetickou surovinou (obr. 5). Tu sa valcovali koľajnice, tyče, profilová oceľ, oceľ a aj kováčňa. Veľkou investíciou medzi rokmi 1880 - 1885 začala výroba nového výrobku rúr. Táto prevádzka bola čelnou železiarňou v Uhorsku [9].

Železiarne Podbrezová (ŽELPO), ktoré aj dnes vyrábajú rúry výbornej kvality, je jedna z mála spoločností, ktoré sú vo vlastníctve Slováka. Je to zásluha jej generálneho riaditeľa Vladimíra Sotáka a jeho spolupracovníkov. Začiatkom r. 2004 bol jeden z najstarších hutníckych podnikov v strednej Európe, v ktorom pracovalo viac ako

4 000 zamestnancov. Ročná produkcia je viac ako 200 000 t. Výrobky sú známe v mnohých štátoch na celom svete, medzi nimi v Egypte, Fínsku, Francúzsku, Holandsku, Japonsku (obr. 6).



Obr. 5 Splavovanie dreva na Hrone koncom 19. stor.



Obr. 6 Pohľad na areál ŽELPO [2]

2. Železiarne Coburgovcov

Pohorelá

O hámroch na hornom toku Hrona sú písomné podklady už od 16. stor., pec a hámor začali pracovať v Pohorelej r. 1782. V r. 1792 Martin Sturman so šiestimi partnermi a barónom Františkom Kohárom založili spoločnosť a v Červenej Skale postavili drevenouhoľnú vysokú pec a dva finery hamory. Po šiestich rokoch Koháry kúpil zbankrotovaný podnik a v r. 1821 v Pohorelej uviedol do prevádzky ohňový hámor. Vlastníctvo získala Mária Antony Gabriela Koháry, ktorá sa vydala za nemecké knieža Ferdinanda Saského Coburg-Gothu (1785 - 1851). Odvtedy začal veľký rozvoj železiarstva v tejto oblasti.

Kniežaťove železiarne sa rozšírili v ďalšej dekáde do oblasti riek Hnilec, Hornád a Slaná a rozvinuli sa v najlepšie železiarne v Uhorsku. V Švábolke (teraz Valkovňa) v r. 1834 so siedmimi valcovacími traťami bola ďalšia valcovňa po Hronci. Druhá najstaršia valcovňa bola poháňaná vodným kolesom. Závod v Švábolke bol vo vlastníctve Coloreda Mitrovského. Po ňom vlastnil závod Koháry František a po jeho smrti v r. 1826 ho kúpil knieža Ferdinand Coburg [1]. Priči-

nením Karola Heyssela sa tento závod stal najmodernejšou valcovňou v krajine. Plechy, tyče a železničné koľajnice boli valcované v Zlatne. Päť rokov po smrti Ferdinanda Coburga od r. 1851 jeho syn August pokračoval v rozvoji železiarstva. Osada, kde sa nachádzala valcovňa, bola pomenovaná ako Augustove železiarne, neskôr jej oficiálny názov je dodnes Pohorelská Maša. Tu spolu s kaštieľom bolo stredisko kniežacích baní a železiarní. V r. 1853 nová valcovňa bola uvedená do prevádzky v Nižnej Švábolke [4]. Finery hámory boli vymenené za ohňové hámory), ktoré boli ekonomickejšie po všetkých stránkach. M. Šarudyová ich uvádza ako Comté – vyhne, napr. [6], s. 185. Bola to klasická skujňovacia vyhňa s určitými konštrukčnými úpravami, ktoré zlepšovali tepelnú bilanciu; výraz by sa mohol preložiť ako Comte – type finery hámorov.

V r. 1871 Augustín Coburg zhotovil v Sirku – Červeňanoch drevenouholnú vysokú pec, ktorá stála v kolónii. Pri peci stojí informačná tabuľa. Profil pece je logom združenia *Slovenská železná cesta*. Dve vysoké pece boli prenajaté v Dobšinej a Stratenej (obr. 7).



