

ROČNÍK /VOL.
LXXVII ROK/YEAR
2024

1-3

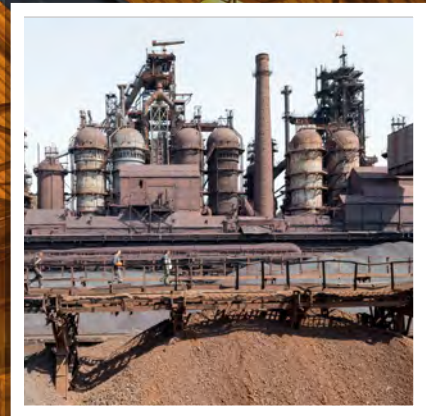


Hutnické listy

METALLURGICAL
JOURNAL

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

WWW.HUTNICKELISTY.CZ
ISSN 0018-8069





MODERN METALLURGY

IRON AND STEELMAKING 2024

The XXXI INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

Museum of Metallurgy, Metalowców 4a, 41-500 Chorzów, POLAND

25-27.09.2024

Silesian University of Technology, Faculty of Materials Engineering, Department of Metallurgy and Recycling

Technical University of Košice, Faculty of Materials, Metallurgy and Recycling

VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Materials Science and Technology

www.modernmetallurgy.polsl.pl

Registrační číslo / Registration Number

MK ČR E 18087

Mezinárodní standardní číslo / International Standard Serial Number

ISSN 0018-8069

Vydavatel / Publisher

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

prof. Ing. Jana Seidlerová, CSc.
tel.: +420 607 907 713
e-mail: zdislavajana@email.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.
Jelínkova 1379/13
721 00 Ostrava-Svinov

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 – Chairperson

prof. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.

TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Třinec, Česká republika

Členové / Members

Ing. Martin Balcar, Ph.D.
Ing. Pavol Beraxa, Ph.D.
Assoc. Prof. Dr. Christian Bernhard
prof. dr. hab. inž. Leszek Blacha
doc. Ing. Branislav Bul'ko, PhD.
prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
prof. dr. hab. inž. Henryk Dyja
Ing. Henryk Huczala
prof. Ing. František Kavička, CSc.
Dr. Ing. Zdeněk Kuboň
Ing. Ludvík Martínek, Ph.D.
doc. Ing. Josef Odehnal, Ph.D.
prof. dr. hab. inž. Mariola Saternus
prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
Mgr. Daniel Urban
Dr. Ing. Ladislav Válek

ŽĐAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
ŽP Výskumno-vývojové centrum s.r.o., Slovenská republika
Montanuniversitaet Leoben, Rakousko
Politechnika Śląska, Katowice, Polsko
Technical University in Košice, Slovenská republika
VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika
Politechnika Czechochowska, Czechochowa, Polsko
TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Třinec, Česká republika
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. Ostrava, Česká republika
ŽĐAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
CELSA Huta Ostrowiec, Polsko
Politechnika Śląska, Katowice, Polsko
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
Ocelářská unie a.s. Praha, Česká republika
LIBERTY OSTRAVA a.s., Česká republika

Vydavatel uplatňuje tzv. Zpožděný otevřený přístup. Po dobu 12 měsíců od vydání aktuálního čísla vydavatel na webových stránkách časopisu zveřejňuje pouze anotace jednotlivých článků, plné texty článků jsou zveřejněny na webových stránkách po roce.

Časopis vychází dvakrát ročně. Cena jednoho čísla je 200 Kč, roční předplatné tištěného vydání činí 400 Kč, studenti mají 20% slevu. 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. Objednávky na předplatné přijímá redakce nebo SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlíbku 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.

Etický kodex

Časopis Hutnické listy se při svém vydávání řídí etickým kodexem, který stanovuje pravidla pro publikaci příspěvků. To se týká jak posuzování autorských příspěvků, tak následného recenzního řízení. Jeho zněním jsou povinni se řídit autoři, recenzenti i redakce. (Celé znění etického kodexu je zveřejněno na www.hutnickelisty.cz)

© OCELOT s.r.o., 2024

Časopis je zařazen do databáze recenzovaných časopisů Publons.

The publisher applies the so-called delayed open access. For a period of 12 months from the publication of the current issue, the publisher publishes only the annotations of individual articles on the magazine's website; the full texts of the articles are published on the website after a year.

The journal is published twice a year. The price of one issue is 200 CZK, the annual subscription to the printed edition is 400 CZK, students have a 20% discount. Postage based on deliveries to each subscriber is added to the subscription. After agreement with foreign buyers, it is possible to set the price in Euro (€) as a total including postage. The subscription is automatically extended for another period if the subscriber does not cancel it in writing one month before the end of the subscription period. Subscription orders are accepted by the editors or SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlíbku 1800/77, hall A3, 193 00 Prague 9 - Horní Počernice, Czech Republic (+420 225 985 225, send@send.cz). Information on the conditions of publication, advertising, and advertising is provided by the editors.

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 distributed electronically without written permission of the publisher.

Ethical Code

The Hutnické listy (Metallurgical Journal) is governed by an ethical code that sets out rules for the publication of papers. This concerns both the assessment of author's papers and the subsequent peer-review process. The authors, reviewers, and editors must follow its wording. (The full text of the ethical code is published on our website www.hutnickelisty.cz)

© OCELOT s.r.o., 2024

The journal is included in the database of peer-reviewed journals Publons.

Obsah / Content

Hlavní články (recenzovaná část) / Principal Papers (Peer-reviewed Part)

Recenzované vědecké články / Peer-reviewed Scientific Papers

- doc. Ing. Zita Takáčová, PhD.; Ing. Jana Pirošková, PhD.; prof. Ing. Andrea Mišková, PhD.* 4
Rafinácia alkalického výluhu s vysokým obsahom zinku a jeho získavanie
Refining of Alkaline Leachate with High Zinc Content and its Recovery
- Ing. Josef Walek, Ph.D.; Ing. Adéla Odehnalová; Ing. Michal Sniegoň; Ing. Lucie Chudobová;
Ing. Jiří Cupek; Ing. František Vrána; Ing. Pavel Fila, Ph.D.; Ing. Martin Balcar, Ph.D.* 10
Studium termofyzikálních vlastností ocelí a strusek při zpracování technologií ESR
Study of the Thermophysical Properties of the Steel and Slags during ESR Technology Processing
- Ing. Bc. Jana Sviželová, Ph.D.; doc. Ing. Ladislav Socha, MBA, Ph.D.; Ing. Miloslav Roh; Martin Dvořák* 17
Úprava chlazení komponenty formy pro tlakové lití hliníku s využitím numerických simulací
Design of Aluminium HPDC Mold Component Cooling Using Numerical Simulations

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

- Ing. Jan Kander* 27
Determination of Actual Material Properties of Converter Vessel Using the SPT Method
Stanovení aktuálních materiálových vlastností nádoby konvertoru pomocí metody SPT
- Ing. Lubomír Mindoš* 32
Korozní zkoušky s akcelerovanou migrací VOC ve vrstvě organických povlaků
Corrosion Tests with Accelerated VOC Migration in a Layer of Organic Coatings

Informační články / Informative Articles

- prof. Ing. Jozef Vlček, Ph.D.* 36
Implementation of Circular Economy Principles into Industrial Practice
Implementace principů cirkulární ekonomiky do průmyslové výroby
- Ing. František Vrána; Ing. Adéla Odehnalová; Ing. Pavel Fila, Ph.D.; Ing. Martin Balcar, Ph.D.* 40
Zkušenosti z použití alitovaných elektrod na pánvové peci
Experiences in Using Alitivated Electrodes on a Ladle Furnace

<i>Ing. Gustav Chwistek; Ing. Irena Vlčková, Ph.D.; Ing. Petr Čechura</i>	44
Podpora vyučování technické normalizace na středních technických školách v ČR	
Support for the Teaching of Technical Standardization at Secondary Technical Schools in the Czech Republic	

Zprávy z Ocelářské unie a.s. Praha / Information of Steel Union

Jiří Dufek

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2022 a 2023	46
---	----

EUROPEAN GREEN DEAL

Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.

European Green Deal a cesty ve výrobě oceli	51
Green Deal	56
Nejúčinnější systém na výrobu vodíku	

Výstavy, veletrhy, konference / Exhibitions, Fairs, Conferences

Konference OCELÁŘI 2024 - Teorie a praxe výroby a zpracování oceli	60
Výstavu INVENT ARENA navštívil rekordní počet návštěvníků	61

Ze života škol / Information on Activities of Universities

Green Deal mění průmysl v EU a v MSK	62
Dílo Prométheus	63

Společenská kronika / Social Chronicle

Prof. Ing. Petr Jelínek, CSc., Dr.h.c.	64
--	----

Aktuality v hutnictví / Newsreel in Metallurgy	65
---	----

Obsah Hutnických listů 2023 / Content of the Metallurgical Journal 2023	69
--	----

Inzerce

- TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.
- ČESKÁ HUTNICKÁ SPOLEČNOST, z.s.

Recenzované vedecké články

Raфинácia alkalického výluhu s vysokým obsahom zinku a jeho získavanie

Refining of Alkaline Leachate with High Zinc Content and its Recovery

doc. Ing. Zita Takáčová, PhD.; Ing. Jana Pirošková, PhD.; prof. Ing. Andrea Miškufová, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie, Ústav recyklačných technológií, Letná 1/9, Košice – Sever, 04200, Slovenská republika

Práca sa venuje optimalizácii podmienok raфинácie zinkového výluhu z alkalického lúhovania EOP úletov v uhličitanom amónnom. Použitým raфинačným krokom je cementácia, ktorá predstavuje vysoko efektívnu a pritom jednoduchú metódu na odstránenie väčšiny prítomných kontaminantov, ako je železo, olovo, meď a ďalších. Kým obsah zinku v raфинovaných výluhoch sa pohyboval cca od 8-11 g·l⁻¹, obsah nečistôt bol na úrovni jednotiek až desiatok mg·l⁻¹. Na cementáciu sa vybral ako cementátor práškový hliník a zinok v pomere 1:1, pretože ich kombinácia sa predbežnými experimentami potvrdila ako najefektívnejšia. V práci sa realizovalo termodynamické štúdium prostredníctvom E-pH diagramov a ΔG^0 , ktorým sa potvrdila schodnosť navrhovaných experimentov cementácie pravdepodobne cestou vyzrážania uhličitanov predmetných kovov z výluhu alebo ich získania v elementárnej forme. V experimentoch sa sledoval vplyv navážky cementátorov (Al:Zn = 2,5:2,5 g·l⁻¹ respektíve 5:5 g·l⁻¹) a vplyv teploty 20-80 °C na účinnosť cementácie hlavných nečistôt. U všetkých sledovaných kontaminantov s výnimkou železa došlo k ich úplnému odstráneniu už pri t = 20 °C. Na 100 %-né odstránenie železa bola potrebná teplota 80 °C. Z raфинovaného výluhu sa následne získalo ZnO dostatočnej kvality (viac ako 96 %) na jeho použitie v elektrotechnike alebo v gumárenskom priemysle.

KLúčové slová: raфинácia; cementácia; kalcinácia; zinok; oxid zinočnatý

For the treatment of zinc-containing wastes such as electric arc furnace dust, alkaline leaching can be used in addition to acid leaching. In this case, the advantage of alkaline leaching agents is the mutual separation of Zn and Fe present. During alkaline leaching with (NH₄)₂CO₃ the zinc passes into the leachate, but most of Fe is concentrated in the insoluble residue. However, in addition to zinc and small amount of iron, a number of accompanying metals such as Pb, Cu, Cr, Mn and Cd are also extracted into the leachate. For this reason, the leachates need to be refined before further processing. The most common and most affordable method of refining is cementation where zinc is used as a cementing agent. For the purpose of high efficiency of contaminant removal, a combination of Zn and Al metal powder as cementing agents was chosen for refining experiments. In order to predict the cementation conditions, E-pH diagrams for the Me-Zn-Al-C-N systems (where Me = Fe, Pb, Cu) at 20 °C were constructed using HCS Chemistry 6.1. The diagrams show that by using Zn and Al as cementing agent iron can be removed from solution as FeCO₃ rather than as metallic Fe at the considered pH = 8-9. The thermodynamic study confirmed the probability of cementation of the accompanying metals by Zn and Al, where ΔG^0 of the expected reactions takes a negative value even at 20 °C. In the experiments, the effect of the weight of the cementing agents (Al:Zn = 2.5:2.5 g·l⁻¹ and 5:5 g·l⁻¹, respectively) and the effect of the temperature of 20-80 °C on the cementation efficiency of the main impurities were investigated. The results show that metals such as Pb and Cu can be removed with maximum efficiency at 20 °C, even at lower cementation weights. However, only 38.8 % of Fe is cemented under these conditions. The removal of Fe is influenced by the temperature, where the efficiency of iron cementation increased from 38.8 % at 20 °C to 80 % at 60 °C using Zn:Al = 2.5:2.5 g·l⁻¹. Complete Fe removal at lower cementation weights occurred at 80 °C. A temperature of 40-60 °C may be considered sufficient to remove 100 % Fe, Pb and Cu using a higher weight of cementing agents (Zn:Al = 5:5 g·l⁻¹ leachate). The refined leachate was subsequently crystallized and the intermediate was calcined at 900 °C for 4 h. The Zn content of the produced ZnO ranges from 74.5 to 77.7 %, corresponding to 93.03-96.67 % of ZnO. ZnO with the highest purity was obtained from the leachate after cementation with Zn:Al = 5:5 g·l⁻¹ at 60 °C. The obtained ZnO can theoretically be used in the rubber industry because it achieves the required parameters of zinc and impurities content. A certain limitation for this application of ZnO could be the elongated shape of ZnO particles. Therefore, a suggestion for further research is to modify the shape of ZnO particles by changing the parameters of the crystallization and calcination process. Another possible use of the obtained ZnO with such purity is in the production of semiconductor component called varistors regardless of the particle shape.

Key words: refining; cementation; calcination; zinc; zinc oxide

Úvod

Recyklácia úletov z elektrických oblúkových pecí (EOP) je v súčasnosti široko diskutovanou témou, a to z dôvodu jeho vysokej produkcie, nebezpečných vlastností a ekonomickej hodnoty vďaka obsahu zinku. V súčasnosti sa úlety z EOP s nízkym obsahom Zn (približne 3 %) primiešavajú do peliet/brikiet na výrobu železa. V prípade úletu s vyšším obsahom Zn (25 - 46 %) sa uprednostňuje pyrometallurgické spracovanie [1], najmä Waelzov proces, ktorým sa spracuje takmer 90 % vyprodukovaného úletu. Produktom je surový ZnO, ktorý sa následne rafinuje elektrolyticky alebo ISP procesom (Imperial Smelting Process) [2, 3]. Hydrometallurgické spracovanie EOP úletov sa v priemysle používa len zriedkavo. Vo výskumnom meradle však existuje množstvo štúdií zaoberajúcimi sa procesmi kyslého lúhovania úletov [4 - 10]. Okrem kyslého lúhovania možno pri spracovaní úletov z EOP použiť aj alkalické médiá, ako napríklad NaOH [3] a $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ [11, 12]. Výhodou alkalického lúhovania je vzájomná separácia Zn a Fe, pretože kým Zn Fe prechádza do výluhu, väčšina Fe sa koncentruje v nerozpustnom zvyšku. Dôvodom je skutočnosť, že Zn sa extrahuje najmä zo ZnO, zatiaľ čo Fe sa z fázy ZnFe_2O_4 nevytlúhuje. Okrem Zn sa však do výluhu extrahuje aj množstvo sprievodných kovov, ako je Pb, Cu, Cr, Mn, Cd, atď. [3, 11, 12]. Z uvedeného dôvodu je potrebné výluhy pred ďalším spracovaním rafinovať. Najbežnejšou metódou rafinácie je cementácia. Cementácia je proces založený na vytesňovaní ušľachtilejšieho kovu (Me^{z+}) pomocou menej ušľachtileho kovu (M^0) podľa reakcie:



Schodnosť cementácie sa určí pomocou hodnôt elektródových potenciálov, pričom vytesňujúci kov musí mať zápornejší elektródový potenciál ako kov vytesňovaný.

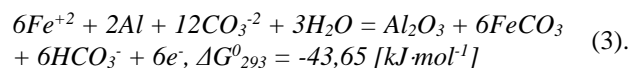
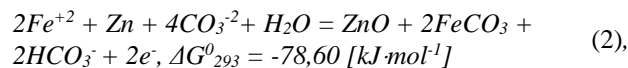
Pre experimenty cementácie sa ako cementátor použila kombinácia práškového Zn a Al za účelom zvýšenia účinnosti procesu cementácie sprievodných kovov z alkalického výluhu po lúhovaní EOP úletu pomocou $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, keďže predbežnými experimentmi sa zistila nedostatočná účinnosť ich cementácie pomocou samotného zinku. Časť dosiahnutých výsledkov je súčasťou publikácií [13, 14].

Cieľom práce bolo študovať podmienky cementácie vybraných sprievodných kovov, hlavne Fe, Cu a Pb (množstvo cementátora, teplotu 20 – 80°C) zo spomínaných výluhov s obsahom zinku 8,25 a 11,75 mg·l⁻¹. Zámerom bolo získať rafinovaný výluh s dostatočnou čistotou pre následnú kryštalizáciu medziproduktu a zisk kalcinovaného ZnO s vhodnými vlastnosťami na jeho použitie v keramickom, elektrotechnickom alebo gumárenskom priemysle.

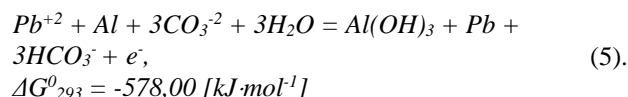
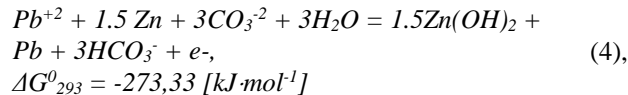
1. Termodynamické štúdium

Pre účely predikcie podmienok cementácie sa zostrojili E-pH diagramy pomocou HCS Chemistry 6.1 [15] pre systémy Me-Zn-Al-C-N (kde Me = Fe, Pb, Cu) pri najnižšej z uvažovaných teplôt (20 °C), obr. 1. Zvolil sa rozsah pH 6 – 10, pričom sa forma prítomnosti skúmaných kovov hodnotila pri pH = 8 - 9, čo predstavovalo skutočné pH výluhu. Zároveň sa zohľadnili aj maximálne koncentrácie cementovaných kovov vo výluhoch. Z E-pH diagramov vyplýva, že oblasť stability kovového Fe v prítomnosti $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ a iných rozpustených nečistôt sa nachádza v oblastiach mimo stability vody v celom uvažovanom rozsahu pH, preto možno očakávať, že pomocou Zn a Al pri uvažovanom pH = 8-9 sa železo môže z roztoku odstrániť skôr ako FeCO_3 než ako kovové Fe.

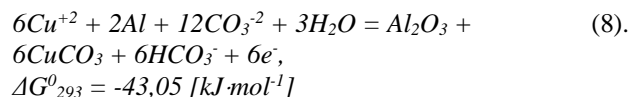
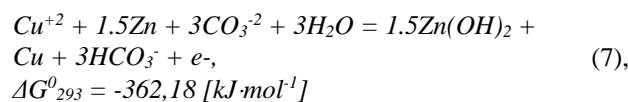
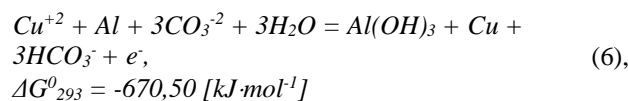
Priebeh cementácie železa pri teplote 20 °C reprezentujú chemické reakcie (2, 3) a hodnota zmeny štandardnej Gibbsovej energie (ΔG_{293}^0) vypočítaná na 1 mol cementovaného kovu.

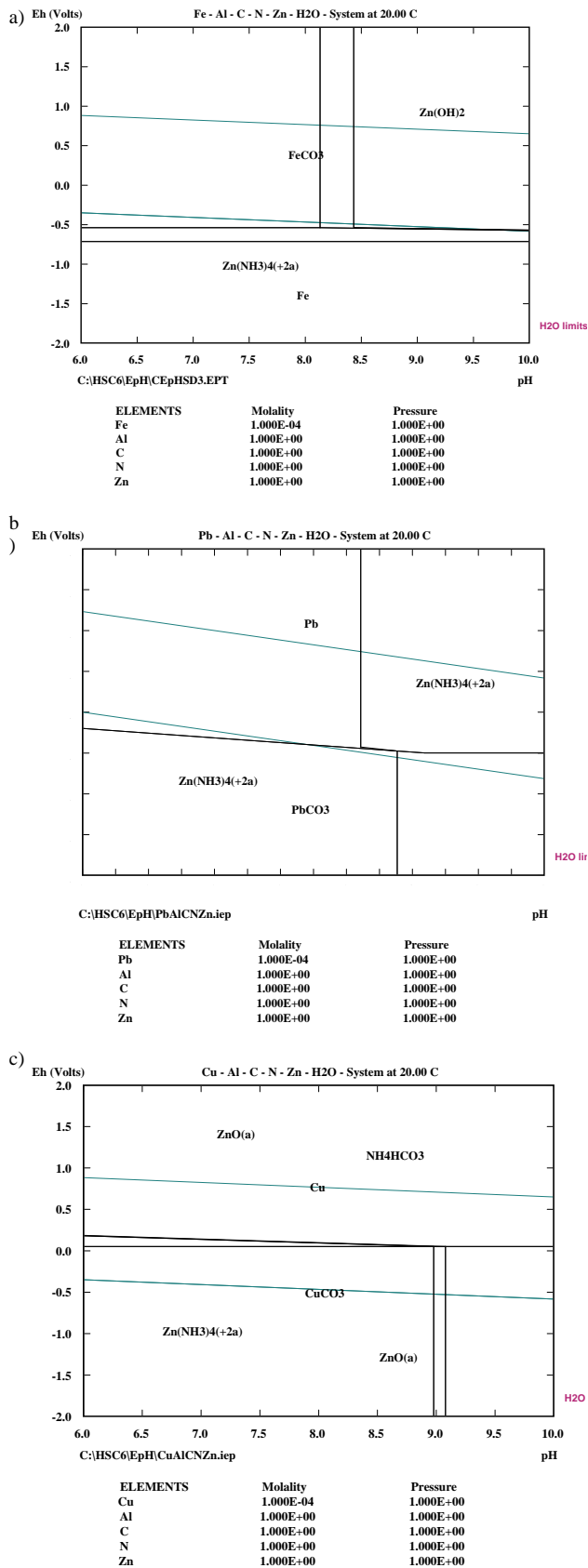


Olovo sa pri teplote 20 °C pravdepodobne bude cementovať v elementárnej forme (4, 5),



Meď sa môže z výluhu za stanovených podmienok pri teplote 20 °C odstrániť ako Cu alebo CuCO_3 , (6-8),



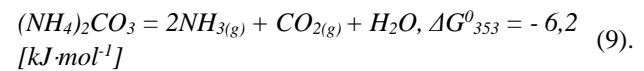


Obr. 1 E-pH diagramy pre systémy Me-Zn-Al-C-N-H₂O pri 20 °C, kde Me = Fe a), Pb b), Cu c)

Fig. 1 E-pH diagrams for Me-Zn-Al-C-N-H₂O system at 20 °C, where Me = Fe a), Pb b), Cu c)

Termodynamické štúdium potvrdilo pravdepodobnosť cementácie sprievodných kovov pomocou kovového Zn a Al, kde ΔG^0 očakávaných reakcií nadobúda zápornú hodnotu aj pri 20 °C.

Pri vyšších teplotách sa proces cementácie môže líšiť, a to aj v dôsledku rozkladu $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ a prítomnosti iných zlúčenín na báze dusíka, uhlíka a vody, pretože približne pri 50 °C sa začína rozkladať $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ a uvoľňovať plynný NH_3 a CO_2 podľa reakcie (9)



Otázkou v praktickom meradle je aj pasivácia práškoveho Zn a Al a jej vplyv na rýchlosť a účinnosť cementácie a formu cementačných produktov.

2. Experimentálna časť

Na experimenty sa použili EOP úlety, ktorých zloženie je uvedené v tab.1.

Tab. 1. Chemické zloženie vstupného úletu z EOP

Tab. 1 Chemical composition of the inlet drift from the EOP

Zložka	Zn	Fe	Pb	Cd	Cu
[hm. %]	28,01	26,34	0,73	0,02	0,12
Zložka	Cr	Mn	Ni	Ca	Si
[hm. %]	0,31	1,90	0,013	5,25	1,44

EOP úlety sa v prvom kroku podrobili lúhovaniu nasledovným postupom:

1. lúhovanie EOP úletu vo vode;
2. lúhovanie premytého úletu v $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ s koncentráciou $100 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, 50 °C, 2 hodiny, pri pomere kvapalnej fázy k pevnej fáze K:P = 10;
3. opätovné lúhovanie úletu získaným výluhom obohateným o $25 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, 50 °C, 30 minút, K:P = 10.