Obr. 7 Železiarne v Stratenej s vysokou pecou z konca 19. storočia [9]

Pohorelá bola základným podnikom Coburgových železiarní. V r. 1892 boli postavené Siemens-Martinské pece, jedna bola 4 t a jedna 8 t. Bol to dôležitý pokrok v komplexe Coburgových železiarní. Počas tohto obdobia bola rekonštruovaná väčšina rafinačných hámrov. V r. 1869 všetky Coburgove železiarne produkovali ročne asi 10 000 t ocele a boli druhé najväčšie v Uhorsku. Boli to štyri železiarne, z nich dve spolupracovali s desiatkami iných. V r. 1879 tam pracovalo 537 robotníkov a produkcia dosiahla ekonomicky 315 324 zlatých. V r. 1880 – 1881 produkcia Coburgových železiarní poklesla s výrobou 9 000 t na pätinu a ich podiel na celkovej produkcii krajiny bol iba 8,5 % [10].

Na konci 19. stor. železiarne šľachty boli zrušené v súvislosti s ťažkou situáciou počas 1. svet. vojny. V r. 1933 prevádzka železiarne v Pohorelej bola zastavená. Ich zakladateľ Ferdinand Saský Coburg-Gotha získal v tom čase od Koháryho kaštieľ vo Sv. Antone, blízko Banskej Štiavnice.

Traja potomkovia Ferdinanda Coburga boli panovníkmi Bulharska. Jeho vnuk, ktorý bol nositeľom mena Ferdinand (1861 – 1948), bol zvolený Národným zhromažde-

ním Bulharska za panovníka tohto štátu. Po získaní úplnej samostatnosti Bulharska 5. októbra 1908 sa stal bulharským cárom s menom Ferdinand I. S ohľadom na porážku Bulharska v I. svet. vojne 3. októbra 1918 zriekol sa trónu v prospech svojho syna Borisa (1894 – 1943). Nakoniec opustil svoju domácu krajinu a žil na svojom statku až do svojej smrti [7, 10]. Vnuk zakladateľa Pohorelskej železiarne Simeon Saský Gothacoburg v júni r. 2014 navštívil Pohorelskú Mašu (obr. 8).



Obr. 8 Simeon Coburg so svojou manželkou na návšteve Pohorelskej Maše (foto G. Kunhalmi)

Tu sa uskutočnil rozhovor s predstaviteľom združenia *Slovenská železná cesta* o aktivitách v Strednej Európe. Bola spomenutá možnosť a príležitosť na návštevu bývalých Coburgovských železiarní a spomienku na ich slávnú minulosť v rámci Festivalu železiarstva, alebo organizovaním tzv. Coburgových dní, podobných ako je Andrásyho deň v Rožňave alebo Fazolove dni v Miskolci (Maďarsko).

Pod'akovanie.

Autor Gabriel Kunhalmi vyslovuje pod'akovanie Lengyelne Kiss Katalin z Maďarska za doplnenie niektorých častí príspevku a čiastočnú úpravu príspevku.

Literatúra

- [1] FEČKOVÁ, P., MORAVČÍKOVÁ, E., MIHOK, E., PETRÍK, J., ROTH, P. Hutnícke podniky rodiny Coburgovcov na Slovensku. *Archeologica technica*, 17 (1996), 120-126.
- [2] TURČAN, L. (edit.) *Železiarne Podbrezová 170 ročné*. Košice: Tibor Turčan – Banská agentúra, 2010.
- [3] KOVÁCS, L. Szemelvényekkohászatunkmultjából Rhónic. *BKL Kohászat*, 5 (2010) 65-66
- [4] KOVÁCS, L. Szemelvényekkohászatunkmultjából Pohorela. *BKL Kohászat*, 12 (2010) 64.
- [5] GRESCHNER, J. *150 rokov železiarní v Podbrezovej*. Martin: Osveta, 1990.
- [6] ŠARUDYOVÁ, M. *Topografia železiarní na Slovensku v 19. storočí*. Košice: Vsl. Vydavateľstvo, 1989.
- [7] FEČKOVÁ, P., MIHOK, E., PETRÍK, J., ROTH, P. Augustova huta – jeden z najvýznamnejších závodov Coburgových železiarskeho komplexu. *Archeological technical*, 19 (2011), 32-38.
- [8] GJURVOV, A. Évszázadokoroksege, A magyaroknyoma bolgárfoldon. Sófia: Magyar Kultúr Intézet, Gutenbergkiadó, 2013.
- [9] Kol. autorů. *Dejiny hutníctva na Slovensku* (History of Metallurgy in Slovakia). Košice: Turčan T., Tibor Turčan – Banská agentúra, 2005.
- [10] HOLEC, R. *Coburgovci a Slovensko*. Bratislava: Kaligram, 2010.

Společenská kronika

Odišiel Dr.h.c. prof. Ing. Jaroslav Kocich, PhD.

Dňa 19.1.2016 zomrel významný vedec, vysokoškolský učiteľ a bývalý dekan Hutníckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach Dr.h.c. prof. Ing. Jaroslav Kocich, PhD. Narodil sa dňa 1.4.1930 vo Frýdku-Místku, kde aj prežil svoju mladosť. Po maturite na ostravskej Vyššej priemyselnej škole strojníckej a ročnej konštruktárskej praxi vo Vítkovických železiarňach sa zapísal na Hutnícku fakultu Vysokej školy banskej v Ostrave. Po jej úspešnom ukončení v roku 1953 nastúpil ako asistent na Hutnícku fakultu novozaloženej Vysokej školy technickej – terajšej Technickej univerzity v Košiciach. V roku 1962 sa habilitoval na docenta. Vo svojich 42 rokoch sa stal mimoriadnym a vo 49 rokoch riadnym profesorom v odbore korózie kovov. Svoje organizačné a riadiace schopnosti zúročil ako zástupca vedúceho Katedry náuky o kovoch, ako prodekan a v rokoch 1962 – 1966 a ďalej v rokoch 1973 – 1982 ako dekan fakulty.

V tom čase ako mladý asistent sa stal zakladateľom výučby a výskumu v oblasti korózie na Hutníckej fakulte. Už vo svojej kandidátskej práci, ktorou zakončil vedeckú aspirantúru, sa venoval problematike korózneho únavy materiálov vrtných tyčí pre hlbinnú ťažbu a geologický prieskum. Do výskumu korózneho únavy, neskôr problematiky ocelí typu Corten a ďalších aktuálnych tém, pritiahol mladších spolupracovníkov z pracoviska i praxe. Založil košickú vedeckú školu korózie a vychoval v nej 15 kandidátov vied. Bol riešiteľom a zodpovedným riešiteľom množstva vedecko-výskumných úloh, z ktorých boli mnohé riešené v medzinárodnej spolupráci. Z výsledkov svojej bohatej vedeckej činnosti publikoval viac ako 200 pôvodných vedeckých prác, vydaných v domácich a zahraničných časopisoch a prezentovaných na domácich a zahraničných konferenciách. Mimoriadne boli oceňované výsledky jeho spolupráce s priemyselnou sférou v oblasti plynárenstva, energetiky, hutníctva, chemického priemyslu a strojárstva. Slovenskou akadémiou vied bol ocenený Zlatou medailou Auréla Stodolu. Vrcholným uznaním jeho zásluh o rozvoj vedy bolo udelenie čestného titulu Doctor honoris causa v roku 2002.



Pedagogické pôsobenie profesora Kocicha sa neobmedzovalo len na fakultu košickej techniky, ale opakovane prednášal i v Nemecku na Bergakademie Freiberg. Koróznou gramotnosť pomáhal šíriť svojou činnosťou vo vedecko-technických spoločnostiach. Z tohto pohľadu je významné jeho pôsobenie vo funkcii predsedu celoštátnej Odbornej skupiny korózie a povrchovej úpravy pri Slovenskej strojárnej spoločnosti. Do vysokého veku bol garantom medzinárodných vedeckých konferencií Korózia úložných zariadení a Korózia v energetike, striedajúcich sa a usporiadaných v dvojročných cykloch. Vysoko boli cenené ním vedené odborné kurzy

korózie v rámci celoživotného vzdelávania pracovníkov plynárenstva a energetiky.

Dr.h.c. prof. Ing. Jaroslav Kocich, PhD. sa do poslednej chvíle snažil podeliť o svoje vedomosti a skúsenosti s pracovníkmi a študentmi Hutníckej fakulty ako emeritný profesor. Bol však známy nielen ako významný vedec, učiteľ, riadiaci pracovník vo funkciách zástupcu vedúceho katedry, prodekana a viacnásobného dekana Hutníckej fakulty, ale v neposlednom rade aj ako človek so zmyslom pre láskavý humor. Bol príjemný spoločník, do vysokého veku nadšený cyklista, filatelist, zanietenec genealógie a zanietený pisateľ rôznych spomienok zo súkromia a historických traktátov o Hutníckej fakulte. Jeho srdce sa navždy zastavilo vo veku nedávno dožitých 86 rokov. Jeho spomienky, rady, názory a odporúčania budú navždy chýbať všetkým, ktorí ho poznali.