Týmto postupom sa získali výluhy, ktoré sa následne použili na cementačné experimenty. Obsah vybraných kovov v cementovaných výluhoch je uvedený v tab. 2. Chemická analýza úletov, výluhov a získaného produktu sa vykonala metódou atómovej adsorpčnej spektrometrie (AAS) pomocou prístroja Varian AA240+.

Cementácia sa realizovala v sklenenom reaktore, ktorý bol vložený do termostatu kontrolovaného vodného kúpeľa, za nasledovných podmienok: cementátor Zn:Al v pomere 2,5:2,5 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, 5:5 $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ výluhu, teplota 20, 40, 60 a 80 °C, čas 30 minút, 300 otáčok/min. Účinnosť cementácie sa vypočítala podľa vzťahu (10):

$$\eta = \frac{c_{(0)} - c_{(1)}}{c_{(0)}} \cdot 100 [\%] \quad (10),$$

kde: $c_{(0)}$ je počiatočná koncentrácia iontu kovu vo výluhu, $c_{(1)}$ je konečná koncentrácia iontu kovu vo výluhu.

Výluhy po cementácii ďalej postupovali na kryštalizáciu medziproduktu na báze hydratovaného uhličitanu zinočnatého eho kalcináciu za účelom získania práškoveho ZnO. Kryštalizácia zásaditého výluhu prebiehala pri teplote 105 °C v kryštalizačných miskách.

Produkt kryštalizácie sa následne kalcinoval pri teplote 900 °C počas 4 hod. Kalcináty sa podrobili analýze AAS,rtg difrakčnej fázovej kvalitatívnej analýze a pozoro-

rovaniu pomocou skenovacieho elektrónového mikroskopu (SEM).

3.1. Dosiahnuté výsledky

3.1.1 Cementácia sprievodných kovov

Obsah Zn, Fe, Pb a Cu vo výluhoch pred a po cementácii a účinnosť cementácie sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2 Obsah Zn, Fe, Pb a Cu vo výluhoch pred a po cementácii a účinnosť cementácie

Tab. 2 Zn, Fe, Pb and Cu content in leachates before and after cementation and cementation efficiency

t [°C]	Cementátor	Pred cementáciou/ Po cementácii	Zn	Fe	Pb	Cu	pH
			[µg·ml ⁻¹]				
20	2,5 g/l Zn 2,5 g/l Al	Pred	8250	5,54	21,39	7,59	9,02
		Po / η [%]	8180	3,39 / 38,8	0 / 100	0 / 100	9,01
	5 g/l Zn 5 g/l Al	Pred	8250	5,54	21,39	7,59	9,02
		Po / η [%]	9000	2,76 / 50,2	0 / 100	0 / 100	9,02
40	2,5 g/l Zn 2,5 g/l Al	Pred	11750	2,67	1,51	9,31	8,89
		Po / η [%]	11180	0,71 / 73,4	0 / 100	0 / 100	8,89
	5 g/l Zn 5 g/l Al	Pred	11750	2,67	1,51	9,31	8,89
		Po / η [%]	10560	0 / 100	0 / 100	0 / 100	8,87
60	2,5 g/l Zn 2,5 g/l Al	Pred	8250	5,54	21,39	7,59	9,02
		Po / η [%]	9500	1,13 / 79,6	0 / 100	0 / 100	9,00
	5 g/l Zn 5 g/l Al	Pred	8250	5,54	21,39	7,59	9,02
		Po / η [%]	9640	0 / 100	0 / 100	0 / 100	9,01
80	2,5 g/l Zn 2,5 g/l Al	Pred	11750	2,67	1,51	9,31	8,89
		Po / η [%]	10600	0 / 100	0 / 100	0 / 100	8,80
	5 g/l Zn 5 g/l Al	Pred	11750	2,67	1,51	9,31	8,89
		Po / η [%]	11700	0 / 100	0 / 100	0 / 100	8,88

3.1.2 Charakterizácia získaného kalcinátu (ZnO)

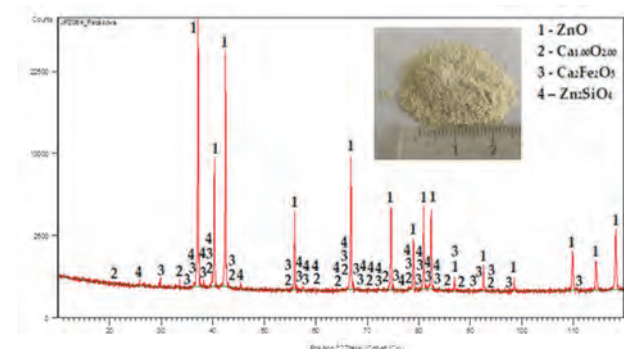
Koncentrácia zinku vo vstupných výluhoch po cementácii určených na kryštalizáciu, hmotnosti kryštalizátov a kalcinátov, obsah zinku a železa v získanom produkte ZnO a jeho čistota sú uvedené v tab. 3.

Tab. 3 Vstupy a výstupy z kalcinácie, obsah Zn a Fe v získanom ZnO a jeho čistota

Tab. 3 Inputs and outputs of calcination, Zn and Fe content in the obtained ZnO and its purity

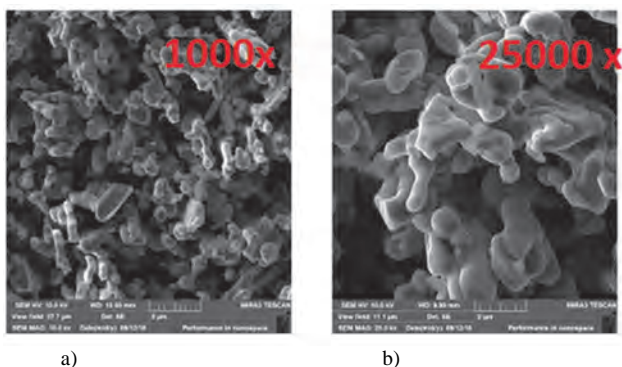
Zn v cemento- vanom výluhu	Kryštalizát - vstup na kalcináciu	Kalcinát	Zn	Fe	Čistota ZnO
[µg·ml ⁻¹]	[g]		[%]		
8180	4,30	2,60	75,67	0,05	94,31
9000	3,00	1,86	76,33	0,04	95,00
11180	4,68	2,94	75,36	0,06	93,80
10560	5,60	3,79	77,61	0,04	96,60
9640	2,80	1,28	77,21	0,00	96,10
9500	3,00	1,80	77,67	0,04	96,67
10600	5,82	3,74	76,35	0,03	95,19
11700	3,64	2,44	74,47	0,03	93,03

Výsledky rtg difrakčnej fázovej kvalitatívnej analýzy získaného ZnO s najvyššou čistotou (96,67 %) a jeho morfológia sú zobrazené na obr. 2 a obr. 3.



Obr. 2 Rtg záznam kalcinátu ZnO s obsahom Zn 96,67 %

Fig. 2 XRD pattern of calcined ZnO with Zn content of 96,67 %

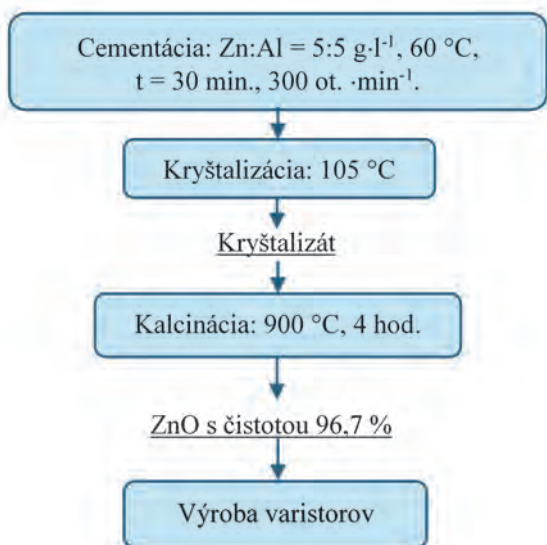


Obr. 3 Morfológia kalcinátu ZnO s obsahom Zn 96,67 %, a) zväčšenie 1000 ×, b) zväčšenie 25000 ×

Fig. 3 Morphology of calcined ZnO with Zn content of 96.67 %, a) magnification 1000 ×, b) magnification 25000 ×

Na základe získaných výsledkov sa navrhol postup spracovania a rafinácie výluhov s obsahom Zn po alkalickom lúhovaní EOP úletov. Na obr. 4 je uvedená bloková schéma navrhovaného postupu s aplikáciou pre elektrotechnický priemysel.

Zn výluhy po alkalickom lúhovaní EOP úletov



Obr. 4 Navrhovaný postup rafinácie a spracovania alkalických Zn výluhov

Fig. 4 Proposed process for the refining and processing of alkaline Zn leachates

3. Diskusia a záver

Tento príspevok popisuje postup rafinácie alkalického výluhu, ktorý môže byť jedným z krokov komplexného spracovania úletov z EOP s cieľom získať zinok vo forme ZnO a prípadne aj ďalšie kovy. Cementácia je jednoduchá, lacná a spoľahlivá rafinačná metóda a navyše v prípade zinku ako cementačného činidla je cementovaný výluh obohatený o zinok z vylúhovaného cementátora. Hliník je zase vhodným cementátorom v prípadoch, ak výluh obsahuje kovy, ktoré majú nízky elektródový potenciál, ako je napr. železo. Výhodou tiež je, že hliník neznečisťuje výluh a koncový produkt, nakoľko v danom prostredí, rozmedzí

pH a elektrochemických potenciálov je prítomný v tuhom stave.

Výsledky experimentov cementácie ukazujú, že kovy ako Pb a Cu možno s maximálnou účinnosťou odstrániť už pri teplote 20 °C aj pri nižšej navážke cementátorov. Avšak za daných podmienok sa vycementuje iba 38,8 % Fe. Na odstraňovanie Fe má vplyv teplota, kedy so stúpajúcou teplotou vzrástla účinnosť cementácie železa z 38,8 % pri 20 °C na 80 % pri 60 °C pri použití Zn:Al = 2,5:2,5 g·l⁻¹ výluhu. K úplnému odstráneniu železa pri nižšej navážke cementátorov došlo pri teplote 80 °C. Za postačujúcu teplotu na odstránenie 100 % Fe, Pb, Cu možno označiť teplotu 40-60 °C, ale s použitím vyššej navážky cementátora (Zn:Al = 5:5 g·l⁻¹ výluhu). Výhodou navrhovaného postupu cementácie s použitím kombinácie cementátorov Zn a Al je aj skutočnosť, že pri cementácii nedošlo k prechodu hliníka do výluhu. Za daných podmienok pH a elektrochemického potenciálu je pravdepodobná jeho pasivácia vo forme nerozpustného Al₂O₃ alebo jeho vyzrážanie z výluhu napríklad vo forme Al(OH)₃, keďže hliník môže pôsobiť ako donor elektrónov s následným vyzrážaním z výluhu [16].

Z výsledkov dosiahnutých spracovaním rafinovaného výluhu kryštalizáciou a kalcináciou (tab. 3) vyplýva, že obsah zinku v ZnO sa pohybuje od 74,47 % do 77,67 %, čo zodpovedá 93,03-96,67 %-nému obsahu ZnO. ZnO s najvyššou čistotou sa získal z výluhu po cementácii s navážkou Zn:Al = 5:5 g·l⁻¹ pri teplote 60 °C. Prítomnosť ZnO potvrdila aj fázová analýza (rtg difrakčný záznam tohto kalcinátu, obr. 2). Medzi pravdepodobné kontaminanty patrí napríklad dikalciumferit Ca₂Fe₂O₅, čo zodpovedá obsahu vápnika v spracovávanom výluhu (cca 60 µg·ml⁻¹). Potvrdila sa aj prítomnosť willemitu - Zn₂SiO₄, pričom kremík možno považovať za stabilný kontaminant bez významného vplyvu na kvalitu a použiteľnosť konečného produktu. Častice získaného ZnO, obr. 3, majú väčšinou podlhovastý skôr nepravidelný tvar s dĺžkou od 5 µm a priemerom cca 1 µm. Jednotlivé častice vytvárajú väčšie zhluky s priemerom približne 100 µm, čo poukazuje na ich spekanie v dôsledku vyššej použitej teploty kalcinácie. Teplotou a dobou kalcinácie však možno do istej miery regulovať aj veľkosť a tvar zrn alebo agregátov ZnO s ohľadom na požiadavky danej aplikácie. V prípade potreby dosiahnutia špecifického tvaru častíc (zrn), je vhodné kontrolovať a upraviť tiež podmienky procesu kryštalizácie medziproduktu.

Získaný ZnO možno teoreticky využiť v gumárenskom priemysle. Minimálna čistota ZnO na použitie v gumárenskom priemysle by mala byť 93 %, pričom obsah Pb a Cd by nemal presiahnuť 3 a 2 mg·kg⁻¹ [17]. Popisovaný konečný produkt ZnO spĺňa požadovanú čistotu, keďže obsah kadmia bol už vo vstupnom výluhu na cementáciu nulový a cementáciou sa odstránilo 100 % prítomného olova. Určitým obmedzením pre uplatnenie ZnO v gumárenskom priemysle by mohol byť podlhovastý tvar častíc ZnO, keďže podľa [18] gumárenský priemysel uprednostňuje sférický tvar. Námetom na ďalší výskum je preto modifikácia tvaru častíc ZnO zmenou parametrov kryštalizačného a kalcinačného procesu. Ďalšie možné využitie

získaného ZnO s takouto čistotou je v polovodičové technice při výrobě varistorů bez ohledu na tvar částic [19]. Nečistoty v podobě Si, Ca a Fe navyše neznižují kvalitu sůčastky z hlediska elektrických vlastností, naopak môžu pôsobiť ako potrebný dopant. Z toho dôvodu sa tento spôsob využitia získaného ZnO javí ako vysoko perspektívny.

Pod'akovanie

Práca vznikla v rámci riešenia grantu VEGA MŠ SR 1/0678/23 a za jeho finančnej podpory.

Literatúra

- [1] AL-HARAHSEH, M., AL-NUAIRAT, J., AL-OTOOM, A., AL-HAMMOURI, I., AL-JABALI, H., AL-ZOUBI, M. and ALASAI, S. A. Treatments of electric arc furnace dust and halogenated plastic wastes. *J. Environ. Chem. Eng.* (2019), 7, e102856.
- [2] ANTUNANO, N., CAMBRA, J.F. and ARIAS, P.L. Hydrometallurgical processes for Waelz oxide valorisation. *Process Saf. Environ. Prot.* 2019, 129, 308-320.
- [3] PALIMAKA, P., PIETRZYK, S., STEPIEN, M., CIECKO, K. and NEJMAN, I. Zinc Recovery from Steelmaking Dust by Hydrometallurgical Methods. *Metals* (2018), 8, 1-13.
- [4] KAYA, M., HUSSAINI, S. and KURSUNOGLU, S. Critical review on secondary zinc resources and their recycling Technologies. *Hydromet.* (2020), 195, e105362.
- [5] HAZAVEHA, P. K., KARIMIA, S., RASHCHIA, F. and SHEIBANIA, S. Purification of the leaching solution of recycling zinc from the hazardous electric arc furnace dust through an as-bearing jarosite. *Ecotox. And Environ. Safety* (2020), 202, 110893.
- [6] XANTHOPOULOS, P., AGATZINI-LEONARDOU, S., OUSTADAKIS, P. and TSAKIRIDIS P. E. Zinc recovery from purified electric arc furnace dust leach liquors by chemical precipitation. *J. Environ. Chem. Eng.* (2017), 5, 3550-3559.
- [7] HUAN, Y., LI-YUAN, Ch., BING, P., MI, L., NING, P. and DONG-KE, H. A novel method to recover zinc and iron from zinc leaching residue. *Miner. Eng.* (2014), 55, 103-110.
- [8] LAUBERTOVA, M., HAVLIK, T., PARILAK L., DERIN, B. and TRPCEVSKA, J. The Effects of Microwave-assisted leaching on the treatment of electric arc furnace dusts (EAFD). *Arch. Metall. Mater.* (2020), 65, 1, 321-328.
- [9] YAO, Y.T. and HWANG, S.L. Improved hydrometallurgical extraction of zinc and iron from electric arc furnace (EAF) dust waste using hydrochloric acid. *AIP Conference Proceedings* 2019, 2157, 020017.
- [10] HUI-GANG, W., JIAN-MING, G., WENWU, L., MEI, Z. and MIN, G. Recovery of metal-doped zinc ferrite from zinc-containing electric arc furnace dust: Process development and examination of elemental migration. *Hydrometall.* (2016), 166, 1-8.
- [11] BINNEMANS, K., JONES, P. T., FERNANDEZ, A. M. and TORRES, V. M. Hydrometallurgical Processes for the Recovery of Metals from Steel Industry By-Products. *J. Sustain. Metall.* (2020), 6, 505-540.
- [12] HAVLIK, T., MARUSKINOVA, G. and MISKUFOVA, A. Determination of ZnO amount in electric arc furnace dust and temperature dependence of leaching in ammonium carbonate by using of x-ray diffraction. *Arch. Metall. Mater.* (2018), 63, 653-658.
- [13] TAKACOVA, Z., PIROSKOVA, J., MISKUFOVA, A., VINDT, T., HEZELOVA, M. and ORAC, D. Removal of Impurities from EAFD Ammonium Carbonate Leachate and Upgrading the Purity of Prepared ZnO. *Materials* (2023), 16, 5004.
- [14] TAKÁČOVÁ, Z., PIROŠKOVÁ, J. and MIŠKUFOVÁ, A. Cementácia výluhov z lúhovania EOP úletov a príprava konečného produktu. In *Ocelári : 38. ročník konferencie teorie a praxe výroby a zpracování oceli : sborník konference. - Ostrava (Česko): Tanger s. 2024, 110-117, ISBN 978-80-88365-16-7.*
- [15] ROINE, A. HSC chemistry®, ver. 6.1 – software Outotec Research Oy.
- [16] CHOI, S., JEON, S., PARK, I., ITO, M. and HIROYOSHI, N. Enhanced Cementation of Co²⁺ and Ni²⁺ from Sulfate and Chloride Solutions Using Aluminum as an Electron Donor and Conductive Particles as an Electron Pathway. *Metals* (2021), 248, 1-11.
- [17] RheinChemie Additives. Specialty Rubber Products. <https://rch.lanxess.com/product/zinkoxyd-aktiv-2?lang=en> (citované 13.03.2024).
- [18] ANAND KRISHNAMOORTHY, K. and VARGHESE, S. Review - The Importance of Zinc Oxide (ZnO) in Rubber Technology. *Raw Materials and Applications* (2018), 10, 33-39.
- [19] LIPTAI, P., DOLNIK, B., BRIANCIN, J. and HAVLIK, T. Hydrometallurgical Recycling of Electric Arc Furnace Dust. *Waste Biomass Valor* 2020, 11, 4419-4428.

Turecko v lednu až dubnu 2024 zvýšilo dovoz šrotu na 6,83 milionu tun

V lednu až dubnu 2024 zvýšily turecké ocelářské podniky svůj dovoz šrotu o 2,5 % ve srovnání se stejným obdobím roku 2023 na 6,83 milionů tun. Hodnota dovozu v tomto období vzrostla o 7,2 % r/r – na 2,95 miliardy USD. Vyplývá to z údajů tureckého statistického institutu (TUIK), uvádí SteelOrbis.

Turecko je v produkci oceli na osmém místě na světě. Turečtí výrobci oceli v roce 2023 snížili produkci oceli o 14 % ve srovnání s rokem 2022 na 33,7 milionů tun. V Turecku je 30 oceláren, včetně 4 vysokých pecí a 26 elektrických obloukových pecí. Jejich roční kapacita výroby oceli se odhaduje na asi 60 milionů tun. Jinými slovy, v roce 2023 bylo využito kapacity 58,5 %.

Zdroj: GMK Center

Studium termofyzikálních vlastností ocelí a strusek při zpracování technologií ESR

Study of the Thermophysical Properties of the Steel and Slags during ESR Technology Processing

Ing. Josef Walek, Ph.D.¹; Ing. Adéla Odehnalová²; Ing. Michal Sniegoň¹; Ing. Lucie Chudobová¹; Ing. Jirí Cupek¹; Ing. František Vrána²; Ing. Pavel Fila, Ph.D.²; Ing. Martin Balcar, Ph.D.²

¹ Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, Katedra metalurgických technologií, 17. listopadu 2712/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

² ŽĐAS, a.s., Strojírenská 675/6, 591 01 Žďár nad Sázavou, Česká republika

Článek se zaměřuje na porovnání termofyzikálních vlastností přetavované oceli a dostupných struskových systémů při zpracování technologií ESR (Electro Slag Remelting). Práce jsou realizovány v rámci řešení projektu TA ČR pod názvem Optimalizace technologických parametrů elektrostruskového přetavování ocelí pro speciální použití v součinnosti VŠB-TUO a ŽĐAS, a.s. Struskové systémy v procesu ESR plní řadu důležitých metalurgických i procesních funkcí. Mezi hlavní složky ESR strusek patří dle způsobu zpracování CaF_2 , Al_2O_3 a CaO . Studium je zaměřeno na stanovení termofyzikálních vlastností přetavovaných ocelí a strusek s využitím softwaru FactSage 8.2. Zkoumanými vlastnostmi byly teplota tání rafinačních strusek a viskozita tavenin strusek při definovaném rozpětí chemického složení. Experimentální určování vlastností ocelí a strusek při procesu ESR je technicky i finančně náročné, a proto je vhodné využít různých termodynamických a simulačních softwarů, které mají uplatnění při simulaci metalurgických procesů v oblastech sekundární a terciární metalurgie.

Klíčová slova: elektrostruskové přetavování; ESR; FactSage; termofyzikální vlastnosti

The article focuses on comparing the thermophysical properties of remelted steel and available slag systems when processed by ESR (Electro Slag Remelting) technology. The work is carried out as part of the TA CR project under the title Optimization of technological parameters of electroslag remelting of steels for special use in cooperation with VSB-TUO and ŽĐAS, a.s. This article outlines the principle of ESR technology and the importance of molten slag for process optimization. Slag systems in this process fulfill a number of important metallurgical and process functions. The main components of ESR slag include CaF_2 , Al_2O_3 , and CaO depending on the processing method. The principle of ESR technology and the importance of molten slag for process optimization to increase steel cleanliness are outlined here. The aim of this work is therefore to analyze the main thermophysical properties of steel and molten slag used in the ESR process. The article deals with determining the properties of steel and slag using the FactSage 8.2 calculation software. The use of thermodynamic and simulation software when simulating the ESR process is very advantageous, given the technical and financial demands of the mentioned process. Calculations performed in FactSage software include: calculation of liquidus and solidus temperature of steel and slag, calculation and construction of quaternary diagrams, and calculation of viscosity. The influence of the chemical composition on the melting temperatures of the slag was evident from the Quaternary diagrams. The values of the calculated dynamic viscosity of slag melts, within a defined range of chemical composition, strongly depend on temperature. Furthermore, the study of the metallographic cleanliness and evaluation of the mechanical properties of CrNiMoV structural steel is investigated, where it was proven that the ESR process significantly improves the mechanical properties of the steel compared to the quality of steel produced by VD (Vacuum Degassing) technology.

Key words: Electro Slag Remelting; ESR; FactSage; thermophysical properties

1. Technologie elektrostruskového přetavování ocelí

V srpnu roku 2022 bylo na Ocelárně Divize metalurgie společnosti ŽĐAS, a.s. uvedeno do provozu zařízení pro elektrostruskové přetavování (dále jen ESR – Electro Slag Remelting). Výrobce a dodavatelem je společnost CONSARC ze skupiny Inductotherm (USA). Elektrostrus

kově přetavování je zavedený proces tzv. terciární metalurgie, určený pro výrobu mnoha druhů ocelí s velmi vysokými požadavky na užité vlastnosti a provozní spolehlivost [1, 2].