Češť jeho pamiatke.

Zdar Boh!

Doc. Ing. Iveta Vasková, PhD.

dekanka Hutníckej fakulty TU v Košiciach

Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D. oslavil své životní jubileum

Životní jubilea bývají důvodem k ohlédnutím a rekapitulacím. Na své osudové milníky vzpomíná také jednatel a výkonný ředitel společnosti *MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.* Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D., který oslavil 2. května 2016 své šedesáté narozeniny. Většinu svého profesního život má Ing. Pindor spojenou právě s hutnictvím a výzkumem. Vyrostl v hutnické rodině, a tak při rozhodování, čím by chtěl v životě být, ani chvíli nezaváhal. Přece hutníkem stejně jako otec a dědeček. „Nedávno jsem objevil osobní složku svého dědy.



Nastoupil do Třineckých železáren už v roce 1915, vloni bylo stoleté výročí, kdy rod Pindorů začal pracovat v železárnách," vzpomíná Ing. Pindor. A tak Jaroslav vystudoval hutní průmyslovku ve Frýdku-Místku, posléze absolvoval Hutnickou fakultu VŠB v Ostravě. Od roku 1981 pracoval jako dělník, předák a technolog v Třineckých železárnách, po dvanácti letech se stal vedoucím oddělení Výzkum a správa průmyslového majetku. Podstatný okamžik jeho profesní dráhy přišel v roce 2007, kdy se stal jednatelem a výkonným ředitelem společnosti *MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.* „Vážím si toho, že jsem dostal příležitost nastoupit do vedení výzkumné společnosti se špičkovými odborníky, bral jsem to jako svou velkou osobní i pracovní výzvu," říká oslavenec. Nejvíce si cení toho, že se podařilo zařadit *MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.* mezi výzkumné instituce, které splňují statut „Výzkumné organizace“ dle legislativy EU a v rámci projektu Regionální materiálově technologické výzkumné centrum, který řeší spolu s VŠB–TU Ostrava, dovybavit laboratoře špičkovými přístroji a zařízeními.

Kapitola profesních zkušeností je v životopise Ing. Pindora skutečně rozsáhlá. Je členem Správní rady projektu Regionální materiálově technologické výzkumné centrum – program udržitelnosti, který řeší společně s VŠB–TU Ostrava, členem předsednictva Asociace výzkumných organizací, místopředsdou České hutnické společnosti, zpravodajem výzkumných programů na Technologické agentuře České republiky a také členem Rady pro inovace Moravskoslezského kraje. Co mu tyto funkce mimo časového vytížení přinášejí? „Pomáhají mi navazovat kontakty mezi lidmi v oboru, získávat nové informace z branže a oblasti výzkumu a vývoje, to všechno pak mohu využít ve své práci pro výzkumný ústav," říká Ing. Pindor.

Ještě jako vysokoškolskému studentovi se mu dostal do rukou časopis *Hutnické listy*, ve kterém hledal často inspiraci pro své seminární práce, časem do něho i sám

autorsky přispíval. V osmdesátých letech se dozvěděl, že vydávání *Hutnických listů* je ohroženo. „Často si vzpomenu na pana profesora Zdeňka Bůžka, který dlouhodobě působil v redakční radě časopisu. Vždycky, když jsme se potkali, říkal: Jaroslave, zachraňte *Hutnické listy*. Bohužel se toho nedožil, ale vím, že by měl ze záchranu časopisu obrovskou radost."

Nejen slib váženému profesorovi, ale také hutnická stavovská čest vedly k tomu, že se Ing. Pindor spolu se

třemi kolegy z oboru profesory Ludovítem Dobrovským, Karlem Matochou a docentem Jiřím Cienalou rozhodl vydávání *Hutnických listů* zachránit. „Ani jsem tenkrát netušil, jaká anabáze nás všechny čeká. Nejméně rok jsme obíhali řadu společností z oboru s výzvou, zda se neujmou vydávání časopisu. Když se to nepodařilo, rozhodli jsme s kolegy odkoupit společnost *OCELOT*, která *Hutnické listy* vydávala a pokračovat v její činnosti. Těší mne, že díky skutečně profesnímu a trpělivému přístupu a nasazení redakčního týmu se podařilo *Hutnické listy* nejen vzkřísit, ale zároveň dostat mezi renomované recenzované odborné časopisy, které mají v republice svůj zvuk. Jediné, co ještě máme před sebou, je zařazení *Hutnických listů* mezi časopisy s impaktem, podstatné kroky jsme k tomu už podnikli a já věřím, že i tento úkol se nám podaří v blízké době zvládnout," dodává Ing. Pindor.

Říká se, že člověk je šťastný, když se mu daří profesně, má spokojenou rodinu, řadu přátel, kamarádů a zajímavé koníčky. Ing. Pindor je pyšný na své dva syny, starší jde v jeho šlépějích a pracuje ve stejném výzkumném oddělení jako před časem jeho otec. Je tak už čtvrtou generací Pindorů ve Třineckých železárnách. S manželkou si před sedmi lety postavili rodinný domek v krásném prostředí Těšínských Beskyd. „Při práci na zahradě si vždy dokonale vyčistím hlavu od všech pracovních úkolů a řeším vědecké úkoly úplně jiného zaměření, třeba jak zbavit trávník od všech pampelišek a vypěstovat co největší fialové brambory," usmívá se Ing. Pindor. A v zimě se věnuje svému celoživotnímu koníčku, sbírání československých a českých známek. Má jich v několika albech přes deset tisíc, na jejich pečlivé roztřídění prý ale bude mít čas až v důchodu. Zatím má Ing. Pindor v hlavě spíše pracovní plány. „Moc bych si přál, aby se v České republice změnila k lepšímu podmínky pro aplikovaný výzkum a vývoj, který by se měl znovu dostat v hutních, strojírenských a energetických firmách na prestižní místo stejně jako v západní Evropě. Vždyť bez výzkumu a vývoje nejde udržet konkurenceschopnost," říká na závěr povídání Ing. Pindor.

Mgr. Šárka Seidlerová

Výstavy, veletrhy, konference

„Teorie a praxe výroby a zpracování oceli“ v Beskydech

Ve dnech 31. března až 1. dubna 2016 se konala ve Wellness Hotelu Energetic v Rožnově pod Radhoštěm tradiční, již 32. celostátní konference s mezinárodní účastí s názvem „Teorie a praxe výroby a zpracování oceli“.

Konference se zúčastnilo celkem 78 odborníků, z toho 8 účastníků ze Slovenské republiky a 3 z Polska. Přítomní odborníci byli celkem z 26 podniků a organizací, 4 vysokých škol a 4 výzkumných ústavů. Celkem bylo předneseno 18 odborných referátů.

V úvodu byly předneseny dvě vyžádané přednášky zástupci následujících organizací:

- Hutnictví železa a.s.
- Ministerstvo průmyslu a obchodu

Další přihlášené přednášky se zabývaly hlavně těmito tématy:

- technologiemi primárních výrob oceli
- plynulým odléváním oceli
- sekundární metalurgií
- odléváním ingotů



Plénum konference

Dalšími prezentovanými oblastmi úzce navazujícími na primární výrobu a zpracování oceli byly:

- vnitřní čistota a kvalita oceli
- fyzikální a numerické modelování procesů
- struskové režimy při výrobě a aplikace nových struskotvorných směsí
- využití žárovzdorných materiálů
- nákladovosti výroby, řízení výroby a optimalizace procesů

Mnohé z přednesených témat prezentovaly výsledky projektů podporovaných z operačních programů vědy a výzkumu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR, Technologické agentury ČR a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR. Přednášky byly doprovázeny bohatou a zasvěcenou diskusí, která probíhala i v rámci společenského setkání.