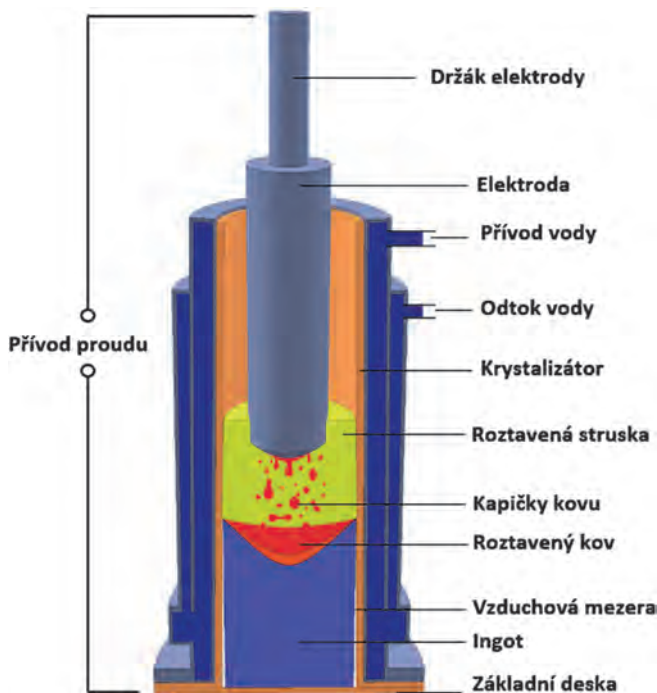
Princip technologie ESR spočívá v přetavování tvářené nebo lité kovové elektrody (ocelový ingot), která se postupně odtavuje ve vodou chlazeném krystalizátoru působením roztavené přehřáté strusky. Hlavním cílem ESR

procesu je dosažení vyšší čistoty a chemické homogenity přetavovaného kovového polotovaru. Průběh přetavování technologií ESR a kvalitu výsledného ingotu významně ovlivňují parametry použité strusky. Ve strusce probíhá při procesu ESR řada chemických a elektrochemických reakcí. Na strusky pro ESR technologii jsou proto kladeny vysoké požadavky nejen z pohledu chemického složení, ale také z hlediska jejich fyzikálních a fyzikálně-chemických vlastností [3-5].

Z pohledu funkce strusek pro ESR jsou pro komerčně dostupné typy strusek definovány a kontrolovány konkrétní vlastnosti. Nejdůležitějším požadavkem na strusky pro ESR je teplota tání, která musí být výrazně nižší, než je teplota tání přetavovaného kovu. Pracovní teplota strusky, což je teplota, při které probíhá proces ESR, musí být naopak vyšší než teplota tání kovu, a to přibližně o 200 až 300 °C. Strusky by měly být chemicky homogenní a neměly by obsahovat nebo následně vytvářet sloučeniny

s vysokou teplotou tání, aby při tavení strusky probíhalo snadně rozpouštění všech složek obsažených ve strusce a došlo k rychlému vzniku potřebné taveniny. Strusky s nevyhovujícími parametry z pohledu teploty tání a následné tvorby taveniny by měly negativní vliv na průběh procesu tavení kovové elektrody, povrchovou kvalitu vyráběného ingotu a chemickou čistotu přetaveného kovu [6-8].

Rozměry a hmotnost přetavených ingotů jsou definovány tvarem a velikostí krystalizátorů a použitých elektrod pro přetavení. Elektrody pro přetavení je možné připravit buď kováním (nákladnější varianta) nebo standardním odléváním oceli do kokil vhodných rozměrů pro danou velikost krystalizátoru. Krystalizátory pro výrobu standardních kovářských ESR ingotů jsou kruhového průřezu s konicitou typu „A“ [9-11]. Schéma zařízení ESR je znázorněno na obr. 1. Obr. 2 uvádí foto zařízení instalovaného ve ŽĐAS, a.s.



Obr. 1 Schéma zařízení ESR [2]
Fig. 1 The scheme of the ESR device [2]



Obr. 2 Zařízení ESR (CONARC) ve ŽĐAS, a.s.
Fig. 2 ESR equipment (CONARC) in ŽĐAS, a.s.

2. Experimentální studium termofyzikálních vlastností ESR procesu

Experimentální práce byly zaměřeny na určení vlastností strusek a ocelí při procesu ESR s využitím softwaru FactSage 8.2. Pro výpočty struskových systémů byly definovány strusky s různými poměry základních složek v kvaternárním systému $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$.

Studium bylo věnováno struskám v různých poměrech základních složek. Hlavními složkami tradičních,

komerčně dostupných strusek ESR jsou obvykle fluorid vápenatý (CaF_2), oxid hlinitý (Al_2O_3), oxid vápenatý (CaO) a oxid hořečnatý (MgO). Ostatní složky, přidávané buď záměrně, nebo jako nežádoucí doprovodné sloučeniny a prvky, nebyly v rámci experimentálních výpočtů zohledňovány. Příklady chemického složení strusek z komerční nabídky firmy WACKER Chemie A. G. Německo (ESR 2052, ESR 3002 ELH) a firmy ISOMAG GmbH, Rakousko (AKF 235) jsou uvedeny v tab. 1.

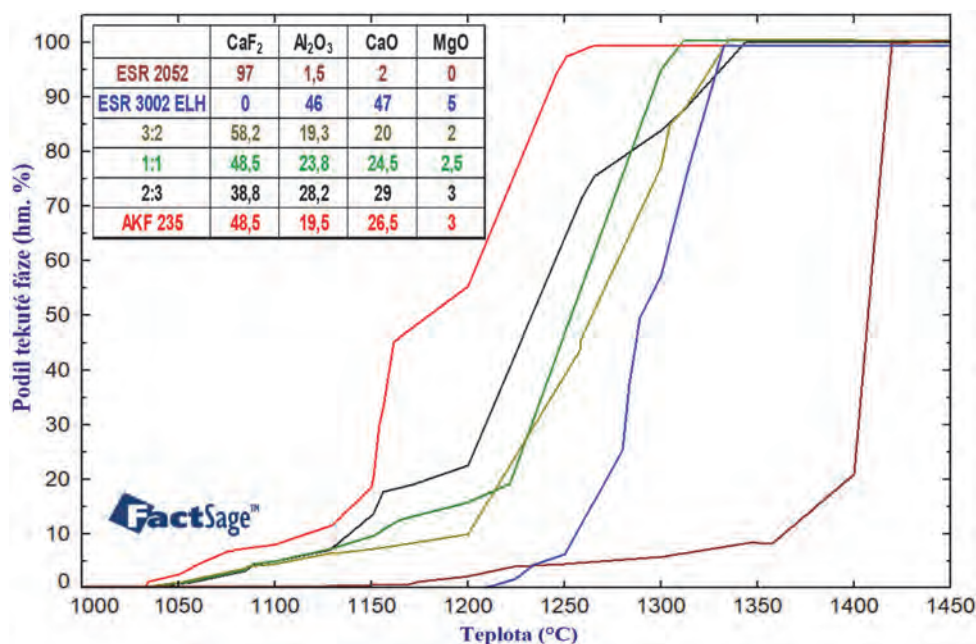
Tab. 1 Příklad chemického složení komerčních ESR strusek [hm. %]
Tab. 1 Example of the chemical composition of the commercial ESR slags [wt.%]

ESR 2052												
CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	TiO ₂	FeO	H ₂ O	C	P	S	Pb	Bi
97	1,5	2	0	0,5	0	0,2	0,005	0,03	0,005	0,03	0,0002	0,0002
ESR 3002 ELH												
CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	TiO ₂	FeO	H ₂ O	C	P	S	Pb	Bi
0	46	47	5	0,8	0,2	0,3	0,005	0,03	0,005	0,05	0	0
AKF 235												
CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	C	P	S	Pb	Bi
48,5	19,5	26,5	3	1	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,05	0,005	0

2.1 Stanovení intervalu tání ESR strusek

S použitím modulu Equilib softwaru FactSage 8.2 byly vypočteny teploty solidu a likvidu strusek vytvořených jako směsi strusek ESR 2052 a ESR 3002 ELH v poměrech 2:3, 1:1 a 3:2. Směs strusek ESR 2052 a ESR 3002 ELH v poměru 2:3 tvoří komplex s obsahem 40 hm. % CaF₂, 30 hm. % Al₂O₃, 30 hm. % CaO, v poměru 1:1 komplex s obsahem 50 hm. % CaF₂, 25 hm. % Al₂O₃, 25 hm. % CaO

a směs v poměru 3:2 pak komplex s obsahem 60 hm. % CaF₂, 20 hm. % Al₂O₃, 20 hm. % CaO. Vypočtené hodnoty těchto strusek byly následně porovnány s hodnotami strusky AKF 235 dle tab. 1, která je aktuálně využívána v provozních podmínkách ŽDAS, a.s. Výpočty intervalů tání strusek byly provedeny v rozmezí teplot od 1000 °C do 1450 °C v kroku 100 °C. Na obr. 3 jsou graficky znázorněny intervaly tání pro porovnávané ESR strusky.



Obr. 3 Rozmezí teplot tání ESR strusek

Fig. 3 Range of the melting temperatures of the ESR slags

Jak je patrné z obr. 3, tání strusek probíhá v určitých intervalech teplot s příslušným rostoucím podílem tekuté fáze. Z pohledu procesu ESR je významným parametrem teplota likvidu strusky a jako další podstatný parametr je interval teplot mezi solidem a likvidem. Intervaly teplot tání jsou výrazně ovlivněny chemickým složením strusky. Teploty solidu strusek byly vypočteny v intervalu 1210 až 1030 °C. Teploty likvidu se pohybovaly v rozpětí 1261 až 1419 °C. Rozpětí mezi teplotou solidu a likvidu jednotlivých strusek se pohybovalo od 124 do 299 °C. Na základě provedených výpočtů je možné konstatovat, že intervaly teplot mezi

likvidem a solidem jsou pro sledované směsi výrazně rozdílné, což bude výrazně ovlivňovat kvalitu ingotu zejména v počáteční fázi tavení procesu ESR.

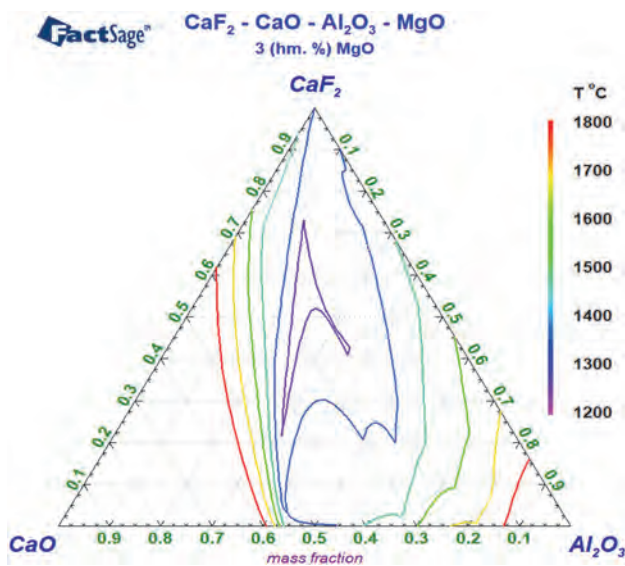
2.2 Stanovení solidu a likvidu ESR strusek pomocí kvaternárních diagramů

Pro grafické vyjádření změn teplot solidu a likvidu strusek v závislosti na chemickém složení je možné využít kvaternární diagramy. Kvaternární diagram umožňuje vyhodnocovat čtyř komponentní systémy. V případě ESR

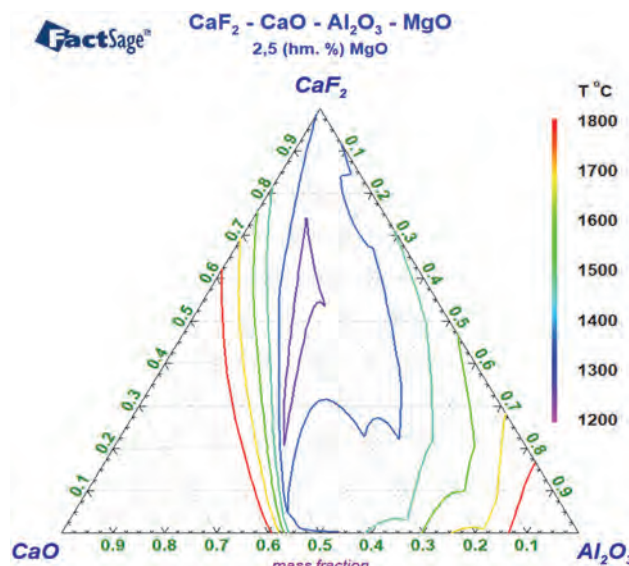
strusek se jedná o tříložkový systém hlavních oxidů $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ se zahrnutím vlivu dalšího oxidu s konstantním obsahem, v konkrétním případě MgO. V modulu Phase Diagram byly provedeny výpočty pro vykreslení kvaternárních diagramů struskového systému $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ ve zvoleném rozmezí teplot 1200 až 1800 °C.

Kvaternární diagramy struskového systému $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ s konstantními obsahy MgO pro teploty 1200 až 1800 °C jsou zobrazeny na obr. 4 až 7. Barvy

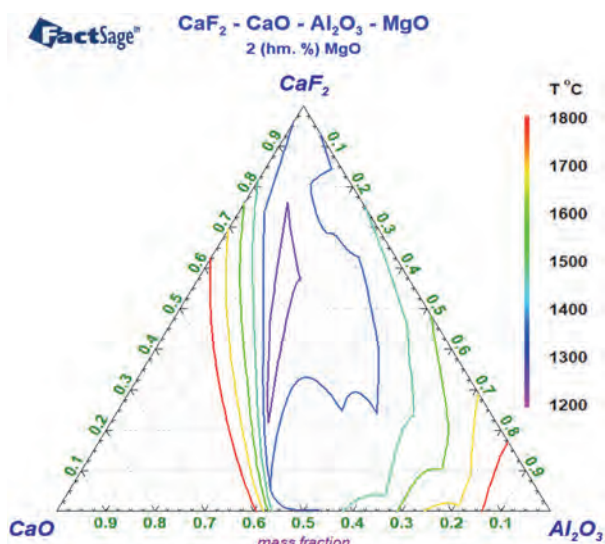
křivek v diagramech vykreslují průběh izoterm pro odpovídající teplotní rozmezí zvolené stupnice. Horní teplota intervalu stupnice na úrovni 1800 °C byla zvolena s ohledem na pracovní teploty ESR strusek v reálných podmínkách, které se pohybují v rozmezí 1750 až 1800 °C. Pro technickou praxi jsou požadavky na strusky ESR spojovány především s teplotou likvidu přetavovaného materiálu. Teplota tání strusky ESR je obvykle požadována nižší cca o 100 °C pod teplotou likvidu oceli. Další zkoumání strusek proto bylo zaměřeno na rozpětí teplot 1100 až 1450 °C.



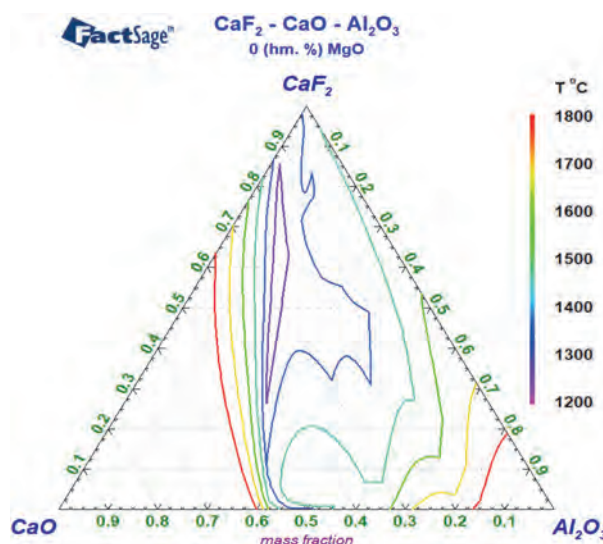
Obr. 4 Kvaternární diagram $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ s 3 hm. % MgO
Fig. 4 Quaternary diagram of $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ with 3 wt.% MgO



Obr. 5 Kvaternární diagram $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ s 2,5 hm. % MgO
Fig. 5 Quaternary diagram of $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ with 2.5 wt.% MgO



Obr. 6 Kvaternární diagram $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ s 2 hm. % MgO
Fig. 6 Quaternary diagram of $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ with 2 wt.% MgO



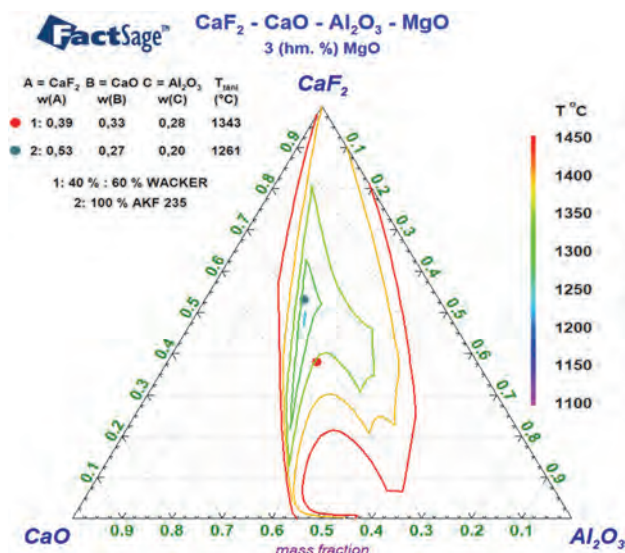
Obr. 7 Ternární diagram $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ s 0 hm. % MgO
Fig. 7 Ternary diagram of $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ with 0 wt.% MgO

Z uvedených obr. 4 až 7 je zřejmé, že rostoucí koncentrace MgO v daném struskovém systému má značný vliv na posun a rozsah oblastí teplot tání pod 1400 °C a při vyšších

teplotách tání není vliv MgO již významný. Jelikož nad teploty 1450 °C jsou veškeré provozně využívané strusky plně tekuté, byly další výpočty pro vykreslení kvaternár-

ních diagramů a studium posuvu křivek solidu a likvidu při zahrnutí vlivu MgO zaměřeny na teplotní rozsah 1100 až 1450 °C v kroku 50 °C.

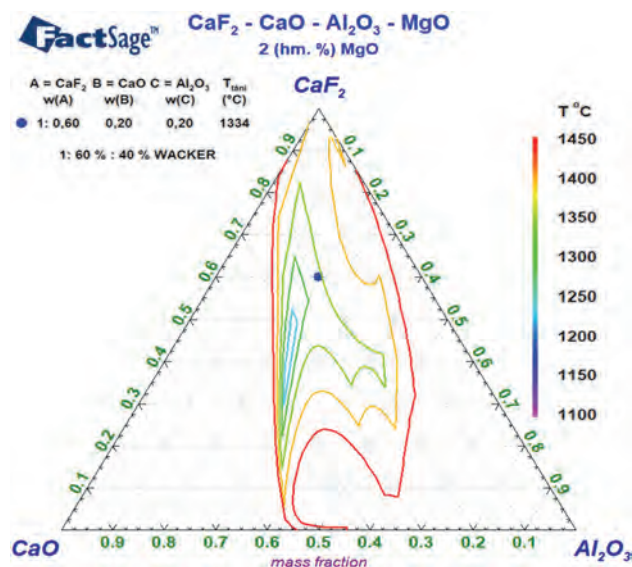
Obr. 8 až 10 uvádí kvaternární diagramy struskového systému $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ s měnicí se obsahy MgO. Kvaternární diagramy znázorňují i teplotu tání zkoumaných strusek a koncentrace jednotlivých složek strusky zmiňující legenda.



Obr. 8 Kvaternární diagram $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ pro poměr strusek WACKER 2:3 a strusku AKF 235

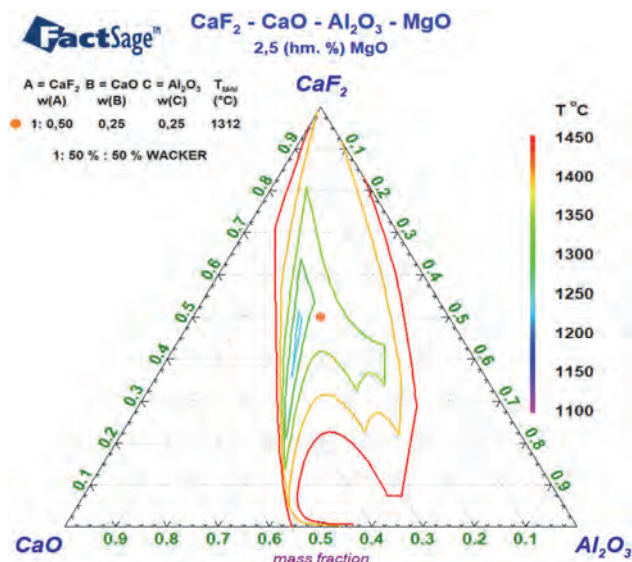
Fig. 8 Quaternary diagram of $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ for ratio of the slag WACKER 2:3 and slag AKF 235

rozsah teplot 1200 °C až 1250 °C. Změna koncentrace MgO ovlivňuje průběh izotermických hranic oblastí zejména v horní části kvaternárního diagramu, kde se nachází vyšší podíly složky CaF_2 s nejnižší teplotou tání ze tří zastoupených hlavních složek struskového systému. Nad teplotami 1400 °C má změna koncentrace MgO minimální vliv na posun izotermické hranice oblasti teplot tání.



Obr. 10 Kvaternární diagram $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ pro poměr strusek WACKER 3:2

Fig. 10 Quaternary diagram of $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ for ratio of the slag WACKER 3:2



Obr. 9 Kvaternární diagram $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ pro poměr strusek WACKER 1:1

Fig. 9 Quaternary diagram of $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ for ratio of the slag WACKER 1:1

Z detailního studia kvaternárních diagramů struskového systému $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ s měnicí se obsahy MgO, uvedených na obr. 8 až 10 vyplývá, že s klesajícím obsahem MgO se otvírá a rozšiřuje izotermická oblast pro

Na obr. 8 vykreslené body zobrazují chemické složení směsí dvou strusek WACKER ESR 2052 a ESR 3002 ELH v poměru 2:3 a strusku AKF 235 se stejným obsahem MgO 3 hm. %. Na obr. 9 vykreslený bod zobrazuje chemické složení směsí dvou strusek WACKER v poměru 1:1 s obsahem MgO 2,5 hm. % a na obr. 10 je zobrazeno chemické složení směsí dvou strusek WACKER v poměru 3:2 s obsahem MgO 2 hm. %.

V kvaternárních struskových systémech $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ s měnicí se obsahy MgO se všechny studované směsi strusek nacházejí v oblastech, které jsou svým chemickým složením vhodné pro použití v podmínkách ESR procesu. Významné změny chemického složení studovaných směsí strusek s dopadem na zvýšení teploty likvidu nad 1450 °C by měly negativní vliv na průběh ESR procesu.

2.3 Výpočet viskozity ESR strusek

Pro výpočet hodnot viskozity strusek byl využit modul Viscosity softwaru FactSage 8.2. Viskozita byla počítána v závislosti na teplotě pro hodnoty veškerých zastoupených složek ve struskách ESR dle tab. 1. Pro proces ESR jsou klíčové pracovní teploty strusek v rozmezí 1750 až 1800 °C, proto byl výpočet viskozit zaměřen na uvedené rozpětí teplot. Vypočtené hodnoty dynamické viskozity ESR strusek uvádí tab. 2.

Tab. 2 Vypočtená dynamická viskozita ESR strusek
Tab. 2 Calculated dynamic viscosity of the ESR slags

Struska	ESR 2052 a ESR 3002 ELH									AKF 235		
	2:3 (3 hm. % MgO)			1:1 (2,5 hm. % MgO)			3:2 (2 hm. % MgO)			1 (3 hm. % MgO)		
Podíl složek [hm. %]	CaF ₂	CaO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	CaO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	CaO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	CaO	Al ₂ O ₃
		40	30	30	50	25	25	60	20	20	50	20
Teplota [°C]	1750			1800			1750			1800		
Viskozita [Pa·s]	0,017			0,015			0,014			0,012		

Z tab. 2 jsou v závislosti na teplotě patrné rozdílné hodnoty vypočtené dynamické viskozity. Dále je zřejmá závislost změny dynamické viskozity na chemickém složení ESR strusek. Z uvedených hodnot vyplývá, že při růstu teploty dochází k poklesu dynamické viskozity a obdobný vliv na změnu dynamické viskozity lze pozorovat s rostoucím obsahem fluoridu vápenatého ve strusce.