Pracovní předsednictvo konference

Organizační výbor konference

Tmk-Artrom objednává linku na tepelné zpracování

Stahl Aktuell

25.02.2016

Rumunský výrobce trubek Tmk-Artrom zadal zakázku německému staviteli zařízení SMS Group, aby v lokalitě Slatina zřídil novou linku na tepelné zpracování. Finanční podrobnosti nebyly uvedeny. Zařízení bude sloužit jak k výrobě bezešvých a OCTG trubek, tak také vysokopevných trubek. Výrobní kapacita leží v rozsahu 160 Kt ročně a měla by být zprovozněna ve druhém čtvrtletí 2017.

Historický seriál

Stručne o metalurgii hliníka na Slovensku – 1. diel

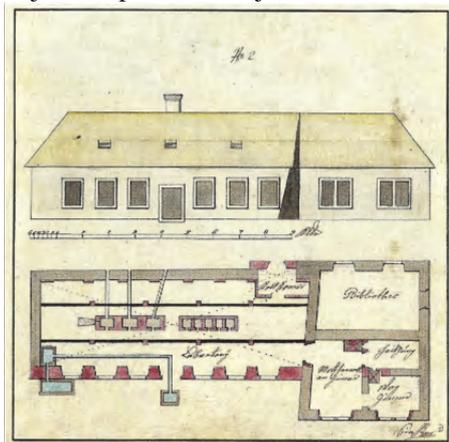
(Zaniknuté hutnícke technológie na Slovensku – 10. časť)

História výroby hliníka na Slovensku má medzi ostatnými kovmi osobité postavenie, pretože ide o jediný neželezný kov, ktorý sa na Slovensku vyrába z primárnych surovín v svetovo významnom množstve a jednou z najpokročilejších technológií. História jeho výroby je krátka a má dramatické momenty, ktoré súviseli s intenzívnou novodobou industrializáciou Slovenska v 20. storočí a s hospodárskym embargom na strategické kovy v čase studenej vojny. Samotné objavenie, izolácia a prvotná výroba hliníka mali zaujímavý priebeh, a to vďaka jeho vysokej afinite ku kyslíku a termodynamickej stabilite oxidu hlinitého a hlinitých solí, ktoré pre redukciu, resp. rozklad vyžadujú mimoriadny energetický vklad. Hoci ide o najrozšírenejší kov v zemskej kôre, jeho izolácia bola práve pre stabilitu jeho zlúčenín mimoriadne obtiažná a dlho neúspešná.

O objav hliníka sa pokúsil profesor metalurgie na Banskej akadémii v Banskej Štiavnici Anton Leopold Ruprecht, rodák zo Smolníckej Huty na východnom Slovensku, po roku 1785 (obr. 1). Jeho redukcia v prírode rozšíreného kamenca – aluminu uhlíkom, ktorú vykonával v novom chemickom laboratóriu v Belházyovskom dome v Banskej Štiavnici (obr. 2), však bola neúspešná a podarilo sa mu pravdepodobne „vyrobiť“ karbid hliníka. Ruprecht tak bol veľmi blízko objavu hliníka, ale aj iných kovov, využívajúc moderné oxido-redukčné postupy nastupujúcej chemickej vedy. V roku 1807 H. Davy, ktorý rozkladal rôzne zlúčeniny kovov pomocou Voltovho článku ako zdroja elektrickej energie, postupne objavil sodík, draslík, vápnik, bárium a stroncium. Avšak hliník sa mu objaviť nepodarilo. Objav hliníka ohlásil Christian Oersted v roku 1825, ktorý redukoval chlorid hlinitý pomocou draselného amalgámu. V roku 1827 Friedrich Wöhler získal hliník vo forme prášku a až v roku 1845 získal 15 mg hliníka vo forme guľôčiek, z ktorých bolo možné stanoviť jeho fyzikálno-chemické vlastnosti. Preto je až Wöhler považovaný za objaviteľa hliníka.