2.4 Stanovení teploty tání oceli

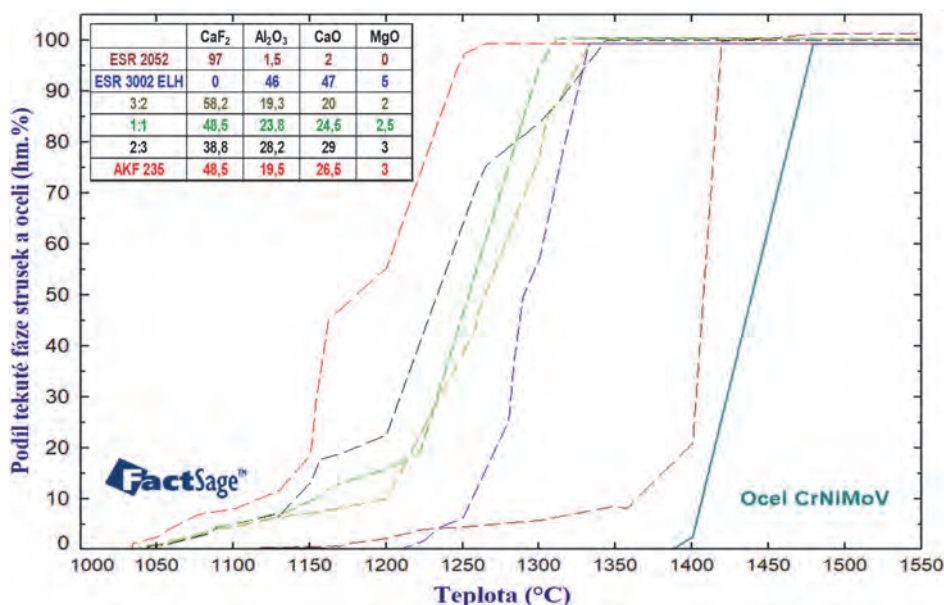
Protože proces ESR je velmi komplexní a závisí jak na termofyzikálních vlastnostech strusky, tak i na vlastnostech přetavovaných ocelí, byly výpočty v softwaru FactSage 8.2 zaměřeny i na stanovení teplot tání středně legované konstrukční CrNiMoV oceli, která je v reálných

podmínkách Ocelárny ŽďAS, a.s. přetavována technologií ESR. Chemické složení oceli s uvedením středních koncentrací základních legujících a doprovodných prvků je uvedeno v tab. 3.

Tab. 3 Chemické složení konstrukční CrNiMoV oceli [hm. %]
Tab. 3 Chemical composition of the CrNiMoV structural steel [wt.%]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
0,37	0,40	0,27	0,007	0,004	1,37	3,30	0,14	0,40	0,14

Posouzení vzájemného vztahu strusky a oceli s využitím modulu Equilib bylo provedeno z pohledu teplot solidu, likvidu a intervalu tání jednotlivých složek zastoupených při procesu ESR. Výsledky uvádí obr. 11.



Obr. 11 Teploty solidu a likvidu konstrukční CrNiMoV oceli
Fig. 11 Solidus and liquidus temperatures of the CrNiMoV structural steel

Z obr. 11 je zřejmé, že teplota likvidu oceli 1486 °C je výrazně vyšší než teploty dosažení 100 % tekuté fáze u studovaných ESR strusek. Rozdíly mezi teplotou likvidu oceli a teplotami likvidu strusek jsou definovány rozpětím rozdílů teplot likvidu oceli (1486 °C) a strusky s nejvyšší teplotou likvidu (1419 °C), což je 67 °C a rozdíl teplot likvidu oceli a strusky s nejnižší teplotou likvidu (1261 °C), který je na úrovni 225 °C.

Lze předpokládat, že vysoké teploty tání ESR strusek, které dosahují téměř teploty solidu přetavované oceli, a tedy malé rozdíly mezi teplotou likvidu oceli a teplotami likvidu strusek, mohou zapříčinit zhoršenou povrchovou i vnitřní kvalitu výsledného ingotu ESR. V technické praxi však bude výslednou kvalitu ingotu ovlivňovat řada dalších procesních parametrů, např. rychlost tavení a následného ohřevu strusky v počáteční fázi procesu ESR.

4. ZÁVĚR

V rámci projektu „Optimalizace technologických parametrů elektrostruskového přetavování ocelí pro speciální použití“ byly zkoumány termofyzikální vlastnosti přetavovaných ocelí a strusek. Byly stanoveny teploty tání ocelí a strusek. S využitím softwaru FactSage 8.2 byly definovány ternární a kvaternární diagramy pro vybrané struskové systémy. Z kvaternárních diagramů byl patrný vliv chemického složení na teploty tání strusek a do výpočtu byl zahrnut vliv koncentrace MgO.

Dále byly vypočteny dynamické viskozity tavenin strusek pro různá chemická složení. Hodnoty vypočtené dynamické viskozity strusek byly vzájemně porovnány a byla konstatována významná závislost hodnot na teplotě.

Rozsah teoretických prací umožňuje základní představu o podmínkách průběhu procesu ESR. Termofyzikální vlastnosti ESR strusek bude dále nezbytné zkoumat i se zohledněním dalších sloučenin, např. TiO₂, SiO₂, které jsou nedílnou součástí průmyslově vyráběných strusek.

Závěry teoretických prací umožňují hledání souvislostí mezi parametry použitých materiálů a technologických procesů při zpracování na zařízení ESR a reálnými výsledky kvality vyráběných ocelí.

Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu TQ03000386 Optimalizace technologických parametrů elektrostruskového přetavování ocelí pro speciální použití spolufinancovaného se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu SIGMA.

Článek vznikl za podpory projektu SP2024/089 Specifického výzkumu VŠB-TUO.

Literatura

- [1] ODEHNALOVÁ, A., FILA, P. a BALCAR, M. *Hodnocení vlastností konstrukční oceli vyrobené technologií ESR*. Prezentace. 59. SLÉVARENSKÉ DNY, Hotel Avantí, Brno, 7 - 8. 11. 2023.
- [2] ODEHNALOVÁ, A. *Analýza procesu ESR ocelí a stanovení vlastností tavných strusek*. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, FMT, 2023.
- [3] KEPKA, Miloslav. *Rafinace ocelí*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989.
- [4] ARH, B., BURJA, J. and PODGORNÍK, B. *ELECTROSLAG REMELTING: A PROCESS OVERVIEW* [online]. 2016 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: doi:10.17222/mit.2016.108.
- [5] BING-JIE, W., YU, W., MENG-JUN, W., LEI, ZHAO., XIAO-FANG, S. Effect of electrical parameters and slag system on macrostructure of electroslag ingot [online]. Berlin: Springer. 21 (2024) 1, 44–55. Available from (DOI): <https://doi.org/10.1007/s41230-024-3064-3>.
- [6] RADWITZ, S., SCHOLZ, H., FRIEDRICH, B. and FRANZ, H. Process and Refining Characteristics of ESR using MgO containing Slag Systems [online]. 2015. In *Conference: International Symposium on Liquid Metal Processing & Casting*. Leoben/Germany. Available from (DOI): <10.13140/RG.2.1.1506.8566>.
- [7] PETRMAN, I. a KAŠÍK, I. *Teorie a praxe elektrostruskového přetavování ocelí a slitin*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1966.
- [8] HOYLE, G. *ELECTROSLAG PROCESSES: Principles and Practice*. British Iron and Steel Research Association, 1983. ISBN 0-85334-164-8.
- [9] SHEN-CHAO, D. and HAN-JIE, GUO. The Methodology Development for Improving Energy Utilization and Reducing Fluoride Pollution of the Electroslag Remelting Process [online]. 91 (2020) 7, 1-22. ISSN 1611-3683. Available from (DOI): <https://doi.org/10.1002/srin.201900634>.
- [10] SCHNEIDER, R., WIESINGER, G., GELDER, S. and REITER, G. Effect of the Slag Composition on the Process Behavior, Energy Consumption, and Nonmetallic Inclusions during Electroslag Remelting [online]. NY: Wiley-VCH. 94 (2023) 4, 1-7. Available from (DOI): <https://doi.org/10.1002/srin.202200483>. ISSN 1611-3683.
- [11] SHOU-HUI, L., JING, L., JIE, Z. and CHEN-BIN, S. Effect of nitrogen on microstructure and microsegregation of martensitic stainless steel 4Cr13 produced by electroslag remelting [online]. Berlin: Springer. 30 (2022), ISSN 1854-1861. (DOI): <https://doi.org/10.1007/s42243-022-00851-y>.

EK začíná pracovat na pilotním mechanismu pro rozvoj trhu s vodíkem

Evropská komise (EK) oznámila spuštění pilotního mechanismu pro rozvoj trhu s vodíkem. Mechanismus je zaměřen na zvýšení transparentnosti nabídky a poptávky na trhu s vodíkem v EU. „Vodík bude hrát důležitou roli při přechodu EU ke klimatické neutralitě do roku 2050 a při dosažení cíle stát se nezávislým na ruských fosilních palivech do roku 2030,“ uvedla EK v prohlášení.

Podle EK je v současné době v EU 254 projektů na obnovitelný vodík, z nichž 170 je v provozu a 84 je ve výstavbě. Dohromady mají kapacitu téměř 3 GW. Očekává se, že dalších 8 GW bude uvedeno do provozu poté, co budou v roce 2023 zahájeny projekty obnovitelného vodíku vybrané tak, aby získaly 720 milionů EUR v pilotní aukci Evropské vodíkové banky. Podmínkou pro získání prostředků je, že musí být spuštěny do roku 2030. Druhá aukce se má konat do konce tohoto roku, přičemž finance pocházejí z prodeje povolenek EU ETS.

Zdroj: GMK Center

Úprava chlazení komponenty formy pro tlakové lití hliníku s využitím numerických simulací

Design of Aluminium HPDC Mold Component Cooling Using Numerical Simulations

Ing. Bc. Jana Sviželová, Ph.D.¹; doc. Ing. Ladislav Socha, MBA, Ph.D.¹; Ing. Miloslav Roh²; Martin Dvořák²

¹ Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 517/10, 370 01 České Budějovice, Česká republika

² MOTOR JIKOV FOSTRON a.s., Kněžskodvorská 2277/26, 370 04 České Budějovice, Česká republika

Příspěvek se zaměřuje na návrh designu konformního chlazení vložky šoupátka formy pro tlakové odlévání hliníku s využitím numerických simulací. Vložka šoupátka je v přímém kontaktu s kovem při plnění formy a tuhnutí odlitku a určuje vnitřní tvar odlitku. Motivací pro návrh nového chlazení byla optimalizace provozních teplot vložky. Cílem bylo dosáhnout rovnoměrnějšího rozložení teplot a zmírnění namáhání v důsledku tepelného pnutí, při současném zachování kvality produkce. Vzhledem k širším možnostem týkajících se variability tvaru vnitřního chlazení byl pro výrobu zvolen 3D tisk. Úpravy tvaru také zahrnovaly provedení odlehčení komponenty kvůli úspoře materiálu. Postupně se vytvořily 3 geometrické návrhy vložky. Pro každou variantu byly provedeny numerické simulace teplotního pole formy v softwaru ProCAST. Na základě výsledků byly vybrány finální návrh D, u kterého se provedla kompletní numerická simulace včetně plnění a tuhnutí odlitků. Oproti původní variantě A došlo změnou chlazení ke zlepšení napětových poměrů v objemu vložky šoupátka varianty D, u které byla současně predikována vyšší únavová životnost. Simulace také ukázala, že změny v teplotním poli návrhu D nebudou mít negativní vliv na kvalitu odlitků. V další fázi výzkumu bude komponenta vyrobena a otestována v provozních podmínkách.

Klíčová slova: HPDC; konformní chlazení; teplotní pole; numerická simulace; design formy

The paper delves into High-Pressure Die Casting (HPDC) of aluminium alloys. An important part of the HPDC process is the mold. The mold, in contact with the liquid metal, plays a key role in cooling the casting. This exposes it to cyclic temperature stress, which can impact the material's mechanical properties over time. Therefore, ensuring adequate cooling of the mold and its components is essential. The paper outlines the design and validation of conformal cooling for an insert within a mold used for the HPDC process of aluminium alloys. The primary motivation for designing new cooling was to optimize the operating temperatures of the insert, aiming for a more uniform temperature distribution and reduced thermal stress while maintaining production quality. Given the flexibility in shaping internal cooling, 3D printing was chosen for production, with modifications made to lighten the component and conserve material. Three geometric designs of the insert were gradually developed, and numerical simulations of the mold's temperature field were conducted for each variant using ProCAST software. Based on the results, the final design (Design D) was chosen, and a comprehensive numerical simulation, encompassing the filling and solidification of the castings, was performed. Compared to the original variant (Design A), the cooling modifications in Design D resulted in improved stress ratios in the insert's volume and a predicted higher fatigue life. The simulation also indicated that the temperature field changes in Design D would not compromise the quality of the castings. The next phase of the research involves the manufacture and operational testing of the component.

Key words: HPDC; conformal cooling; temperature field; numerical simulation; mold design

Vysokotlaké lití je běžně využívanou technologií při velkosériové výrobě hliníkových odlitků. Při tomto procesu je tavenina hliníkové slitiny pod velkým tlakem vstříkována do formy z nástrojové oceli, ve které probíhá tuhnutí odlitku. Odlévací cyklus se skládá z několika fází: plnění formy, tuhnutí odlitku, vyjmutí odlitku, chlazení formy. Tento proces je velmi rychlý. V závislosti na velikosti odlitku se doba cyklu může pohybovat od desítek sekund po jednotky minut. Délku cyklu do velké míry určuje chlazení formy, které může činit až 80 % času cyklu [1]. Forma pro tlakové odlévání hliníkových slitin

je sofistikovaný celek, obsahující systém chladicích a temperačních kanálů, které zajišťují optimální teplotu formy s ohledem na kvalitu odlitku. Chladicí kanály jsou konstruovány tak, aby řídily tuhnutí odlitku a současně udržovaly teplotu formy v přijatelném rozmezí. V tomto ohledu se stále naráží na omezení plynoucí z konvenčních výrobních technologií. Například kanály vytvořené vrtáním jsou jednoduše vyrobitelné, ovšem jejich tvar přesně nekopíruje tvar odlitku, protože je možné vyrobit pouze přímé díry. Ty jsou navíc omezeny polohou dutiny ve formě a přítomností dalších konstrukčních částí formy.

Proto většinou neposkytují optimální chladicí účinek. Tím je ovlivněn také čas cyklu, který se řídí nejteplejším místem dutiny formy.

Dobrá chladicí účinek je velmi důležitý také z pohledu životnosti formy. Materiál formy je namáhán tepelnou únavou což posléze vede k únavovému praskání [2]. Tento mechanismus má původ v dlouhodobém působení teploty, napětí a deformace. Během cyklu je povrch formy v kontaktu s roztaveným kovem o vysoké teplotě. Díky tomu teplota v povrchových vrstvách dutiny formy stoupá, zatímco jádro zůstává studené. V povrchových vrstvách dutiny formy díky tomu působí tlakové napětí, které způsobuje pnutí materiálu. Může se objevit plastická deformace v důsledku poklesu pevnosti materiálu při vyšších teplotách. Současně klesá tvrdost povrchových vrstev dutiny formy ve srovnání se zbytkem objemu [3]. Při akumulaci plastické deformace v určitém místě se mohou začít tvořit trhliny [2]. U tenkých částí formy, které se lépe prohřívají, je situace závažnější. Nástrojové oceli pro práci za tepla vykazují po tepelném zpracování a povlakování dobrou stabilitu mechanických vlastností za provozních teplot a odolnost proti otěru [4, 5], ovšem v zájmu zvýšení životnosti formy je třeba v rámci možností minimalizovat tepelné namáhání [2, 6].

Možností, jak lze dosáhnout rychlého a rovnoměrného chlazení, je vytvoření konformních chladicích kanálů [7, 8]. Konformní chlazení získalo na popularitě s rozmachem aditivní výroby kovových materiálů [6, 9-13]. Širší možnosti designu spojené s aditivní výrobou umožňují sofistikovanější návrhy chlazení vložek forem. Při vytváření konformního chlazení je třeba brát v úvahu tvar kanálů a velikost jejich povrchu, vzdálenost od povrchu dutiny formy a vzdálenost mezi jednotlivými kanály [1]. Pro optimalizaci konstrukce konformního chlazení se nabízí využití numerických simulací [8, 10, 13-16], které umožňují přesunout primární fázi testování do virtuálního prostoru, čímž se šetří čas a finance spojené s testovací výrobou.

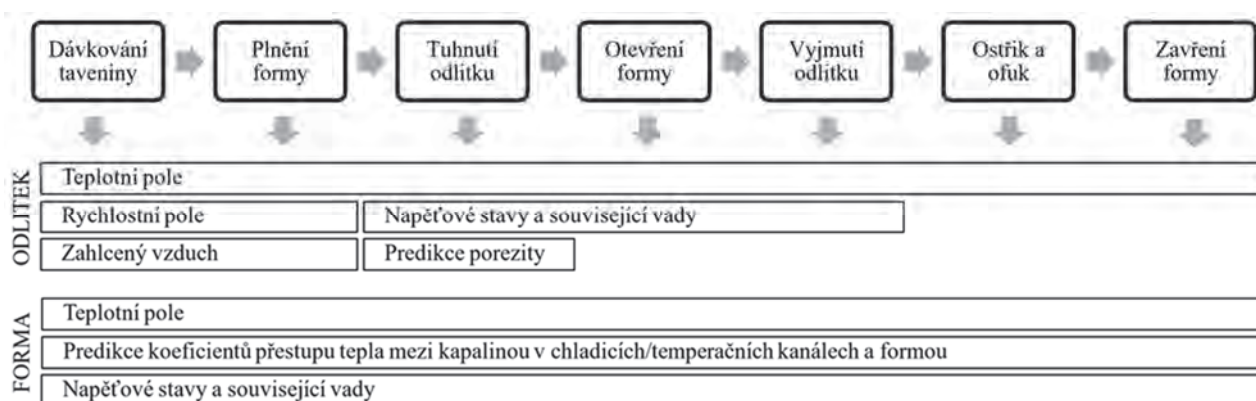
Umístění konformních chladicích kanálů vzhledem k povrchu dutiny formy lze volit také s ohledem na tvar a průběh tuhnutí odlitku a docílit tak lepšího chladicího účinku. Aplikace konformního chlazení může mít navíc vliv na vlastnosti odlitku. Bylo dokázáno, že při aplikaci

konformního chlazení může dojít ke zlepšení mechanických vlastností slitiny [17]. Důvodem tohoto zlepšení je snížení obsahu pomezity v odlitcích a změny v mikrostruktuře [12, 14]. K těmto změnám dochází v důsledku rychlejšího chlazení materiálu, kdy jsou rozptýleny velké oblasti pomezity zchlazením nejteplejších míst a současně dochází ke zjemnění dendritických zrn při tuhnutí slitiny [17]. Uvedené aspekty ve výsledku vedou ke zvýšení životnosti formy, zvýšení produktivity a snížení zmetkovitosti výroby [3, 7, 8].

Součástí modernizace výroby ve společnosti MOTOR JIKOV Fostron a.s. je zavedení 3D tisku kovů do výroby forem. Tento krok otevírá širší možnosti konstrukčního řešení forem, včetně implementace konformního chlazení. Tento příspěvek popisuje návrh konstrukce konformního chlazení vložky šoupátka, která je součástí formy pro tlakové odlévání hliníkových slitin. Cílem aplikace konformního chlazení bylo dosažení rovnoměrnějšího rozložení teplot a zmírnění namáhání v důsledku tepelného pnutí, při současném zachování kvality produkce. Součástí konstrukčních změn komponenty bylo také odlehčení jejího objemu, které současně povede ke snížení spotřeby materiálu na výrobu. Bylo navrženo několik designů, u kterých bylo sledováno teplotní a napěťové pole. K tomuto účelu byly využity numerické simulace v softwaru ProCAST.

1. Numerické simulace

Pro ověření funkce jednotlivých designů konformního chlazení byly provedeny numerické simulace prostřednictvím softwaru ProCAST. ProCAST komplexně řeší většinu slévárenských slitin a procesů odlévání, včetně tlakového lití hliníkových slitin. Samozřejmostí je simulace základních procesů při odlévání – plnění, tuhnutí a predikce pomezity v odlitcích. Díky pokročilé fyzice a metodě konečných prvků také předpovídá složité děje v průběhu odlévání, sleduje zbytková napětí a na jejich základě předpovídá deformace vedoucí k rozměrovým odchylkám a nižší životnosti formy [18]. Pro lepší představu je schéma jednotlivých fází výpočtu pro formu a odlitek v průběhu cyklu zobrazeno na obr. 1.



Obr. 1 Schéma výpočtů pro formu a odlitek v průběhu cyklu

Fig. 1 Diagram of the calculation for the mould and casting during the cycle

Teplotní výpočty v průběhu plnění a tuhnutí odlitků a predikce porezity byly řízeny modulem Thermal, který umožňuje provádět výpočet tepelného toku řešením Fourierovy rovnice vedení tepla (1), včetně uvolňování latentního tepla během tuhnutí. Užitečnou funkcí je také predikce koeficientů přestupu tepla mezi kapalinou v chladicích/temperačních kanálech a materiálem formy. Výpočet se provádí lokálně, tak aby byl správně zohledněn průtok, tvar kanálů a jejich průměr [19]. Tato funkce zajišťuje reálnější výsledky teplotního pole formy, než při použití konstantních koeficientů přestupu tepla a je velmi užitečná právě při návrhu konformního chlazení formy nebo jejích částí.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q}{c_p \cdot \rho} \quad (1)$$

kde: t – teplota [K], τ – čas [s], a – součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], x, y, z – souřadnice (m), q – hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$], c_p – tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$], ρ – hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Fluid Flow modul zajišťuje výpočet plnění formy na základě Navier-Stokesových rovnic (2–4). V ProCAST je implementován dvofázový VOF model, určený k řešení dvou a více fází, které jsou vyšetřovány jako vzájemně se neprostupující kontinua [20–22]. Mezi funkce Flow modulu spadá také výpočet turbulence. Flow modul bývá navíc kombinován s Gas modelem kvůli predikci zahlceného vzduchu v kovu.

$$a_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) = \left(\frac{dv_x}{dt} \right) \quad (2)$$

$$a_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) = \left(\frac{dv_y}{dt} \right) \quad (3)$$

$$a_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) = \left(\frac{dv_z}{dt} \right) \quad (4)$$

kde: p – tlak (Pa), ν – kinematická viskozita ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

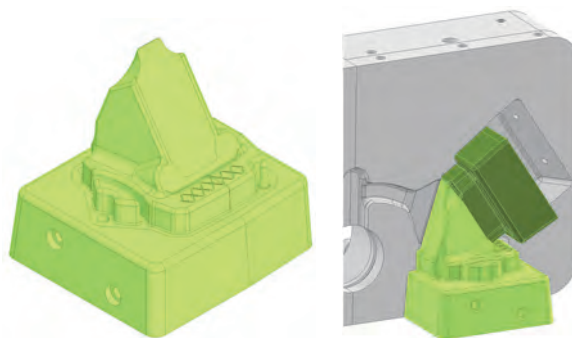
Pro výpočet napětí lze ve Stress modulu, na základě požadovaných výsledků a dostupných materiálových dat, volit mezi třemi modely – Linear-Elastic model, Elasto-Plastic model, Elasto-ViscoPlastic model. Pro účely této práce byl zvolen Elasto-Plastic model, který kromě Youngova modulu a Poissonova čísla, bere v úvahu také mez kluzu materiálu [19].

2. Vstupní data numerických simulací

Předmětem výzkumu byla vložka šoupátka formy pro tlakové odlévání hliníkových slitin. Geometrii tohoto dílu a jeho uložení ve formě zobrazuje obr. 2. Vložka šoupátka plní ve formě funkci jádra a její tvar tedy kopíruje vnitřní tvar odlitku. Současně plní funkci chlazení tekutého kovu a díky tomu má vliv na průběh tuhnutí a vnitřní kvalitu odlitků.

Díky technologii 3D tisku bylo možné do vložky šoupátka implementovat konformní chlazení. Motivací bylo dosažení rovnoměrnějšího rozložení teplot v objemu součásti a tím i snížení vnitřního prnutí a prodloužení

životnosti. Pro dosažení rovnoměrnějších teplot v objemu tvarové části vložky se přistoupilo k optimalizaci tvaru chladicích kanálů. Navrhované varianty konformního chlazení byly zacíleny na nejteplejší oblast vložky šoupátka, kterou je jeho pracovní část. Původní chlazení u varianty A bylo provedeno prostřednictvím jednoho velkého kanálu situovaného ve středu pracovní části vložky (viz obr. 3, varianta A). Celkově byly navrženy 3 optimalizované varianty chladicího okruhu, které zobrazuje obr. 3. U varianty B byla provedena poměrně hustá síť kanálů, která kopírovala tvar funkční části vložky. Varianta C testovala chlazení pomocí jedné spirály vedoucí objemem vložky až k její špičce. Jednoduchá spirála byla aplikována také u varianty D, přičemž byla odebrána jedna úroveň kanálů v horní části.



Obr. 2 Geometrie vložky šoupátka a uložení ve formě
Fig. 2 Insert geometry (left) and mould fit (right)

Vzhledem k tomu, že vložka je tvořena poměrně masivním objemem kovu, bylo rozhodnuto o současném provedení odlehčení pomocí topologické optimalizace. Topologická optimalizace tvaru vybraní vložky byla provedena pro každou variantu zvlášť. Při úpravě geometrie chlazení docházelo v objemu vložky ke změně napěťových poměrů, které jsou při topologické optimalizaci stěžejní. Na obr. 3 je vidět, že se vybraní ve spodní masivní části vložky u jednotlivých variant mírně liší. Příčinou byla právě rozdílná geometrie chlazení. Hmotnostní parametry navržených variant uvádí tab. 1. U variant B a C došlo po provedení odlehčení k redukci hmotnosti až o 3,2 kg v porovnání s variantou A. Dále byla navržena varianta D, u které byl ze základny jádra vybrán větší objem materiálu. Hmotnost jádra se touto úpravou zredukovala o 7,2 kg, což představuje 28 % původní hmotnosti vložky.

Tab. 1 Hmotnostní parametry navržených designů vložek
Tab. 1 Weight parameters of insert variants

Varianta	Hmotnost	Úbytek hmotnosti ve srovnání	
	[kg]	[kg]	[%]
A	25,6	-	-
B	22,4	3,2	12,5
C	22,6	3,0	11,7
D	18,4	7,2	28,1

Se změnou provedení chladicích kanálů bylo nutné upravit také časování chlazení okruhu šoupátka. U původní varianty A byla vložka šoupátka chlazená po celou dobu

cyklu, tedy v intervalu 0 až 69 s. S tímto nastavením se pracovalo také u varianty B. Docházelo však k výraznějším poklesům teplot vložky, proto bylo u variant C a D zavedeno časování chlazení. Parametry chlazení pro všechny provedené varianty okruhů uvádí tab. 2. Časové intervaly cyklování uvádí tab. 3.

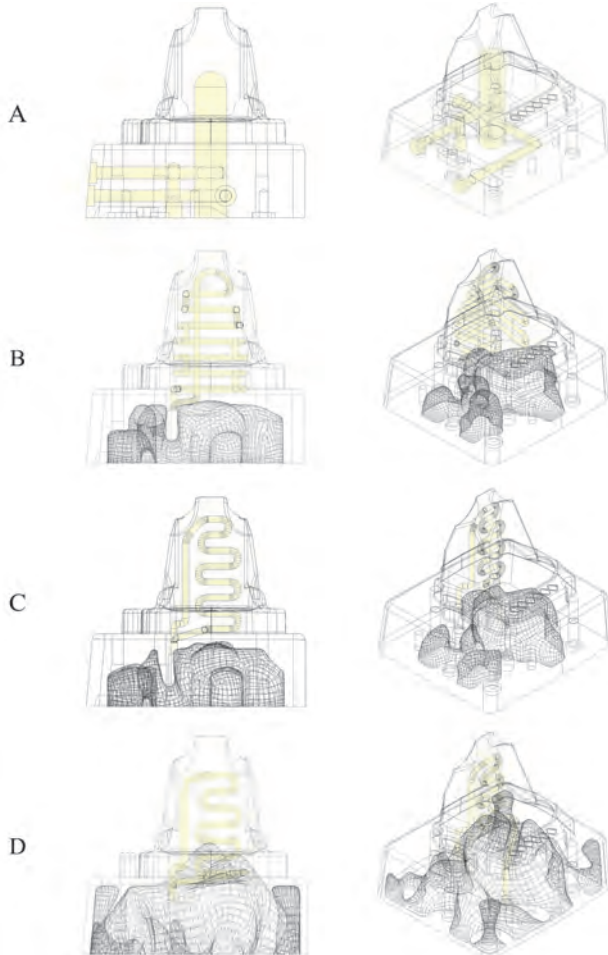


Fig. 3 Geometry of simulated gate valve insert variants
Obr. 3 Geometrie simulovaných variant vložky šoupátka

Tab. 2 Parametry chladicích okruhů
Tab. 2 Cooling channels parameters

Varianta	Médium	Průtok	Teplota	Časování
		[l·min ⁻¹]	[°C]	[s]
A	Voda	3	25	0 až 69
B	Voda	3	25	0 až 69
C	Voda	5	20	13 až 21
D	Voda	5	20	13 až 21

Tab. 3 Parametry cyklování
Tab. 3 Cycling parameters

Fáze cyklu	Start	Konec	Jednotka
Doba cyklu	0	69	s
Plnění formy	10	13	s
Tuhnutí odlitku	13	21	s
Ostřík	35	49	s
Ofuk	49	64	s

Numerické simulace byly rozděleny do dvou etap. V první fázi byl proveden výpočet cyklování pro zmapování teplotního pole a napětových stavů simulovaných variant. Parametry cyklování, uvedené v tab. 3, byly stejné pro všechny varianty. Na základě získaných výsledků byl vybrán design s nevhodnějším návrhem konformního chlazení z hlediska chlazení vložky šoupátka a současného zachování kvality odlitku. Pro tuto variantu byla, kvůli zmapování vlivu chlazení na kvalitu odlitku, provedena kompletní numerická simulace, která zahrnovala také plnění a tuhnutí odlitku včetně napětových stavů.

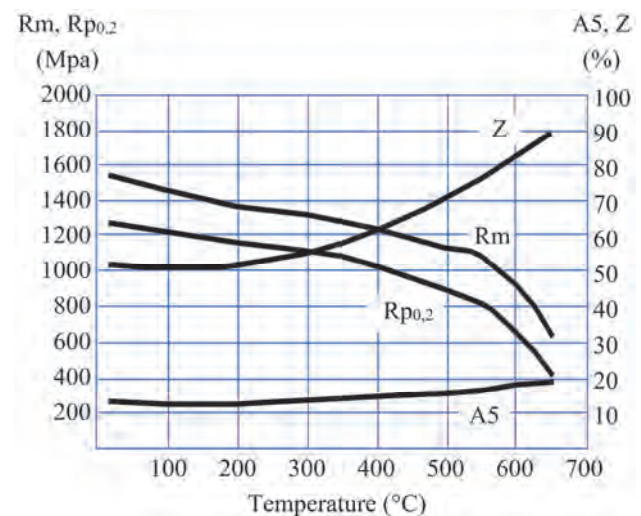
Vložka šoupátka byla dosud vyráběna konvenčními výrobními technologiemi z oceli Dievar, jejíž rámcové chemické složení uvádí tab. 4. Jedná se o nástrojovou ocel, určenou pro vysoce náročné podmínky vysokotlakého lití. Vyznačuje se vynikající houževnatostí a tažností ve všech směrech, dobrou odolností proti popouštění, pevností za vysokých teplot, rozměrovou stálostí během tepelného zpracování a povlakování a vynikající prokalitelností [24]. Tažné vlastnosti oceli Dievar uvádí obr. 4. S použitím této oceli je počítáno také při výrobě dílu 3D tiskem. Proto byla v rámci numerických simulací definována jako materiál formy u všech variant. Odlitky vyráběné technologií tlakového lití se ve společnosti MOTOR JIKOV odlévají z materiálu AISi9Cu3(Fe), jehož chemické složení uvádí tab. 5. S tímto materiálem bylo počítáno také při numerických simulacích plnění a tuhnutí odlitků.

Tab. 4 Chemické složení nástrojové oceli Dievar [hm. %] [24]
Tab. 4 Chemical composition of Dievar tool steel [wt. %] [24]

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,35	0,20	0,50	5,00	2,30	6,60

Tab. 5 Chemické složení slitiny AISi9Cu3(Fe) [hm. %] [25]
Tab. 5 Chemical composition of AISi9Cu3(Fe) alloy [wt. %] [25]

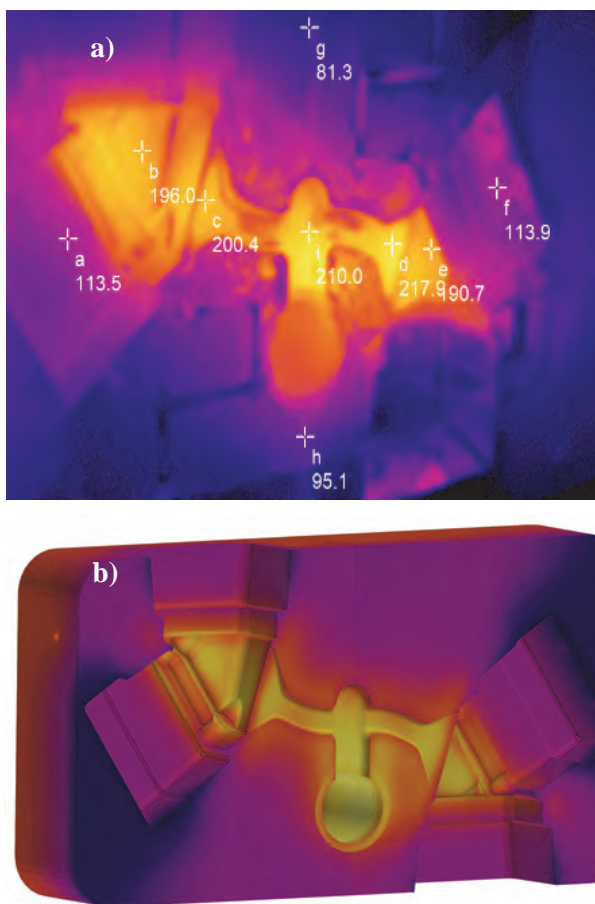
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
Min	8,0	-	2,0	-	0,05	-	-	-	-	-	-
Max	11,0	1,3	4,0	0,55	0,55	0,15	0,55	1,2	0,35	0,15	0,25



Obr. 4 Tažné vlastnosti oceli Dievar za vyšších teplot [24]
Fig. 4 Tensile properties of Dievar at elevated temperature [24]

3. Ověření numerických simulací

Za účelem ověření nastavení numerických simulací byly v provozních podmínkách termokamerou pořízeny snímky teplotního pole formy. Vzhledem k omezenému přístupu k formě během licího procesu, byla forma nasnímána zhruba v 49. s cyklu, tedy po ukončení ostříku (viz tab. 3). Porovnání snímků z termokamery s teplotním polem původní varianty A vypočteným numerickou simulací uvádí obr. 5. Na snímcích z termokamery byla stanovena teplota formy ve vybraných bodech, zobrazených na obr. 5a. V analogických bodech se zjistila teplota vypočtená numerickým modelem. Porovnání těchto hodnot uvádí tab. 6. V oblasti dutiny formy se odchylka od provozních teplot pohybovala zhruba v rozmezí 2 až 7 %. Více se odchylovaly teploty v bodech g a h, umístěných mimo dutinu formy. Vzhledem k jejich umístění však byly body g a h při vyhodnocení shody méně podstatné. Lze konstatovat, že bylo dosaženo dobré shody výsledků numerických simulací s reálným teplotním polem.



Obr. 5 Teplotní pole formy varianty A: a) snímek z termokamery, b) teplotní pole vypočtené numerickou simulací

Fig. 5 Mold temperature field: a) image from a thermal camera, b) temperature field calculated by numerical simulation

Porovnáním teplotního pole bylo ověřeno, že zvolené nastavení výpočtu varianty A poskytuje dobré výsledky. Stejně nastavení bylo proto zachováno i u zbylých simulovaných variant. Měnila se tedy pouze geometrie

vložky šoupátka a parametry chladicích okruhů, uvedené v tab. 2.

Tab. 6 Porovnání teplot z termokamery a numerické simulace

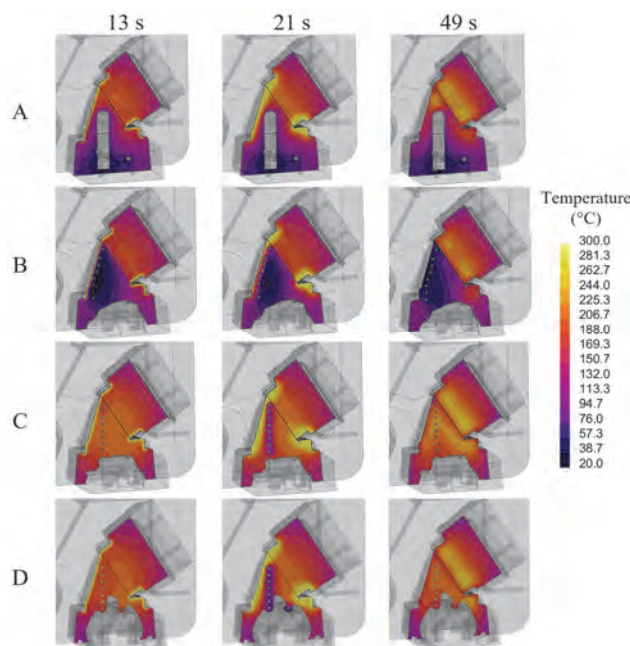
Tab. 6 Comparison of temperatures from a thermal camera and numerical simulation

	Teplota provoz	Teplota ProCAST	Absolutní hodnota odchylky
	[°C]		[%]
a	113,5	118,7	4,4
b	196,0	200,8	2,4
c	200,4	201,6	0,6
d	217,9	203,3	7,2
e	190,7	179,2	6,4
f	113,9	111,5	2,2
g	81,3	102,1	20,4
h	95,1	111,4	14,6
i	210,0	214,0	1,9

4. Diskuse výsledků simulací

4.1. Teplotní pole

Na obr. 6 je zobrazeno teplotní pole srovnávaných variant na řezu vložkou šoupátka ve vybraných fázích cyklu, obr. 7 zobrazuje teplotní profily ve 3 definovaných bodech vložky pro všechny simulované varianty.

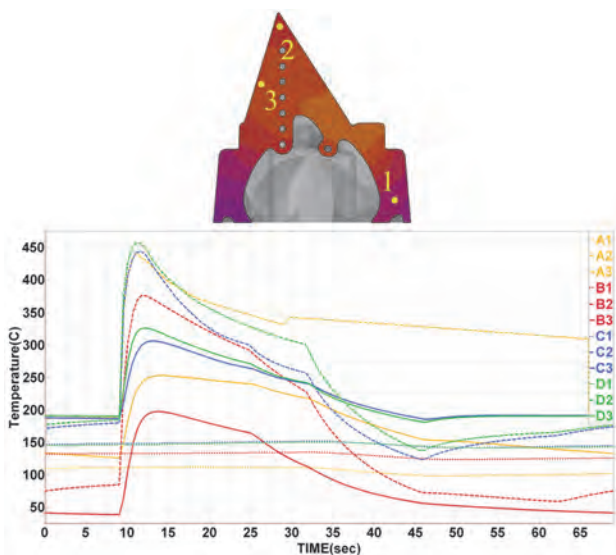


Obr. 6 Teplotní pole simulovaných variant na řezu vložkou

Fig. 6 Temperature fields of the variants on the insert section

Varianta A představuje aktuální provedení chlazení, používané v provozních podmínkách. Při srovnání s dalšími variantami na obr. 6 a obr. 7 lze konstatovat, že chlazení varianty A nejlépe odvádělo teplo ze spodní části vložky. Při pohledu na variantu B bylo ve srovnání s variantou A zřejmě podstatné zvýšení intenzity chlazení

pracovní části vložky. Z obr. 7 je zřejmé, že u varianty B bylo v bodech 1 a 3 na pracovní části vložky dosaženo nejnižších teplot. Ve srovnání s variantou A pokles teplot činil zhruba 50-70 °C, a to zejména mezi 10. až 15. s cyklu, kdy probíhá plnění formy a tuhnutí odlitku. Za těchto podmínek existovalo riziko přechlazení kovu, což by ve výsledku mohlo vést k tvorbě povrchových vad (závaly). Problematické by mohlo být také umístění chladicích kanálů, které od povrchu vložky dělila tenká vrstva materiálu a mohlo by zde působit pnutí, které by časem vedlo ke vzniku trhlin. U varianty C se zredukovanou délkou chladicích kanálů a zkráceným časováním chlazení došlo ke zvýšení teplot v celém objemu vložky s výjimkou oblasti bodu 1 na špičce vložky. Chladicí účinek na špičce vložky u varianty C se projevil poklesem teplot v pozdějších fázích cyklu (cca od 25. s), kdy u varianty A teploty setrvaly na hodnotách 300-350 °C. Konformní chlazení varianty C tyto teploty zredukovalo až o 200 °C. V této fázi cyklu už chlazení formy nemělo vliv na kvalitu odlitku. Na druhou stranu, horní patro kanálů u varianty C opět dělila od povrchu vložky tenká vrstva materiálu. Za těchto podmínek by opět mohlo docházet k obdobným problémům, jako u varianty B, proto bylo rozhodnuto o provedení dalších úprav. Tento problém se vyřešil odebráním jedné úrovně chladicího kanálu ze špičky vložky varianty D, přičemž teploty v oblasti bodu 1 při plnění formy setrvaly na podobné úrovni, jako v případě varianty C. V dalších fázích cyklu (cca od 17. s) konformní chlazení varianty D vykazovalo na špičce vložky dobrý chladicí účinek i při zkráceném časování chlazení (viz tab. 2.). Ve srovnání s variantou A došlo k redukcí teplot až o 190 °C. Je možné si všimnout, že u variant s konformním chlazením byly teploty ve spodní nepracovní části vložky vyšší, než u varianty A. To bylo způsobeno úběrem materiálu při odlehčení. Zmenšený objem spodní části vložky se lépe prohříval. Navíc došlo ke zmenšení spodní styčné plochy vložky doléhající na další komponenty šoupátka, do kterých se odváděla část tepla vedením.

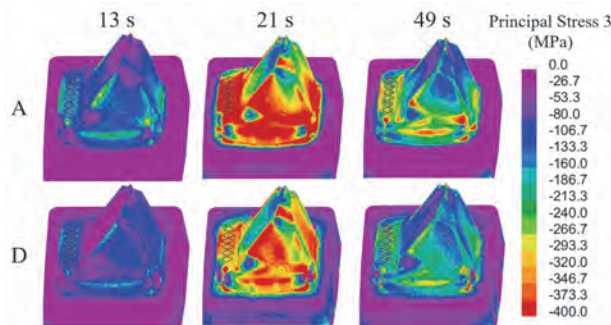


Obr. 7 Teplotní profily ve vybraných bodech vložky
Fig. 7 Temperature profiles at selected points in the insert

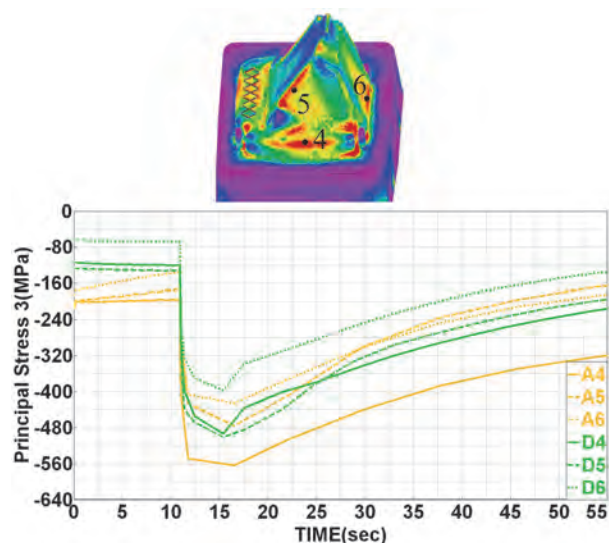
Na základě uvedených výsledků byla pro další zkoumání vybrána varianta D, která měla dobrý chladicí účinek na pracovní části vložky i při redukcí intervalu chlazení a redukcí rizik plynoucích z konstrukčního řešení. Současně bylo u této varianty provedeno odlehčení, které znamená 28% úsporu materiálu na každé vyrobené vložce. Další analýza tak bude zaměřena na porovnání původního designu vložky varianty A a varianty D s konformním chlazením.

4.2. Napět'ové stavy

Obr. 8 srovnává výsledek Principal Stress 3 variant A a D. Tento výsledek identifikuje oblasti, ve kterých působí tlakové napětí a platí, že čím je hodnota zápornější, tím vyšší je tlakové napětí. Obr. 9 zobrazuje profily tlakového napětí Principal Stress 3, ve vybraných bodech oblastí nejvíce namáhaných tlakovým napětím. Jak je vidět, působení tlakového napětí se týkalo především pracovní části vložky. Pracovní část vložky byla v průběhu cyklu ve styku s tekutým kovem, který působí zvyšování teplot v povrchových vrstvách materiálu (viz obr. 6). Důsledkem byl vznik tlakového pnutí, které bylo nejvyšší mezi 11. a 21. s cyklu, kdy probíhalo plnění a tuhnutí odlitků (viz tab. 3). Po vyjmutí odlitku vlivem ochlazování vložky tlakové pnutí postupně vyrelaxovalo.



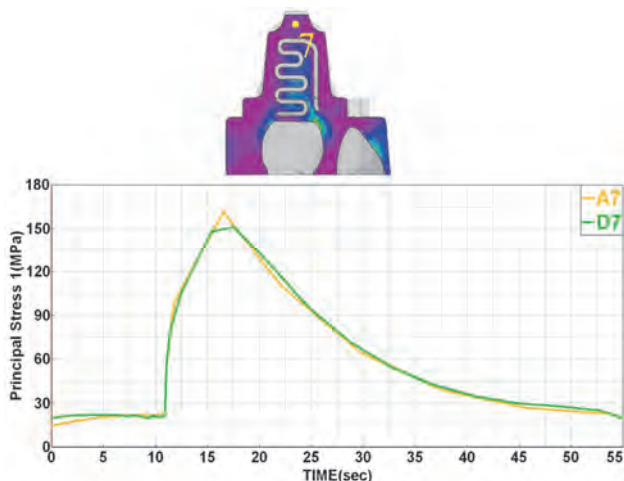
Obr. 8 Principal Stress 3 na vložce varianty A a D
Fig. 8 Principal Stress 3 in insert variants A and D



Obr. 9 Profily Principal Stress 3 ve vybraných bodech vložky
Fig. 9 Profiles of Principal Stress 3 at selected insert points

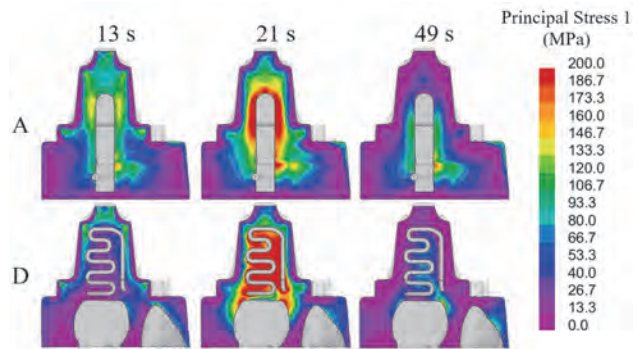
Z obr. 9 je zřejmé, že tlakové napětí u varianty D s konformním chlazením dosahovalo vyšších hodnot v bodě 4 a 6. To znamená, že vložka varianty D byla v těchto oblastech méně zatížena tlakovým napětím. K nejvýraznějšímu zvýšení hodnot tlakového pnutí došlo v oblasti bodu 4, kdy po startu plnění formy rozdíl činily až přes 100 MPa. V bodu 5 bylo naopak u varianty D tlakové napětí nižší o nižší desítky MPa.

Obr. 10 zobrazuje Principal Stress 1 na řezu vložkou varianty A a D v různých fázích cyklu. Tento výsledek znázorňuje oblasti nejvíce namáhané tahovým pnutím. Tahové pnutí působilo převážně v objemu vložky. Vznik tahových napětí opět souvisel s teplotním režimem formy. Nejvyšší tahové napětí bylo pozorováno mezi 13. a 21. s cyklu, kdy probíhalo plnění a tuhnutí odlitku. V tomto údobí ve vložkách existovaly největší teplotní rozdíly mezi vnějšími vrstvami materiálu a chlazeným objemem vložky. Oblasti materiálu kolem chladicích kanálů měly vlivem nižší teploty tendence se smršťovat, což působilo vznik tahových pnutí. U varianty A působila, ve srovnání s variantou D, vyšší tahová pnutí po celou dobu cyklu. Tento jev byl způsoben časováním chlazení. Varianta A byla chlazena konstantním průtokem vody po celou dobu cyklu (viz tab. 2), tedy i ve fázích, kdy vložka nebyla ve styku s horkým kovem. Po vyjmutí odlitku nedošlo k úplnému ochlazení vložky na teplotu okolí, a proto je i zde vidět vliv chladicího kanálu v jehož okolí teploty vložky dosahovaly nižších hodnot. To se projevilo vznikem tahových pnutí v okolí chladicího kanálu. V tomto ohledu byl napěťový stav varianty D příznivější. Je třeba konstatovat, že ve zkoumaných vložkách nebylo zjištěno napětí, které by překračovalo mez kluzu materiálu. Současně nebylo ve zkoumaných vložkách predikováno riziko vyčerpání plastické deformace.



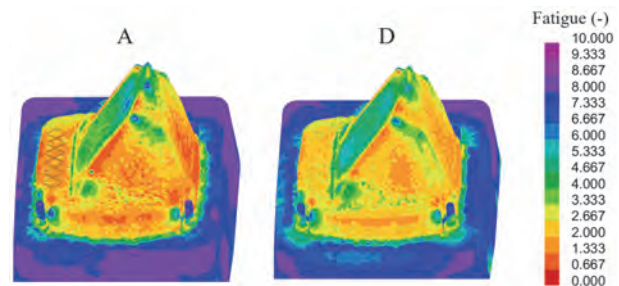
Obr. 10 Profily Principal Stress 1 na špičce vložky
Fig. 10 Profile of Principal Stress 1 in the tip of the insert

Obr. 11 uvádí profil tahového napětí ve špičce vložky varianty A a D. Průběh tahového napětí ve špičce vložky se vlivem konformního chlazení téměř nezměnil. V této oblasti byla zjištěna pnutí dosahující maximálně 160 MPa u varianty A a 150 MPa v případě varianty D. Tyto hodnoty jsou za daných teplot hluboko pod mezí kluzu materiálu.