Obr. 1 Anton Leopold Ruprecht von Eggenberg (*1748 Smolnícka Huta - †1814 Viedeň)¹



Obr. 2 Plán nového chemického laboratória v Belházyovskom dome²

Avšak prehistória hliníka je oveľa staršia ako z doby 18. a 19. storočia. Gaius Plinius st. (23 – 79 n.l.) opisuje v encyklopédii *Historia Naturalis* túto príhodu: „Jedného dňa bolo zlatníkovi z Ríma dovolené predstúpiť pred cisára Tiberia, aby mu ukázal podnos z nového kovu. Bol veľmi ľahký a jasný ako zo striebra. Zlatník povedal cisárovi, že je z kovu, ktorý vyrobil z obyčajnej hliny, a vyhlásil, že tento postup ovláda len on a Boh. Cisára ako znalca financií to zaujalo a znepokojilo. Pomyslel si, že hodnota jeho zlata a striebra v pokladniciach klesne, ak ľudia začnú vyrábať tento jasný kov z obyčajnej hliny, a preto namiesto toho, aby zlatníkovi poskytol očakávanú odmenu nariadil sťat' mu hlavu.“

Na vykopávkach pohrebiska dynastie Tsin v Číne (265 – 316 n.l.) bola objavená zliatina hliníka s meďou s obsahom 85 % Al, 10 % Cu a 5 % Mn. Hliník bol teda známy už pred spomínaným objavom nemeckého chemika Wöhlera. Profesor Milan Malinovský v roku 1984 vyslovil názor, že na výrobu hliníka v staroveku použili Wöhlerovu metódu redukcie pomocou alkalických kovov. Je pravda, že alkalické kovy v tom čase ešte neboli objavené, ale mohli sa nachádzať v uzatvorených dutinách po sopečných explóziách.

¹ profesor chémie, metalurgie a mineralógie na Banskej akadémii v Banskej Štiavnici. Prekročil rámce alchýmie a realizoval chemický oxidačno-redukčný koncept výroby viacerých kovov. Od roku 1792 bol dvorským radcom Mincovníckej a banskej dvorskej komory vo Viedni. (Portrét z galérie komorských grófov a montanistických osobností Horného Uhorska v Slovenskom banskom múzeu v Banskej Štiavnici)

² (Banská Štiavnica 1785), v ktorom A. Ruprecht vykonával experimenty redukcie aluminu – kamenca ako aj viacerých dovtedy neznámych kovov, tzv. metalizáciou zemín

Počiatky priemyselnej výroby hliníka sa viažu k roku 1886, kedy nezávisle od seba patentoval Francúz Paul Héroult a Američan Charles Hall elektrolýzu oxidu hlinitého rozpusteného v sodnom kryolite. Zároveň v tom čase rakúsky chemik Karl Joseph Bayer vypracoval v Petrohrade metódu rozkladu bauxitu s cieľom získať Al_2O_3 pre výrobu hliníka. Bayerova metóda spracovania bauxitu a Hall Héroultova elektrolýza sú dodnes základnými procesmi akejkoľvek aj tej najmodernejšej výroby hliníka.

Medzi prvých výrobcov hliníka sa snažilo presadiť začiatkom 20. storočia aj Uhorsko. Zachoval sa odborný posudok profesora kovohutníctva z banskoštiavnickej akadémie Karola Fallera z roku 1912 (obr. 3).

Z posudzovaného návrhu sa dajú vypočítať kapacitné plány, ktoré predstavovali produkciu 2190 t Al ročne. S využitím hliníka sa uvažovalo najmä na dezoxidačné činidlá a na výrobu zliatin. 1. svetová vojna zabránila realizácii tohto projektu. V čase prvej Česko-slovenskej republiky sa možnosťou výroby hliníka na Slovensku zaoberala Československá zbrojovka a.s., ktorá plánovala vybudovať výrobu Al_2O_3 pri Leopoldove s kapacitou 10 000 t ročne a elektrolýtickú výrobu hliníka pri budovanej Vážskej kaskáde ako zdroja elektrickej energie. Ročná kapacita mala byť 3000 t elektrolýtického hliníka. Tieto nerealizované zámery obnovili počas 2. svetovej vojny v roku 1941 nemecké koncerny, ktoré plánovali vyrábať 10 000 t hliníka ročne pri Ladcoch, kde bol dostupný zdroj elektrickej energie ako aj blízke náleziská bauxitu (Mojtún, Pružiná a Domaniža). Zistené ťažiteľné zásoby bauxitu však boli ekonomicky nevýznamné a k realizácii tohto nemeckého zámeru nedošlo.



Obr. 3 Profesor Karol Faller, vedúci katedry hutníctva neželezných kovov na Banskej akadémii v Banskej Štiavnici až do svojej smrti v roku 1913. Vpravo od portrétu sú titulné strany jeho štvordielnej monografie o kovohutníctve vydané v Banskej Štiavnici v rokoch 1894 – 1913

Novodobá história výroby hliníka spojená s mestom Žiar nad Hronom sa začala písať v roku 1950 v časoch studenej vojny, kedy hliník bol označený za strategický kov vojenského významu. Motívy rozhodnutia o výrobe hliníka boli teda podobné ako v prípade niklu a kobaltu v Seredi a mangánu v Krompachoch. Bol tu však i aspekt sociálny, nakoľko v prípade hliníka išlo o to vybudovať veľký koncern s tisíckami pracovných miest a následnou industriálnou infraštruktúrou. Práve stredné Slovensko malo prebytok vzdelanej, resp. dostatočne školenej pracovnej sily. Pre výstavbu bolo vybrané široké údolie medzi mestečkom Svätý Kríž nad Hronom a obcou Horné Opatovce (obr. 4). Svätý Kríž nad Hronom bol premenovaný na Žiar nad Hronom 29. augusta 1953 pri príležitosti výročia SNP a výroby prvého hliníka v novo vybudovanom závode.

V januári 1951 bol vo Svätom Kríži nad Hronom založený národný podnik Kovohuty Hron, ktorý bol poverený výstavbou hlinikárne a budúcou výrobou hliníka. Technologický koncept bol založený na spracovaní maďarských bauxitov pre výrobu Al_2O_3 a následnej, vtedy modernej Söderbergovej elektrolýze hliníka. Výrobná kapacita bola 100 000 t oxidu hlinitého a 50 000 t hliníka ročne, čo bolo v tom čase európsky významné množstvo. Pri projekcii prebiehala úzka a všestranná spolupráca s Maďarskom najmä v technologickej oblasti spracovania bauxitu, ale aj elektrolýzy. Typické parametre maďarského bauxitu z bane Halimba boli: 48 % Al_2O_3 , 9,6 % SiO_2 , 23 % Fe_2O_3 , 0,9 % CaO, 2,4 % TiO_2 , 13,6 % strata žíhaním, 5,0 kremíkový modul. Vzhľadom na chemické zloženie, predstavujúce nižšiu kvalitu bauxitu, nebolo možné použiť Bayerovu metódu ani kombinovanú metódu výroby Al_2O_3 . Napokon bola vyvinutá a inštalovaná jedinečná špekacia metóda získavania Al_2O_3 , dovtedy predurčená pre výrobu Al_2O_3 z nefelínov a iných nebauxitických surovín.



Obr. 4 Začiatok výstavby hlinikárne v Svätokrížskej (Žiarskej) kotline, Svätý Kríž nad Hronom 1951

Niektoré peripetie výstavby ako aj technologické aspekty výroby popíšeme nabudúce v 2. dieli zaujímavej a často dramatickej histórie zavádzania výroby hliníka na Slovensku.

Literatúra

- [1] KAFKA, R., ČAMBALOVÁ, L. *Z dejín výroby hliníka na Slovensku*. Martin: Neografia, 2001.
- [2] ČELKOVÁ, M., ČELKO, M., GRAUS, I. *Portréty komorských grófov a osobností baníctva a hutníctva na území Slovenska v 17. – 19. storočí*. ZHŤPG Bratislava, Banská agentúra Košice, 2007.
- [3] HERČKO, I.: *Banická akadémia slovom a obrazom*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2008.
- [4] ČÁRSKY, G., HERČKO I. A. L. *Ruprecht – a chemist, mineralogist, metallurgist and distinguished personality of the chemical revolution in 18th century*. Acta Metallurgica Slovaca, 21 (2015) 4.

GENERAČNÍ SETKÁNÍ

18.6.2016 / Areál VŠB-TUO



Je u vás rodinnou tradicí studovat na VŠB-TUO? Studoval dědeček/
babička, otec/matka, syn/dcera a třeba i vnoučata už objevují techniku?
Pak zveme právě vás.

Protože vy jste srdcem historie naší univerzity!

Zábavný program pro celou rodinu, grilování s vedením univerzity a jako
dárek Karta absolventa plná výhod pro vás zdarma!



Registrace na akci nutná.
Více na alumni.vsb.cz

alumni ABSOLVENTI
VŠB-TUO