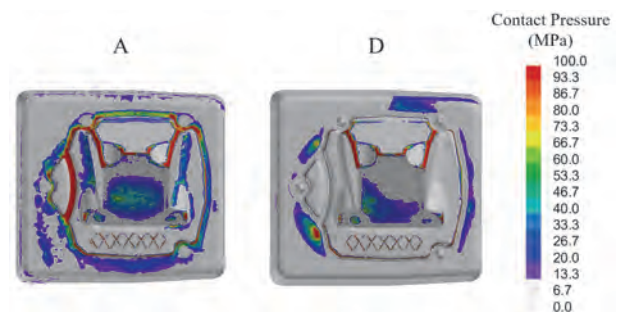
Obr. 11 Principal Stress 1 na řezu vložkami variant A a D
Fig. 11 Principal Stress 1 on insert sections of variants A and D

Obr. 12 porovnává výsledek Fatigue, který poskytuje kvalitativní odhad únavové životnosti jader varianty A a D. Jak dokazují předchozí výsledky, největšímu namáhání byla v průběhu cyklu vystavena pracovní část vložky, která je ve styku s kovem. V této oblasti také existuje největší riziko překročení únavové pevnosti u obou srovnávaných variant. Na základě výsledků na obr. 12 má potenciál vyšší životnosti vložka varianty D s konformním chlazením.



Obr. 12 Porovnání únavové životnosti vložek variant A a D
Fig. 12 Comparison of fatigue life of inserts of variants A and D

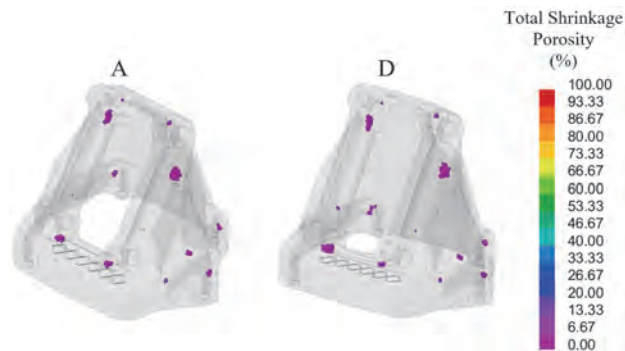
Obr. 13 zobrazuje výsledky Contact Pressure, tedy kontaktní tlak, který vzniká mezi vložkou, odlitkem a přiléhajícími částmi formy vlivem deformace jednotlivých komponent. Působení Contact Pressure mezi komponentami formy může působit jejich opotřebení vlivem tření při otvírání formy. V případě odlitku může docházet k poškození povrchu při vyjímání z formy. Jak je vidět na obr. 13, v případě hodnocené vložky šoupátka působil kontaktní tlak hlavně mezi vložkou a odlitkem, přičemž u varianty A byla oblast působení rozsáhlejší. U varianty D se oblast působení kontaktního tlaku mezi vložkou a dalšími komponentami podstatně zmenšila.



Obr. 13 Porovnání Contact Pressure u variant A a D
Fig. 13 Comparison of Contact Pressure of variants A and D

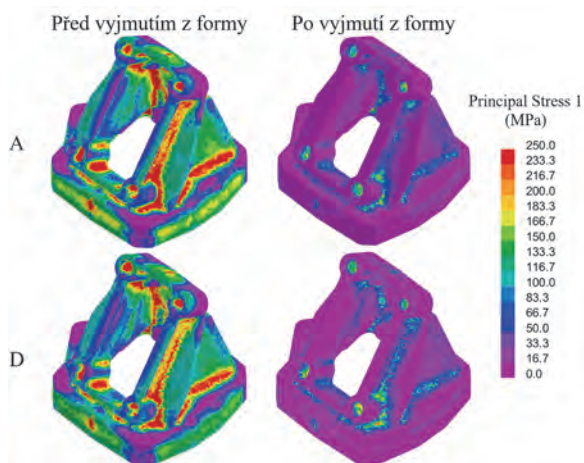
3. Kvalita odlitku

Pro zmapování účinku konformního chlazení vložky na kvalitu odlitků byly provedeny numerické simulace plnění formy a tuhnutí odlitku. Na plnění formy neměla změna chlazení vliv, proto zde výsledky nebudou prezentovány.



Obr. 14 Predikce porezity v odlitcích variant A a D (Cut Off > 5 %)
Fig. 14 Porosity prediction in variant A and D castings (Cut Off > 5 %)

Obr. 14 uvádí výsledky predikce porezity v odlitcích varianty A a D. Na výskyt porezity měla úprava chlazení minimální vliv. Poloha oblastí s pravděpodobným výskytem porezity se neměnila. Došlo ke změně velikosti některých oblastí porezity, ovšem v takové míře, která je v kontextu reálných provozních podmínek zanedbatelná. Lze říci, že z hlediska porezity zůstala po změně chlazení jakost odlitku zachována.

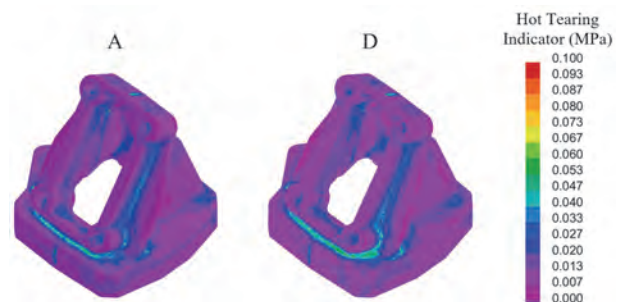


Obr. 15 Principal Stress 1 v odlitku varianty A a D
Fig. 15 Principal Stress 1 in casting variants A and D

Obr. 15 uvádí výsledky tahového napětí v odlitcích varianty A a D před a po vyjmutí z formy. Před vyjmutím z formy existovala v odlitcích obou variant vyšší tahová pnutí, která v některých místech přesahovala mez pevnosti materiálu (240 MPa [25]). To bylo způsobeno setrváním odlitku ve formě, která brzdila jeho deformaci. Po vyjmutí z formy byla většina tahového napětí vyrelaxována a odlitek se dostal do příznivějšího napěťového stavu. Stále však v odlitcích existovala místa, která by dle simulace mohla být riziková a mohlo by zde dojít k překročení meze kluzu materiálu (140 MPa [25]). Při srovnání odlitků varianty A a D je zřejmé, že nedošlo k významné změně napěťových poměrů v odlitcích. Lze říci, že po aplikaci

konformního chlazení došlo k mírnému poklesu tahových napětí v odlitku varianty D, avšak tento pokles by se v reálných podmínkách pravděpodobně neprojevil.

Kvůli přítomnosti vyšších tahových napětí v odlitcích bylo dále analyzováno kritérium Hot Tearing Indicator, které predikuje náchylnost odlitků ke vzniku trhlin za tepla. Výsledky Hot Tearing Indicator představuje obr. 16. V odlitcích obou variant byly vypočteny nízké hodnoty kritéria, což znamená nízké riziko vzniku trhlin v odlitcích. To odpovídá také stavu výroby v provozních podmínkách. V případě studovaného odlitku dosud nebylo zaznamenáno snížení jakosti vlivem přítomnosti trhlin.



Obr. 16 Hot Tearing Indicator u odlitků varianty A a D
Fig. 16 Hot Tearing Indicator in variant A and D castings

5. Závěr

Príspevek se zabýval návrhem konformního chlazení vložky šoupátka, která je součástí formy pro vysokotlaké lití hliníkových slitin. Pro ověření chladicího účinku byly provedeny numerické simulace v softwaru ProCAST. Celkem byly simulovány 4 varianty, z nichž varianta A obsahovala současnou geometrii chladicího kanálu a zbylé 3 varianty obsahovaly různé návrhy designu konformního chlazení. U variant s konformním chlazením bylo provedeno také odlehčení vložky šoupátka, kvůli úspoře materiálu na výrobu. Numerické simulace byly rozděleny do dvou fází. V první fázi bylo simulováno cyklování se zaměřením na teplotní pole formy. Na základě těchto výsledků byl vybrán návrh s nejvhodnějším provedením konformního chlazení, pro který byla dále provedena simulace plnění formy a tuhnutí odlitku včetně napěťových stavů. Pozornost byla věnována také kvalitativním parametrům odlitku. Zjištěné poznatky lze shrnout do následujících bodů:

- Z porovnání teplotního pole formy v provozních podmínkách a numerické simulace byla vyhodnocena dobrá shoda výsledků.
- Na základě výsledků teplotního pole při cyklování byla pro další analýzu vybrána varianta D vložky šoupátka s konformním chlazením. Tato varianta měla dobrý chladicí účinek na pracovní části vložky i při redukcí intervalu chlazení. V podstavě vložky došlo k celkovému nárůstu teplot vlivem úběru materiálu při odlehčení. To však nemělo negativní účinek, jak bylo potvrzeno další analýzou.
- Vložka šoupátka byla v průběhu cyklu nejvíce namáhána tlakovým napětím, přesahujícím 400 MPa,

kteřé vznikalo v důsledku prohřátí povrchových vrstev pracovní části vložky a rozpínání materiálu. Při aplikaci konformního chlazení varianty D se zatížení tlakovým napětím na pracovní části vložky snížilo.

- Tahové napětí, vznikající vlivem smršťování materiálu při poklesu teploty, působilo převážně v blízkém okolí chladicích kanálů. Ve fázi největšího teplotního zatížení vložky (11. a 21. s cyklu), bylo tahové napětí varianty A a D na podobné úrovni. Po zbylou dobu cyklu působila vyšší tahová napětí u varianty A, která byla chlazená po celou dobu cyklu. Úpravou intervalu chlazení tak bylo u varianty D částečně sníženo zatížení tahovým napětím.
- Nejnižší únavová životnost vložky šoupátka byla predikována v oblasti působení nejvyšších napětí, v tomto případě tlakových napětí v povrchových vrstvách pracovní části vložky. Vlivem poklesu tlakových napětí u varianty D s konformním chlazením se prodloužila predikovaná únavová životnost vložky.
- U varianty D došlo k redukci oblasti působení Contact Pressure mezi vložkou šoupátka, odlítkem a přilehlými komponentami formy. To znamená, že u této varianty existuje nižší riziko opotřebení komponent formy vlivem tření a poškození povrchu odlitku.
- Nebyl zjištěn negativní dopad změny chlazení vložky šoupátka na kvalitu odlitku. Predikované oblasti porezity se téměř nezměnily. V oblasti napětových stavů také nedošlo k významným změnám. Vady zapříčiněné působením pnutí nebyly u tohoto typu odlitku predikovány.
- Výhodou varianty D bylo také provedení odlehčení, díky kterému dojde k úspoře materiálu 7,2 kg na každé vyrobené vložce, což představuje 28 % původní hmotnosti vložky.

Na základě zjištěných výsledků byla varianta vložky šoupátka D s konformním chlazením doporučena k výrobě 3D tiskem. Po tepelném zpracování, obrobení a povlakování bude v další fázi výzkumu podrobena testování životnosti v provozních podmínkách společnosti MOTOR JIKOV.

Poděkování

Práce vznikla za podpory Technologické agentury České republiky v rámci programu TREND a projektu FW03010609 „Výzkum a vývoj tvarových forem z materiálu H-13 a DIEVAR pro tlakové lití hliníkových slitin při aplikaci moderních technologií aditivní výroby, tepelného zpracování, povrchových úprav a numerických simulací.“

Literatura

- [1] FENG, S., KAMAT, A.M. and PEI, Y. Design and fabrication of conformal cooling channels in molds: Review and progress updates. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 171 (2021). DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121082
- [2] KLOBČAR, D., TUŠEK, J. and TALJAT, B. Thermal fatigue of materials for die-casting tooling. *Materials Science and*

Engineering: A. 472 (2008) 1-2, 198-207. DOI: 10.1016/j.msea.2007.03.025.

- [3] ANAND, A., NAGARAJAN, D., EL MANSORI, M. and SIVARUPAN, T. Integration of Additive Fabrication with High-Pressure Die Casting for Quality Structural Castings of Aluminium Alloys; Optimising Energy Consumption. *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 76 (2023) 2, 347-379. DOI: 10.1007/s12666-022-02750-y.
- [4] CHEN, G., WANG, J., WANG, D., XUE, L., ZENG, B. and QIN, B. Effect of liquid oxy-nitriding at various temperatures on wear and molten aluminum corrosion behaviors of AISI H13 steel. *Corrosion Science*. 178 (2021). DOI: 10.1016/j.corsci.2020.109088.
- [5] BHASKAR, M., ANAND, G., NALLUSWAMY, T. and SURESH, P. Die Life in Aluminium High-Pressure Die Casting Industries. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*. 103 (2022) 1, 117-123. DOI: 10.1007/s40033-021-00317-7.
- [6] ANDRONOV, V., BERÁNEK, L., ZAJÍC, J., ŠOTKA, P. and BOCK, M. Case Study of Large Three-Dimensional-Printed Slider with Conformal Cooling for High-Pressure Die Casting. *3D Printing and Additive Manufacturing*. 10 (2023) 4, 587-608. DOI: 10.1089/3dp.2022.0225.
- [7] JARFORS, A.E.W., SEVASTOPOL, R., SESHENDRA, K., ZHANG, Q., STEGGO, J. and STOLT, R. On the Use of Conformal Cooling in High-Pressure Die-Casting and Semisolid Casting. *Technologies*. 9 (2021) 2. DOI: 10.3390/technologies9020039.
- [8] FIORENTINI, F., CURCIO, P., ARMENTANI, E., ROSSO, C. and BALDISSERA, P. Study of two alternative cooling systems of a mold insert used in die casting process of light alloy components. *Procedia Structural Integrity*. 24 (2019), 569-582. DOI: 10.1016/j.prostr.2020.02.050.
- [9] STOLT, R., POUR, M.A. and SIAFAKAS, D. Making Additively Manufactured Cores with Conformal Tooling Directly on a Die-base. *Procedia Manufacturing*. 55 (2021), 200-204.
- [10] BARREIRO, P., ARMUTCU, G., PFRIMMER, S. and HERMES, J. Quality improvement of an aluminum gearbox housing by implementing additive manufacturing. *Forschung im Ingenieurwesen*. 86 (2022) 3, 605-616. DOI: 10.1007/s10010-021-00541-3.
- [11] SHINDE, M. S. and ASHTANKAR, K.M. Additive manufacturing-assisted conformal cooling channels in mold manufacturing processes. *Advances in Mechanical Engineering*. 9 (2017) 5. DOI: 10.1177/1687814017699764.
- [12] ARMILLOTTA, A., BARAGGI, R. and FASOLI, S. SLM tooling for die casting with conformal cooling channels. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 71 (2014) 1-4, 573-583. DOI: 10.1007/s00170-013-5523-7.
- [13] ZENG, T., ABO-SERIE, E., HENRY, M. and JEWKES, J. Cooling channel free surface optimisation for additively manufactured casting tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 127 (2023) 3-4, 1293-1315. DOI: 10.1007/s00170-023-11402-4.
- [14] KARAKOC, C., DIZDAR, K. C. and DISPINAR, D. Investigation of effect of conformal cooling inserts in high-pressure die casting of AlSi9Cu3. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 121 (2022) 11-12, 7311-7323. DOI: 10.1007/s00170-022-09808-7.
- [15] ANGLADA, E., MELÉNDEZ, A., VICARIO, I., ARRATIBEL, E. and AGUILLO, I. Adjustment of a High Pressure Die Casting Simulation Model Against Experimental Data. *Procedia Engineering*. 135 (2015), 966-973. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.584.
- [16] NORWOOD, A., DICKENS, P., SOAR, R., HARRIS, R., GIBBONS, G. and HANSELL, R. Analysis of cooling channels performance. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 17 (2004) 8, 669-678. DOI: 10.1080/0951192042000237528.
- [17] PIEKŁO, J., BURBELKO, A. and GARBACZ-KLEMPKA, A. Shape-Dependent Strength of Al Si9Cu3FeZn Die-Cast Alloy in Impact Zone of Conformal Cooling Core. *Materials*. 15 (2022) 15. DOI: 10.3390/ma15155133.

- [18] ESI Group. (2024, April). *ProCAST*. Retrieved April 05, 2024, from <https://www.esi-group.com/products/procast>.
- [19] ESI Group. (2021, August). *ProCAST 2021.0 – User Guide*. Retrieved April 05, 2024, from <https://myesi.esi-group.com/downloads/software-documentation/procast-2021.0-user-guide-visual-cast-procast-rev-b-online-online-online-online>.
- [20] INGHAM, D.B. and MA, L. Fundamental equations for CFD in river flow simulations. In P.D. Bates, S.N. Lane, R.I. Ferguson (Eds.). *Computational Fluid Dynamics: Applications in Environmental Hydraulics*. 2005, New Jersey: Wiley.
- ALHENDAL, Y. and TURAN, A. Volume-of-Fluid (VOF) Simulations of Marangoni Bubbles Motion in Zero Gravity. In R. Petrova (Ed.). *Finite Volume Method - Powerful Means of Engineering Designs*. 2012, Rijeka: InTech.
- [22] YEOH, G.H. and TU, J. *Computational Techniques for Multiphase Flows*. 2019, Cambridge: Elsevier.
- [23] Ranade, V. V. *Computational Flow Modeling for Chemical Reactor Engineering*. 2002, Cambridge: Elsevier.
- [24] UDDEHOLM. (2018, May). *Uddeholm Dievar*. Retrieved April 10, 2024, from <https://www.uddeholm.com/czech/cs/products/uddeholm-dievar/>
- [25] ČSN EN 1706+A1. (2022). *Hliník a slitiny hliníku – Odlitky – Chemické složení a mechanické vlastnosti*. Praha: Česká agentura pro standardizaci.

Nizozemsko podporuje zelené dotace pro Tata Steel Ijmuiden ve výši 3 miliard eur

Nizozemský parlament schválil zhruba 3 miliardy eur v podobě ekologických dotací společnosti Tata Steel Ijmuiden, dceřiné společnosti globálního výrobce oceli Tata Steel. Tata Steel v Ijmuidenu je druhou největší ocelárnou v Evropě a jedním z největších průmyslových zaměstnavatelů v Nizozemsku. Společnost má významný dopad na životní prostředí v okolních regionech díky velkým emisím pomocí zastaralé technologie vysokých pecí.

Státní prostředky budou použity na dekarbonizaci závodu a zvýšení udržitelnosti ocelářského průmyslu v zemi. Cesta k největší ekologické dotaci komerční společnosti v poslední době je považována za otevřenou, zatímco parlament požaduje pevné záruky splnění. Emise a dopady nizozemského závodu Tata Steel na životní prostředí byly dlouho zdrojem kontroverzí, ale dekarbonizace závodu vyžaduje velké investice. Vláda k této otázce po mnoho let přistupuje liberálně, protože se obává, že zásah může stát tisíce pracovních míst.

Kapacita ocelárny Ijmuiden se odhaduje na 6 milionů tun surového železa ročně ze dvou vysokých pecí. BF č. 6 je schopna vyrobit 2,5 milionu tun surového železa ročně. Výroba oceli v závodě se odhaduje na 7,5 milionu tun ročně. Společnost se specializuje na výrobu za studena válcovaných, žárově zinkovaných a lakovaných svitků a pocínovaných výrobků.

Zdroj: GMK Center

Závod Thyssenkrupp v Hagenu bude odebírat elektřinu přímo z větrné farmy

Závod Thyssenkrupp Steel v Hagenu (Thyssenkrupp Hohenlimburg) se stal prvním německým průmyslovým podnikem, který je přímo napojen na větrnou farmu. Díky zelené energii ze čtyř nových větrných turbín instalovaných partnerem projektu SL NaturEnergie může společnost nyní pokrýt 40 % své průměrné roční potřeby elektřiny. Projekt zelené elektřiny v závodě Thyssenkrupp Hohenlimburg má podle společnosti potenciál snížit v první fázi emise CO₂ o 11 % a je zde prostor pro další expanzi.

Čtyři větrné turbíny, každá až 160 metrů vysoká a s průměrem rotoru 138 metrů, jsou spojeny se zařízeními Thyssenkrupp Hohenlimburg 3 km dlouhou linkou. Větrná farma vyrábí více než 55 milionů kWh ročně, což umožňuje většinu této energie využít přímo, aniž by se spoléhala na národní síť. Přebytek je dodáván do ostatních zařízení skupiny prostřednictvím veřejné sítě pouze v případě vysokých rychlostí větru nebo snížené poptávky v podniku.

Závod Hagen společnosti Thyssenkrupp Steel, který zaměstnává 1000 lidí, vyrábí přesné ocelové pásy válcované za tepla. Zákazníky společnosti jsou především výrobci za studena válcované oceli, automobilový průmysl a jeho dodavatelé.

Loni na podzim oficiálně zahájil provoz větrný park v Rakousku (Štýrsko), který dodává elektřinu ocelářské firmě Voestalpine.

Zdroj: GMK Center

Recenzované výzkumné články

Determination of Actual Material Properties of Converter Vessel Using the SPT Method

Stanovení aktuálních materiálových vlastností nádoby konvertoru pomocí metody SPT

Ing. Jan Kander^{1,2}

¹ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, Vítkovice, 703 00 Ostrava, Česká republika

² Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

The SPT (small punch test) method is very advantageous for evaluating the mechanical and brittle fracture properties of components, especially in cases where there is not enough material available for standard mechanical testing or it is necessary to evaluate the material non-destructively. The tested material is removed using a special device that ensures an absolutely minimal removal of material, and therefore no repairs are necessary after removal. In addition to the mechanical properties, it is possible to determine the chemical composition or to perform metallographic analysis of the samples taken, thus it is possible to provide a truly comprehensive material analysis with minimal material removal. Material and metallurgical research, Ltd. has more than 20 years of experience with the SPT method and its industrial application, one of the solved problems will also be presented in this article.

Key words: Small punch test; current material properties; remaining life; oxygen converter

Metoda SPT (Small punch test) je velmi výhodná pro hodnocení mechanických, ale i křehkolomových vlastností komponent, obzvláště v případech, kdy není k dispozici dostatek materiálu pro standardní mechanické zkoušení nebo je nutné materiál hodnotit nedestruktivně. Testovaný materiál je odebírán pomocí speciálního zařízení, které zajišťuje naprosto minimální odběr materiálu, a proto nejsou po odběru nutné žádné opravy. Z odebraných vzorků, je mimo mechanické vlastnosti, možné stanovit chemické složení či metalografickou analýzu, tím je možné poskytnout opravdu komplexní materiálovou analýzu při minimálním odběru materiálu. Materiálový a metalurgický výzkum, s.r.o. má více než 20 let zkušeností s metodou SPT a její průmyslovou aplikací, jeden z řešených problémů bude prezentován i v tomto článku.

Klíčová slova: Small punch test; aktuální materiálové vlastnosti; zbytková životnost; kyslíkový konvertor

1. Introduction

Small punch test (SPT) is a relatively recently developed method for evaluating the material properties of components that minimizes the amount of test material needed. It finds its use not only in power industry, for which it was originally developed, but also in many other industries, and it is also newly implemented in European standards [1]. A great advantage of this method is the use of miniaturized test specimens, which are produced from samples taken with a special sampling device (Fig. 1) directly on the operating component without negatively affecting its function and also without any repairs, only with the necessity of downtime. This method can thus be used in cases where it is necessary to obtain test specimens from very narrow layers of material, for example from

decarburized layers, segregations, coatings, etc. Another typical example of the use of the SPT method is the evaluation of the material characteristics of specific areas of weld joints or deposit layers. Considering that the chemical composition can be determined from the samples taken and they can be subjected to metallographic analysis, the SPT method can be successfully used for comprehensive analyzes of actual material properties or for determining the remaining service life of the given component.

The test specimens of the small punch test method are small discs with a diameter of $d = 8$ mm and a thickness of $t = 0.5$ mm [1-3], which are punched in the matrix by a punch with a hemispherical top or a ceramic ball with a diameter of $d = 2$ or 2.5 mm [1, 4]. Schematically, this principle is captured in Fig. 2.

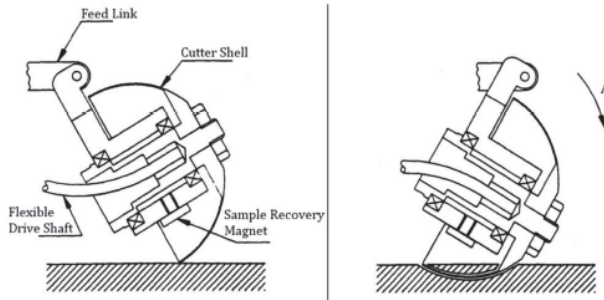


Fig. 1 Scoop for on-site SPT sampling [1]
Obr. 1 Odběrové zařízení pro SPT [1]

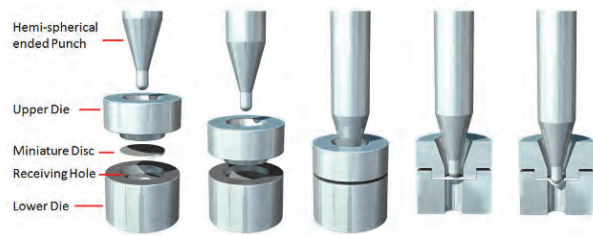


Fig. 2 SPT method principle [5]
Obr. 2 Schematicky znázorněný princip metody SPT [5]

During the test, the force applied to the sample (F) and the displacement of the punch (v) or the deflection of the sample (u) are recorded. The dependence of force – punch displacement (specimen deflection) created in this way can be divided into five characteristic areas [5], see Fig. 3:

- (1) Elastic region
- (2) Elastic-plastic transition (departure from linearity)
- (3) Local bending, transition into membrane stress regime
- (4) Membrane stress regime
- (5) Final failure

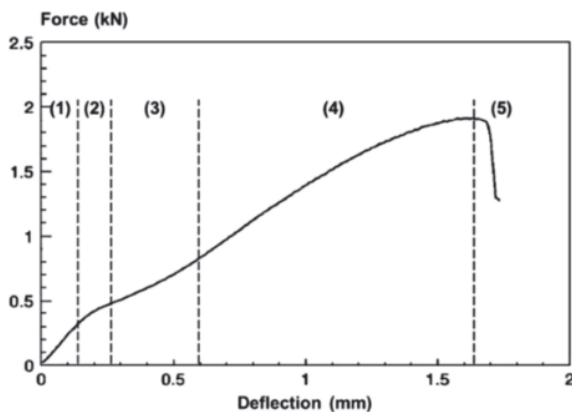


Fig. 3 Typical force-displacement curve obtained from the SPT [5]
Obr. 3 Typická křivka získaná pomocí SPT [5]

Following characteristics used for mechanical and other properties estimation are determined from the abovementioned curve [1, 6]:

- F_e – the elastic-plastic transition force in the small punch test which characterizes the transition from linearity to the stage connected with the development of plastic deformation through the whole thickness of the sample. This value corresponds to the yield strength

in the conventional tensile test and it is defined as the point of intersection of two constructed tangents (in Fig. 3 one would be in area 1 and the second one in area 3) [N].

- F_m – the maximum force during the test which corresponds to the load at the tensile strength in the conventional tensile test [N];
- d_m – the displacement of punch tip which corresponds to the force F_m [mm];
- E_{SP} – surface below the force-displacement curve, calculated from 0 up to the F_m point [mJ]. ESP is important for transition temperature evaluation.

Determination of mechanical properties from SPT test values is realized in the form of correlations against a standard tensile test [1]. Equations (1) and (2) give the basic relationships for determining yield strength and ultimate strength.

$$R_{p0.2} = \alpha \cdot \frac{F_e}{h_0^2} \quad (1)$$

$$R_m = \beta \cdot \frac{F_m}{h_0 \cdot v_m} \quad (2),$$

- where:
- $R_{p0.2}$ – yield stress [MPa]
 - R_m – tensile strength [MPa]
 - F_e – elastic-plastic transition force [N]
 - h_0 – initial thickness of test specimen [mm]
 - v_m – punch displacement [mm]
 - α, β – correlation coefficients

2. Experimental material and procedures

The subject of interest was a converter vessel for steel processing made of P460NH steel, when after the lining was broken there were concerns whether the charge could thermally degrade the material of the converter vessel as well. In an effort to minimize downtime, small samples were taken and the SPT method was used, as it eliminates the need for repair at the point of sample removal. The samples were removed by a special sampling device SSam^{TM-2} from Rolls-Royce, Fig. 4. The material was sampled in three places, twice in the area where the lining was broken (A, B), the third reference sample was taken at the opposite wall (C).

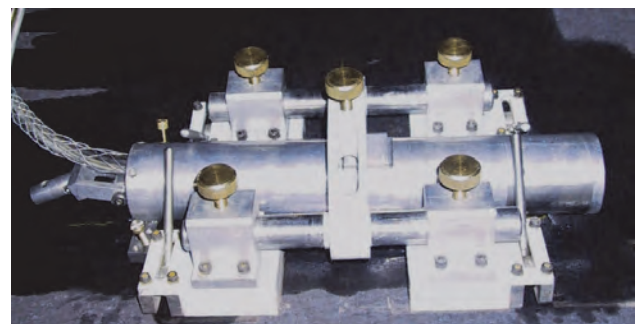


Fig. 4 Sampling device SSam^{TM-2} by Rolls-Royce with magnetic holder
Obr. 4 Odběrové zařízení Rolls-Royce SSam^{TM-2} s magnetickou upínkou

The chemical composition of the samples was subsequently determined by the combustion and ICP OES method, a metallographic analysis was performed to verify the higher level of structure degradation and its possible thermal influence, and last but not least, the mechanical properties of the converter vessel were evaluated by the SPT method.

The results of the analysis of the chemical composition (Tab. 1) confirmed the declared quality of P460NH steel with only a small positive deviation in the carbon content, which, however, undoubtedly could not negatively affect the mechanical properties of the converter the degradation of microstructure.

Tab. 1 Chemical composition of the converter vessel

Tab. 1 Chemické složení nádoby reaktoru

Element	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	V
[wt. %]	0.24	1.63	0.51	0.015	0.02	0.33	0.05	0.20	0.17
P460NH	0.20	1.10 1.70	0.60	0.025	0.010	0.70	0.30	0.80	0.20

Three test specimens for penetration tests at laboratory temperature were prepared from each of the samples. From their results, the mechanical properties (yield strength, tensile strength) were subsequently determined using known correlation relations, which are shown in Table 2. Due to the very similar level of mechanical properties achieved, regardless of the place of sampling, it is almost certain that the thermal influence of the converter vessel could not happen. Although the exact thickness of the casing at the sampling point is not known, it falls within the interval of 60 to 100 mm, against which the obtained results are compared in Table 2. It can thus be concluded that the mechanical properties meet the limits prescribed by the standard throughout this interval. The higher yield strength can be caused by the increased carbon content.

Tab. 2 Mechanical properties of the converter vessel

Tab. 2 Mechanické vlastnosti nádoby reaktoru

Sample	Specimen No.	$R_{p0.2}$	R_m
		[MPa]	[MPa]
A	1	538	611
	2	540	651
	3	535	637
B	1	526	656
	2	541	661
	3	554	663
C	1	534	652
	2	555	670
	3	553	646
P460NH [7]			
60 mm < t ≤ 100 mm		400	540-710

Microstructural analysis was performed on a cut parallel to the plane of sampling. This orientation is associated with the atypical appearance of the structure, especially at a smaller magnification, although it is still the usual

linearity of the ferritic-pearlitic microstructure, Fig. 5. At higher magnification, it became clear that while the original lamellar pearlitic structure still prevailed in the dark areas, even though these lamellae were already degraded there, in the light areas the degradation of the original ferritic-pearlitic structure was more pronounced and was accompanied both by the dissolution of pearlite and mainly by the formation of coarse cementite particles, which precipitated primarily at grain boundaries, Fig. 6. However, it should be emphasized that the microstructure of all three analyzed samples was qualitatively identical, none of them showed a more advanced stage of microstructure degradation, a mixed structure that would indicate overheating associated with the transition over the A_{c1} temperature, or signs of creep damage.

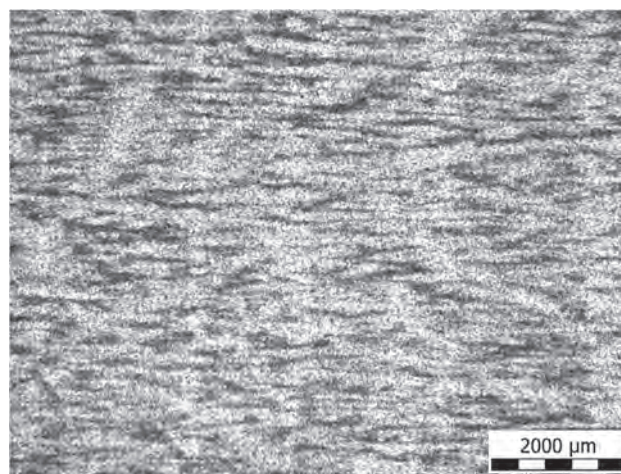


Fig. 5 Sample B – fine-grained ferritic-pearlitic structure

Obr. 5 Vzorek B – jemnozrná feriticko-perlitická struktura

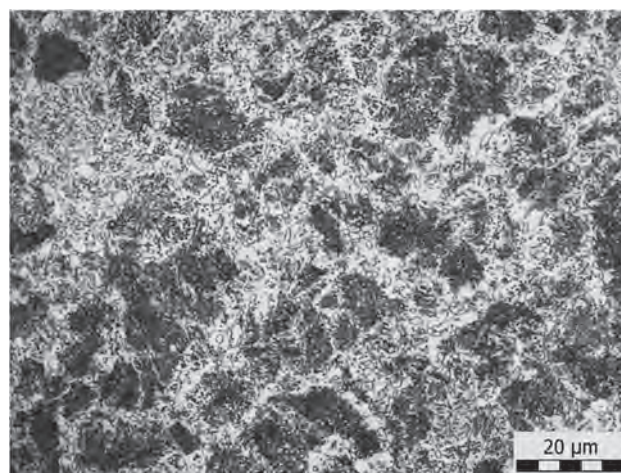


Fig. 6 Sample B – detail of the fine-grained ferritic-pearlitic structure

Obr. 6 Vzorek B – detail jemnozrné feriticko-perlitické struktury

The changes in the microstructure as well as the state of the individual phases are better seen in the detailed high-magnification images obtained by scanning electron microscopy on a JEOL JSM 5510 in secondary electron mode. In Figs. 7 and 8, remnants of the original pearlite lamellar arrangement, signs of spheroidization of cementite lamellae, and presence of coarser spherical cementite particles at the grain boundaries can be seen, no

structural differences between the potentially damaged and reference samples were found.

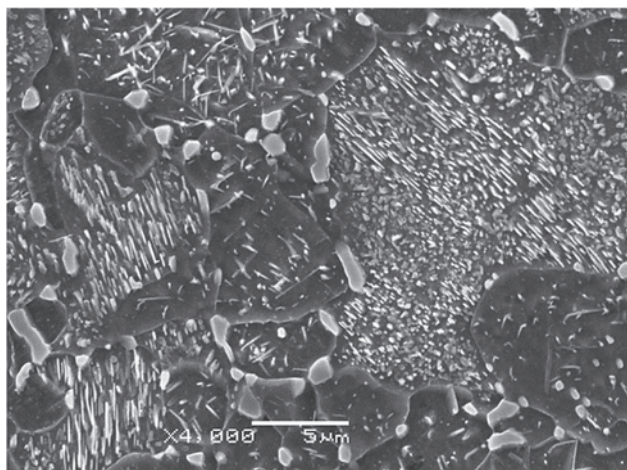


Fig. 7 Sample B –ferritic-pearlitic structure and coarse cementite particles on grain boundaries

Obr. 7 Vzorek B – feriticko-perlitická mikrostruktura a hrubé částice cementitu na hranicích zrn

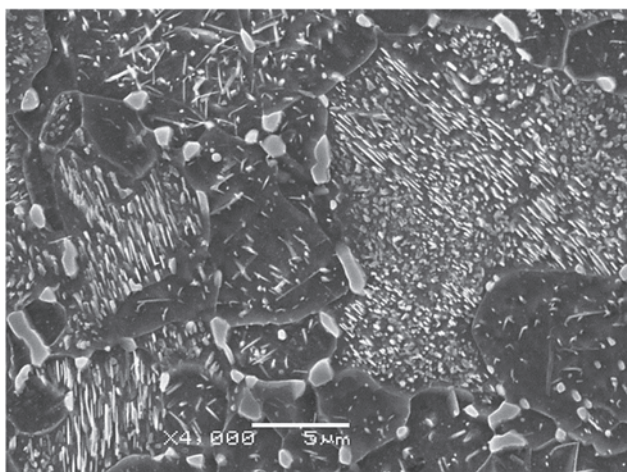


Fig. 8 Reference sample C – microstructure and coarse cementite particles on grain boundaries

Obr. 8 Referenční vzorek C – perlitická mikrostruktura a hrubé částice cementitu na hranicích zrn

3. Experimental results and discussion

Both the chemical composition of the converter vessel and its mechanical properties are (except for an insignificant positive deviation in the carbon content) in full compliance with the material standard. The relief that was observed in the monitored samples (no banding but alternation of light and dark areas) is caused by the fact that the sampling plane is parallel to the component surface which is usual for plates and sheets with ferritic-pearlitic structure. However, the microstructure has already shown signs of decomposition. With some exceptions, P460NH steel is supplied after normalization annealing and should therefore have a microstructure consisting of a mixture of ferrite and lamellar pearlite, possibly with a certain proportion of bainite. However, long-term exposure of steels at elevated temperatures leads to microstructural changes and thermally activated processes (non-

conservative movement of dislocations, diffusion, precipitation and dissolution of secondary phases) which precede nucleation and growth of defects. Evaluation of the decomposition and transformation of the ferritic-pearlitic and ferritic-bainitic structure due to long-term exposure at elevated temperature can be assessed using standards for low-alloy heat-resistant steels [8]. This transformation escalates in six stages (A to F) and the extent of decomposition and corresponding microstructure changes during long-term creep exposure are clearly shown in Fig. 9 for both ferritic-pearlitic and ferritic-bainitic microstructures. Based on this comparison, the actual state of the converter vessel structure can be classified as C/D. However, the evaluated mechanical properties are still high enough, the decomposition of the microstructure and mainly the precipitation of coarse cementite particles at the grain boundaries can be a certain threat to the toughness of the steel and can cause an increase in the ductile-brittle transition temperature (FATT).

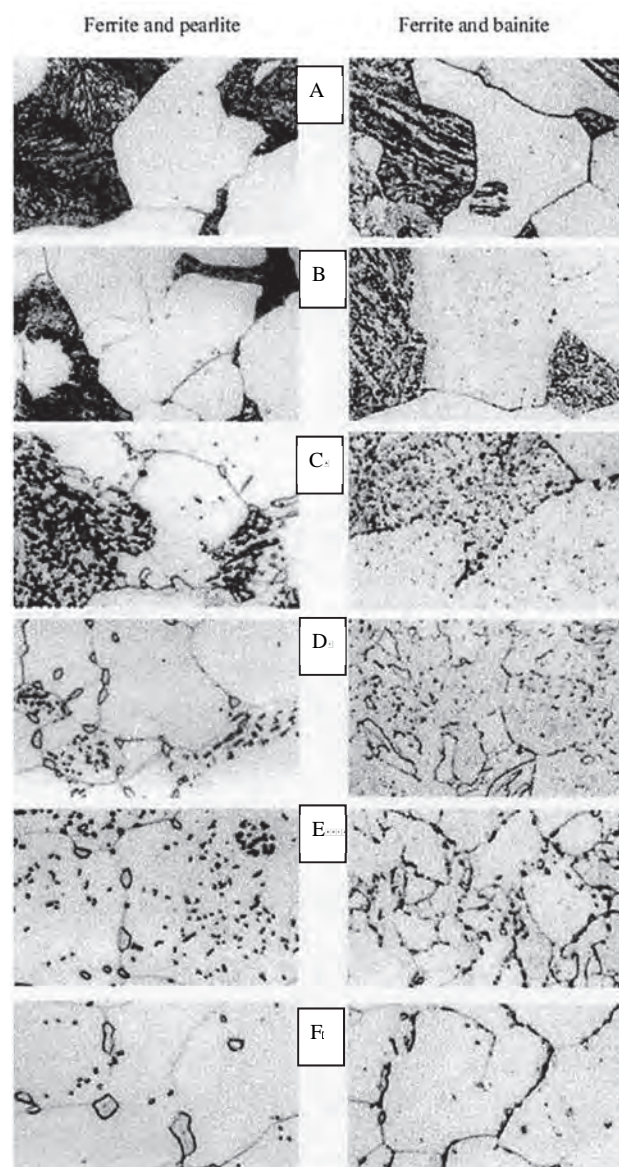


Fig. 9 Classification of structural state based on spheroidization of structure

Obr. 9 Klasifikace strukturálních stavů podle sferoidizace struktury

4. Conclusion

Above-mentioned analyses demonstrate that SPT proved as useful evaluation method. The converter vessel does not show any signs of excessive heat load and following degradation of the microstructure beyond the normal structural changes that occur during its standard operation. The observed structural changes have not yet had any negative effect on the properties of the converter vessel therefore it could be put in operation without major disruptions.

Acknowledgement

„This paper was created as a part of the drawing and use of institutional support for Long-term and conceptual development of a research organization in 2024, provided by the Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic“.

References

[1] EN 10371. Metallic materials – Small punch test method. Belgium: European committee for standardization, 2021.

- [2] GUAN, K., WANG, D., DOBROVSKÁ, J. and MATOCHA, K. Evaluation of the ductile-brittle transition temperature of anisotropic materials by small punch test with un-notched and U-notched specimens. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 102 (2019), 98-102.
- [3] ARANKUMAR, S. Overview of small punch test. *Met. Mater. Int.* 26 (2020), 719-738.
- [4] MATOCHA, K. *Hodnocení mechanických vlastností konstrukčních ocelí pomocí penetračních testů*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2010. 73 p. ISBN 978-80-248-2223-5
- [5] LUCON, E., BENZING, J. and HRABE, N. Development and Validation of Small Punch Testing at NIST. NIST Interagency/Internal Report (NISTIR) – 8303. 2020.
- [6] BRUCHHAUSEN, M. et al. Recent developments in small punch testing: Tensile properties and DBTT. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 86 (2016), 2-10.
- [7] ČSN EN 10028-3. Ploché výrobky z ocelí pro tlakové nádoby a zařízení – Část 3: Svařitelné jemnozrné oceli, normalizačně žíhané. Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [8] NEEDHAM, N. G. and CANE, B. J. Creep strain and rupture predictions by cavitation assessment in 2. 25 Cr-1 Mo steel weldments. In. *Proc. of Int. Conf Advances Life Prediction Methods*, ASME No 65, Albany, N.Y., 1983.

Evropská unie dovezla v prvním čtvrtletí 1,11 milionu tun ruských výrobků ze železa a oceli

V lednu až březnu 2024 snížila Evropská unie dovoz těžebních a kovových výrobků z Ruska o 18,4 % ve srovnání se stejným obdobím roku 2023 na 1,11 milionu tun. Náklady na dovoz ruských těžebních a kovových výrobků během tohoto období klesly o 11,9 % ve srovnání s lednem až březnem 2023 – na 583,3 milionů EUR.

Největší podíl na dovozu měly polotovary – 78,7 % z celkového dovozu. Za 3 měsíce EU dovezla z Ruska 874,1 tis. tun příslušných výrobků, meziročně o 4,2 % více. Největší podíl na dovozu polotovarů měla Belgie – 351,38 tis. tun (+2,2 % r/r).

Dodávky železné rudy z Ruska do EU dosáhly 9,36 kt, meziročně o 95,3 % méně. Celý objem surovin byl expedován na Slovensko. Dovoz feroslitin činil 22,42 tis. tun (+63,8 % r/r), surového železa – 198,75 tis. tun (-34,3 % r/r) a kovového šrotu – 6,38 tis. tun (-21,3 % r/r).

V lednu až březnu 2024 byli hlavními spotřebiteli těchto ruských výrobků ze železa a oceli:

- surové železo – Itálie – 137,8 tis. tun (-44,4 % r/r);
- feroslitiny – Nizozemsko – 16,34 tis. tun (+73,1 % r/r);
- šrot – Litva – 5,8 tis. tun (-17,8 % r/r).

V březnu 2023 EU zvýšila dovoz železných a ocelových výrobků z Ruska o 58,4 % m/ma 11,4 % r/r – na 534 tisíc tun. Dovošní náklady vzrostly o 63,9 % m/ma 28,6 % r/r – na 291,5 milionu EUR.

Navzdory sankcím uvaleným na Rusko ruský těžební a hutnický komplex nadále významně profituje z vývozu produktů do Evropské unie. Přestože se čísla ve srovnání s rokem 2023 výrazně snížila, dodávky jsou stále vysoké.

Zdroj: Eurostat

Korozní zkoušky s akcelerovanou migrací VOC ve vrstvě organických povlaků Corrosion Tests with Accelerated VOC Migration in a Layer of Organic Coatings

Ing. Lubomír Mindoš

SVÚOM s.r.o., U Měšťanského pivovaru 934/4, 17000 Praha 7, Česká republika

Článek prezentuje ověření vlivu migrace vysokovroucích těkavých organických látek (VOC) z epoxidových nátěrových vrstev na jejich ochranné vlastnosti. Vakuové testovací zařízení bylo navrženo a sestaveno pro urychlení migrace vysokovroucích VOC. Epoxidové povlaky byly vystaveny kombinovanému koroznímu prostředí. Vliv migrace vysokovroucích VOC byl ověřen i u starých nátěrů.

Klíčová slova: epoxidové povlaky; bariérový mechanismus; migrace VOC zesílená vakuem

The paper presents the verification of the effect of high-boiling VOC migration from epoxide coating layers onto its protective properties. The vacuum testing apparatus had been designed and assembled for acceleration of high-boiling VOC migration (HB-VOC). Epoxide coatings had been exposed at combined corrosion environments. The effect of HB-VOC migration was verified even for aged coatings.

Key words: epoxide coatings; barrier mechanisms; vacuum enhanced VOC migration

Úvod

Je všeobecně známo, že 2-složkové epoxidové pryskyřice jsou velmi využívány v oboru nátěrových hmot pro své mnohé výborné fyzikálně-chemické parametry. Je dále známo, že epoxidové nátěrové hmoty sestávají z celé řady chemických sloučenin, které se v průběhu vytvrzení, zrání a životnosti vrstvy nátěru určitým způsobem proměňují. Co je známo a předpokládá se, avšak je méně prozkoumáno, je to, že měřitelný podíl organických sloučenin ve vrstvě epoxidového povlaku může migrovat po dlouhou dobu. Z hlediska životnosti a stálosti ochranných vlastností epoxidových nátěrů nás zajímají především četnost a intenzita migrujících složek, které se v průběhu zrání nátěru nezabudovaly pevně do organické matrice, anebo se z ní v průběhu předpokládané životnosti odlišnými procesy uvolňovaly.

Vysokosušinnový epoxidový nátěr (High Solids) obsahuje brzy po zhotovení kolem 0,5 – 3 % hm. těkavých organických látek (VOC) o nižším bodu varu a také přibližně 15 - 25 % hm. vysokovroucích VOC o bodech varu v rozmezí od 200 °C do cca až 475 °C [1]. Při zhotovení nátěrů na ocelových konstrukcích dochází postupně k pozvolné migraci, vymývání i odpařování těchto VOC. Během prvních 3 let postupně odtěká z nátěrů přibližně polovina uvedeného množství těkavých látek, což vyvolává v nátěrech postupný nárůst vnitřního pnutí a vede ke smršťování nátěrů. Epoxidové nátěry se mimo jiné vyznačují vysokou přilnavostí k ocelovému podkladu, což spolu s výše uvedenými vlivy může mít za účinek praskání nátěrů.

Praskání epoxidového nátěru na ocelových konstrukcích po 3 letech od doby zhotovení může být způsobeno postupnou ztrátou nezabudovaných složek, uvážíme-li, že

v letním období se povrch nátěrů dokáže ohřát až na teploty přesahující 60 °C.

Nátěry ve sklovitém stavu, pod teplotou skelného přechodu T_g mají roztavnost 4x větší než ocel a v elastickém stavu nad teplotou T_g až 10x větší. Zkoušené nátěry vykazovaly po zhotovení T_g kolem 35 °C a po urychlených zkouškách T_g cca 55 °C [2].

Teoretický model předpokládá, že vlivem rozdílných distribucí molekulových hmotností epoxidových pryskyřic a vícesložkových tužidel na bázi různých nejčastěji aminových směsných aduktů a dalších pomocných sloučenin je vytvořena složitá kompozitní sestava, která po vytvrzení a vyžrání vrstvy nátěru obsahuje různé, nikoliv však nevýznamné množství sloučenin, které nejsou pevně zabudovány do organické matrice epoxidového nátěru.

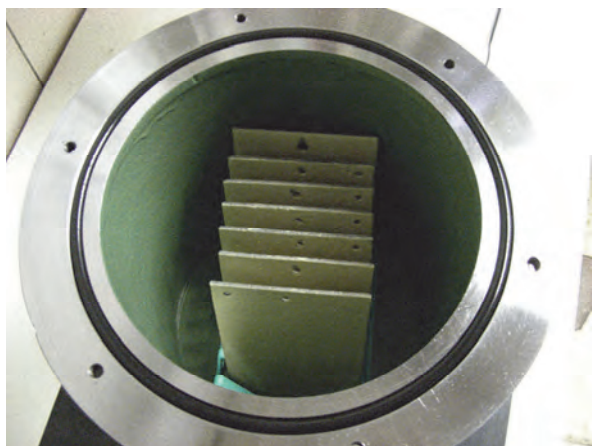
Změny vyvolané migrací těchto sloučenin v průběhu životnosti nátěru mohou významně ovlivňovat námi sledované fyzikálně-chemické parametry organické matrice, jako je např. adhezní a kohezní pevnost povlaku, difúzní odpor vůči pronikání plynů a vodě, T_g povlaku, změny vnitřního pnutí a s ním související praskání nátěru, sníženou odolnost povlaku vůči agresivním činidlům apod.

Uvažovaná skupina migrace schopných sloučenin patří mezi látky s podstatně vyšší molekulovou hmotností než většina organických rozpouštědel a často s velmi nízkou tenzí par. Tenze par je tlak nasycené páry v uzavřeném prostoru nad kapalinou, která je s ní v rovnováze. Závisí na teplotě a na druhu kapaliny. Z uvedeného vyplývá, že odpařivost uvažovaných sloučenin do okolní atmosféry za běžných atmosférických podmínek je velmi malá a pro účely testování je nutné tento fyzikální proces výrazně urychlit. Toho lze dosáhnout efektivně pouze výrazným snížením tlaku par ve zkušebním prostoru za současného

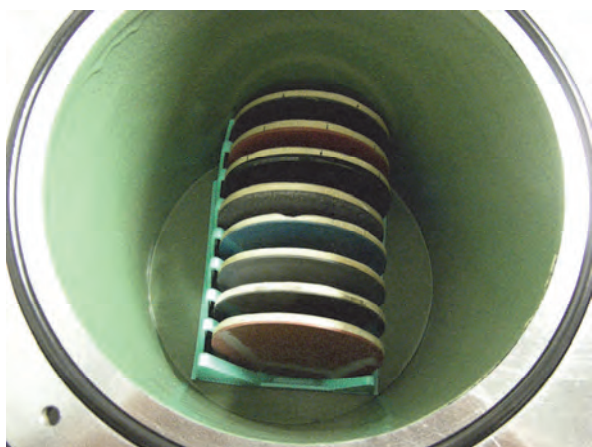
mírného zvýšení teploty až do meze, která nebude poškozovat organický povlak, optimálně pod hodnotu skelného přechodu organického nátěru.

Experiment

Pro ověření vlivu migrace VOC, zejména vysokovroucích, na ochranné vlastnosti epoxidových povlaků nanášených na ocelové konstrukce byla sestrojena zkušební aparatura, ve které bylo možné zajistit výrazné snížení tlaku par a plynů a libovolně měnit teplotu.



Obr. 1 Epoxidové povlaky na tryskané oceli
Fig. 1 Epoxy coatings on blasted steel



Obr. 2 Epoxidové povlaky na porézní keramice
Fig. 2 Epoxy coatings on porous ceramics

Pro experimenty byly vybrány 2-složkové epoxidové nátěrové hmoty určené pro profesionální aplikace na ocelové konstrukce. Epoxidové povlaky byly nanášeny na ocelový podklad a také na porézní keramický podklad. Zkušební vzorky byly nejprve ponechány volně na vzduchu k postupnému prosychání a poté střídavě evakuovány, přičemž byl průběžně zjišťován hmotnostní úbytek.

Zkoušeny byly i velmi dobře vyzrálé epoxidové povlaky o stáří minimálně 6 měsíců. I u těchto vyzrálých povlaků byl zaznamenán měřitelný úbytek hmotnosti vlivem odtěkání vysokovroucích VOC za podmínek vakuového experimentu.

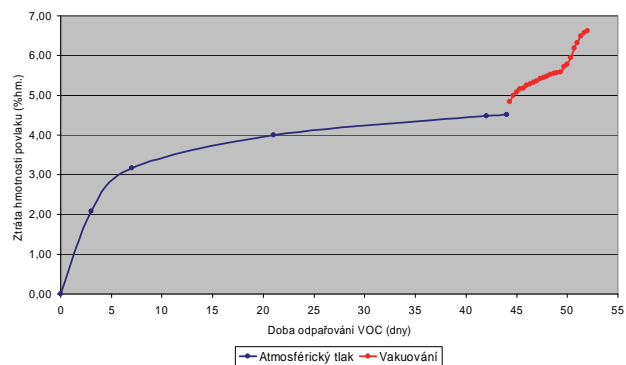
Epoxidové povlaky s různým obsahem VOC byly vystaveny koroznímu prostředí čisté kondenzační komory dle ČSN EN ISO 6270-2 a neutrální solné mlhy dle ČSN EN ISO 9227 a v časových intervalech byla ověřena kohezní a adhezní pevnost povlaků odtrhovou zkouškou. Byly tak porovnány povlaky evakuované i neevakuované, vždy o srovnatelné tloušťce, stejné báze a aplikované na stejném typu podkladu.

Výsledky a diskuze

Provedenými experimenty bylo ověřeno, že i z poměrně dobře vyzrálých organických povlaků na bázi 2-složkové epoxidové nátěrové hmoty lze při snížení tlaku a zvýšení teploty odstranit poměrně značný hmotnostní podíl VOC. Z provedených experimentů lze předpokládat, že v průběhu 45 denního zrání dvouvrstvého epoxidového nátěrového systému v běžné laboratorní atmosféře odtékaly zejména níževroucí podíly VOC, přičemž tendence k odtěkávání níževroucích podílů pozvolna šla k limitní hodnotě cca 4,5 % hm. z původní celkové hmotnosti obou vrstev nátěrů. Pro uvolnění dalších podílů, tentokrát výševroucích složek VOC z obou vrstev epoxidových povlaků, musely být pozměněny fyzikální podmínky experimentu takovým způsobem, aby zkoušený nátěrový systém (NS) nebyl poškozen. Toho bylo dosaženo výrazným snížením tlaku a optimálním zvýšením teploty ve zkušební aparatuře.

Naměřený průběh odpařování níževroucích a vysokovroucích složek VOC, které se pevně nezabudovaly do dvou vrstev zesíťovaných povlaků na bázi epoxidové pryskyřice, je znázorněn na obr. 3.

Porovnání vývoje adhezní a kohezní pevnosti 2-vrstvého epoxidového NS, stejné báze s různými odstíny pro lepší vizuální identifikaci změn vlivem ochuzení vrstev povlaků o vysokovroucí podíly VOC po expozici v korozních komorách, je uvedeno v tab. 1 - 4. Podklad nízkouhlíková ocel tloušťky 4 mm, tryskaná na čistotu Sa 2^{1/2} dle ČSN ISO 8501-1, drsnost oceli po tryskání Rz cca 40 μm dle ČSN EN ISO 8503-2.







Obr. 3 Naměřená data migrace všech složek VOC za různých podmínek experimentu.

Fig. 3 Measured migration data of all VOC components under different experiment conditions.

Tab. 1 NS bez evakuace, obsah HB-VOC nezměněn. DFT $208 \pm 18 \mu\text{m}$. Expozice ČSN EN ISO 6270-2.





Tab. 1 CS without evacuation, HB-VOC content unchanged. DFT $208 \pm 18 \mu\text{m}$. Exposure EN ISO 6270-2.

0 hod	240 hod	480 hod	720 hod
			
7,8 MPa	8,2 MPa	8,0 MPa	7,9 MPa

NS = nátěrový systém, CS = coating system, DFT = dry film thickness. MPa = tensile strength of the coating.

Tab. 2 NS evakuován, obsah HB-VOC snížen. DFT $200 \pm 14 \mu\text{m}$. Expozice ČSN EN ISO 6270-2.

Tab. 2 CS evacuated, HB-VOC content reduced. DFT $200 \pm 14 \mu\text{m}$. Exposure EN ISO 6270-2.





0 hod	240 hod	480 hod	720 hod
			
7,2 MPa	7,4 MPa	5,0 MPa	4,4 MPa

Po 240 hod u evakuovaného NS byl pozorován téměř 100 % adhezní lom mezi vrstvami, hodnota přilnavosti ještě srovnatelná. Avšak po 480 hod u evakuovaného NS





výrazná ztráta adheze nátěrového systému až od podkladu a snížení hodnoty přilnavosti. Po 720 hod další výrazné snížení hodnoty přilnavosti odtrhem u evakuovaného NS.

Tab. 3 NS bez evakuace, obsah HB-VOC nezměněn. DFT $195 \pm 9 \mu\text{m}$, expoziční ČSN EN ISO 9227.

Tab. 3 CS without evacuation, HB-VOC content unchanged. DFT $195 \pm 9 \mu\text{m}$, Exposure EN ISO 9227.

0 hod	240 hod	480 hod	720 hod
			
7,0 MPa	8,2 MPa	8,6 MPa	8,3 MPa

Tab. 4 NS evakuován, obsah HB-VOC snížen. DFT $196 \pm 14 \mu\text{m}$, expozice ČSN EN ISO 9227.
Tab. 4 CS evacuated, HB-VOC content reduced. DFT $196 \pm 14 \mu\text{m}$. Exposure EN ISO 9227.

0 hod	240 hod	480 hod	720 hod
			
7,0 MPa	7,8 MPa	8,0 MPa	4,6 MPa

Na počátku bez expozice v solné mlze, byla srovnatelná hodnota přilnavosti u obou NS. U evakuovaného NS lze stejně jako v předchozím porovnání vysledovat podstatně větší plochu, na které došlo ke koheznímu porušení v horní vrstvě nátěru. Příčinu lze odvodit např. právě z ochuzení nátěru o vysokovroucí podíly VOC, které mohou mít plastifikující účinek a ovlivňovat tak kohezní pevnost vrstvy nátěru. Opět po 240 hod u evakuovaného NS došlo téměř 100 % adhezní porušení mezi vrstvami nátěrů. Celková hodnota odtrhových pevností do 480 hod expozice byla srovnatelná, po 720 hod však u evakuovaného NS pozorována výrazná ztráta adheze nátěrového systému k tryskanému podkladu a výrazně nižší hodnota přilnavosti odtrhem.

Závěr

Zkušebními experimenty byl potvrzen významný vliv migrace organických podílů, které nejsou pevně

zabudovány do pojivové matrice epoxidových povlaků na adhezní a kohezní parametry vrstev nátěrů. Ochuzení epoxidového povlaku o vysokovroucí organické podíly mělo v provedených korozních experimentech zásadní dopad vedoucí ke snížení ochranných vlastností zkoušených epoxidových povlaků. Podařilo se tak experimentálně ověřit a potvrdit teoretické předpoklady o významném vlivu migrace nezabudovaných vysokovroucích podílů VOC a podpořit tím vznik nových modifikací urychlených korozních zkušebních metod.

Literatura

- [1] BIJEN, J. and VAN MONFORT, J. *Materials Performance* 38(5), 46 (1999).
- [2] NEGELE, O. and FUNKE W. *Progress in Organic Coatings* 28, (1996). 285-289.

Evropská unie dovezla v prvním čtvrtletí 1,1 milionu tun ruských výrobků ze železa a oceli

V lednu až březnu 2024 snížila Evropská unie dovoz těžebních a kovových výrobků z Ruska o 18,4 % ve srovnání se stejným obdobím roku 2023 na 1,1 milionu tun. Náklady na dovoz ruských těžebních a kovových výrobků během tohoto období klesly o 11,9 % ve srovnání s lednem až březnem 2023 – na 583,3 milionů EUR.

Největší podíl na dovozu měly polotovary – 78,7 % z celkového dovozu. Za 3 měsíce EU dovezla z Ruska 874,1 tis. tun příslušných výrobků, mezioččně o 4,2 % více. Největší podíl na dovozu polotovarů měla Belgie – 351,38 tis. tun (+2,2 % r/r).

Dodávky železné rudy z Ruska do EU dosáhly 9,36 kt, mezioččně o 95,3 % méně. Celý objem surovin byl expedován na Slovensko. Dovoz feroslitin činil 22,42 tis. tun (+63,8 % r/r), surového železa – 198,75 tis. tun (-34,3 % r/r) a kovového šrotu – 6,38 tis. tun (-21,3 % r/r).

V lednu až březnu 2024 byli hlavními spotřebiteli těchto ruských výrobků ze železa a oceli: surové železo – Itálie – 137,8 tis. tun (-44,4 % r/r); feroslitiny – Nizozemsko – 16,34 tis. tun (+73,1 % r/r); šrot – Litva – 5,8 tis. tun (-17,8 % r/r).

V březnu 2023 EU zvýšila dovoz železných a ocelových výrobků z Ruska o 58,4 % m/ma 11,4 % r/r – na 534 tisíc tun. Dovozy náklady vzrostly o 63,9 % m/ma 28,6 % r/r – na 291,5 milionu EUR.

Navzdory sankcím uvaleným na Rusko ruský těžební a hutnický komplex nadále významně profituje z vývozu produktů do Evropské unie. Přestože se čísla ve srovnání s rokem 2023 výrazně snížila, dodávky jsou stále vysoké.

Zdroj: Eurostat

Informační články

Implementation of Circular Economy Principles into Industrial Practice

Implementace principů cirkulární ekonomiky do průmyslové výroby

prof. Ing. Jozef Vlček, Ph.D.

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM, s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava - Vítkovice, Česká republika

The Czech Republic, like other EU countries, has only limited raw material resources. From a geopolitical point of view, the availability of natural resources is becoming increasingly difficult. On the other hand, the development of society is putting pressure on the growth of consumption. The need to seek measures to mitigate the need for natural resources is thus obvious. The problem presented can be addressed by implementing the principles of circular economy. The need to extend the life cycle of resources is also a topical issue at the European level. In the short term, companies will face increased challenges in this area. The present paper focuses on the principles of the circular economy and provides a brief overview of the plans by which the state intends to support the implementation of the circular economy in the practical functioning of society.

Key words: Circular economy; sustainable development; waste management

Česká republika, podobně jako další země Evropské unie, disponují pouze s omezenými surovinovými zdroji. Dostupnost přírodních surovin se stává z geopolitického hlediska obtížnější. Na straně druhé rozvoj společnosti vytváří tlak na růst spotřeby. Nutnost hledat opatření zmírňující potřebu přírodních zdrojů je tak zřejmá. Představený problém je možno řešit implementací zásad cirkulární ekonomiky. Nezbytnost prodlužování životního cyklu zdrojů je zároveň aktuálním tématem na evropské úrovni. V krátké budoucnosti budou firmy v této oblasti čelit zesíleným výzvám. Předložený příspěvek se věnuje zásadám cirkulární ekonomiky a přináší stručný přehled plánů, kterými chce stát podpořit implementaci oběhového hospodářství do praktického fungování společnosti. Práce se věnuje situaci v metalurgickém průmyslu, kdy jeho vysoká energetická a materiálová náročnost přináší dobrou příležitost pro praktické uplatnění zásad cirkulární ekonomiky.

Klíčová slova: Cirkulární ekonomika; udržitelný rozvoj; odpady

Introduction

The company's development is moving towards a gradual transition away from conventional production methods, towards production with a high degree of automation and thus, of course, the application of digitalisation. Production processes that meet the criteria of Industry 4.0 are becoming part of the newly developed technologies. In addition to seeking to increase the efficiency of production and reduce the proportion of human labour involved in its implementation, manufacturing companies are also forced to incorporate into their plans requirements arising from objectives that seek to reduce the environmental burden of their activities. The changes and new challenges that are coming in this area are very rapid.

The nature and scope of modernisation measures, as well as the normal decision-making processes in company management, are not only based on the perspective of strengthening the company's market position, but they

must also respect legislative requirements. In the European Union, the activity of issuing regulations of various kinds is notorious, and it is appropriate to have a discussion about the reality of fulfilling the requirements presented and the effectiveness they bring. This is a symbolic theme in these days when we are celebrating the 20th anniversary of membership in this organisation.

The sustainability of the EU's development is a major issue. This is not a recent innovation that should inevitably be associated with the main document that sets the framework for a new direction in the environmental field, the European Green Deal. The concept of sustainability has been appearing in environmental textbooks since the last century. For example, the World Conservation Strategy which was prepared in 1980 by the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, declared one of its goals to ensure the sustainable use of ecosystems [1].

It is important to recall that sustainable development seeks to improve the material standard of the population, but of

course it is equally important that the capacity of ecosystems must be maintained for future generations. At the same time, it is essential that development must be accessible to all population groups. There is a great need to strike a balance between economic progress, environmental protection, and the social aspect. Economic progress must stand on the pillars of environmental sustainability and social cohesion.

The importance of paying systematic attention to responsible and sustainable growth is clear. It is possible to point out global population growth and, at the same time, global growth in living standards. The urgency of addressing the issue of sustainable growth is well illustrated by the global growth in crude iron and steel production, Fig. 1. It is obvious that the self-regulatory capacity of the market mechanism cannot be relied upon in this area, but an acceptable consensus is needed. The good news here is that European society perceives that its progress can be achieved by increasing competitiveness, i.e. by promoting competitiveness.

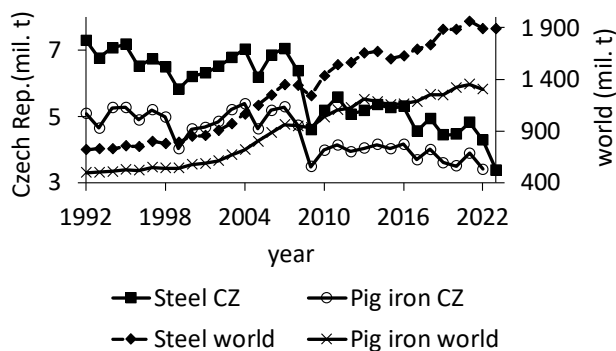


Fig. 1 Pig iron and steel production in the Czech Republic and in the world [2]

Obr. 1 Produkce surového železa a oceli v ČR a ve světě [2]

There are many ways to ensure sustainability. One strong component of the activities carried out in this interest is the so-called circular economy. The need for its implementation should be seen not only as a response to a coercive instrument from the state, but also as a means of demonstrating social responsibility and, last but not least, it is necessary to look for economic opportunities in circular economy activities.

Circular economy

The circular economy is an economic system that preserves the value of products, materials and other resources for as long as possible and seeks to maximize resource efficiency in production and consumption, thereby creating pressure to reduce waste. Where waste is generated, circular economy seeks to return it to the production cycle and seeks to reduce its negative environmental impacts. It is argued that circular economy changes the linear model of materials management - make, use and throw away - to a circular model - make, use, discard and reuse.

The circular economy does not only concern waste management, but also extends to a wider range of activities

and aims to minimise the consumption of natural resources. It represents the management of production, consumption and use of not only products but also services. The circular economy is implemented, for example, by extending the life cycle of products, recycling opportunities, repairing products, promoting their reuse or renting and sharing. Adapting these principles ultimately reduces waste.

The application of circular economy principles is specific to scarce raw materials. The European Union defines critical and strategic raw materials of a non-energy nature. Critical raw materials are those that are indispensable for the development of society and whose supply can be easily disrupted, by imports. These raw materials are particularly important for developing new technologies such as digitalisation, electro-mobility or are indispensable for producing renewable energy equipment, semiconductor production, and meeting other needs, including fertiliser production. Finally, these raw materials are important for the defence and aerospace industries. Strategic raw materials are those that are likely to have strong growth in consumption and, again, are raw materials where supplies can easily be constrained. The list of strategic and critical raw materials is contained in [3]. For strategic raw materials, at least 10% of their extraction should take place within the EU, while at least 40% of the annual consumption of the raw materials in question must be processed in the EU and imports from one country must not exceed 65% of consumption. In the case of these raw materials, the circular economy policy becomes clearly defined, with the requirements formulated primarily with geopolitical considerations in mind.

An overview of the changes that the company expects to see in connection with the introduction of the circular economy is provided in an action plan that has been prepared specifically to address this issue [4]. It defines the principles for sustainable products (increasing their lifetime, reducing the carbon footprint of their production, allowing the refurbishment and recycling of used products, prohibiting the disposal of unused non-perishable products, limiting the single use of products, promoting the use of products through sharing, promoting easy information on product parameters through digital means and, finally, pricing products on the basis of their sustainability). These rules apply in particular to products for which a significant environmental impact has been indicated, either in terms of the intensity of their production or the quantities placed on the market. For now, these include electronics, communication tools, batteries, vehicles, plastics, textiles and furniture. But also commodity-type products such as steel, cement and chemicals. Similarly, rules will be defined for services. The issue of packaging is treated separately (intention to reduce its quantity, its ease of recycling, the proportion of recycled components).

Consumer empowerment is a specific chapter of the Circular Economy Action Plan. In this respect, in addition to consumer involvement in the circular economy process, the social dimension of the whole system is also pursued. The EU declares that its efforts towards sustainable development also take this aspect into account. The right

to repair and the availability of spare parts are becoming an important element in the life cycle of products. Information about the product in terms of its relationship with the environment will be guaranteed [4].

Circular economy enters the life cycle of a product at the production stage. Here, it is envisaged that BAT documents will be revised to give preference to technologies that support the circular economy, for example by applying waste in production [4]. In this respect, ecodesign rules for products with higher energy requirements have been in force for more than a decade [5]. A uniform system for auditing activities is to be promoted to examine the degree of involvement of manufacturing companies in the circular economy and compliance with the system will be verified by certification. The EU itself wants to pay attention to the measurability of the effectiveness of the circular economy measures implemented, and to the progress of the process of achieving climate balance. The scheme focuses primarily on controlling CO₂ [4].

Circular economy policy does not forget food as a source of much waste. It introduces, for example, a system of water reuse in food cultivation and production. In the area of waste, the EU aims to halve the production of non-recyclable municipal waste by 2030. One of the steps to achieve higher recycling rates will be to require the application of waste materials in new products. A major theme of the circular economy is the upgrading of waste to a marketable raw material. A related issue is the tightening of EU waste export rules [4]. The preference is for waste to be treated or better used as close as possible to its place of origin.

For industrial companies, the plans to reduce the use of hazardous substances are important. Efforts will be made to reduce their production and to remove them from systems where they are applied. There are plans to tighten the rules on the registration of substances of very high concern.

The construction industry and building operations are coming under the spotlight. The construction industry is the sector with the highest waste production. There is a need to promote the reuse of non-functioning built-up areas, to increase the rate of recovery of demolition waste, and to make public procurement in this sector more focused on the whole life cycle of the construction project.

It is clear that a number of clarifying documents for the circular economy rules will be adopted in the near future. This will put pressure on companies to demonstrate compliance with these new rules. In the recent past, it was not uncommon for manufacturers to define their own environmental standards and claim their products to be 'green', without the need to verify this objectively. Practices where the information presented in this way was deliberately misleading were no exception. This practice is called 'greenwashing' or 'green sheen'. These manipulative practices should no longer occur. There is a document on the obligation to truthfully substantiate environmental claims (Green Claims Directive). Information in this sense must be based on scientific knowledge, and there is an obligation to inform users of products about the principles

of correct use, so that their use minimises damage to the environment [6].

A mechanism is being set up to monitor the implementation of commitments linked to the circular economy. This is the ESG process (Environmental Social Governance), which both oversees and helps to set and implement the sustainability of the company's business in the areas defined by the acronym in its designation. Since this year, selected companies have been obliged to submit non-financial reporting, which also makes a binding statement on sustainability issues. The ability to present the company positively in these indicators will be necessary, for example, to obtain public support or banking services. The range of companies subject to the non-financial reporting obligation will gradually expand from large companies to smaller ones [7].

The obligations will also apply to companies involved in iron and steel production and other related industries. It is appropriate to comply with the principles of circular economy in a sector characterised by a massive demand for the movement and processing of raw material. On the one hand, the steel industry boasts a high recycling rate, while on the other hand, the high energy intensity of the sector can be highlighted. Pig iron production is the activity that consumes the most energy of all the manufacturing sectors surveyed. According to the Czech Statistical Office, the production of approximately 4 million tonnes of pig iron requires 70 PJ of energy [8]. In the Czech Republic, this amount of energy is clearly the highest of the manufacturing sectors studied. A comparison of the energy intensity of selected manufacturing sectors is documented in Tab. 1.

Tab. 1 Energy consumption for selected technologies, Czech Republic [8]
Tab. 1 Spotřeba energie pro vybrané technologie, ČR [8]

Product	Energy Consumption [PJ]	Production [mil. T]
Pig Iron	71	4,0
EAF Steel	0,051	0,07
Cold Rolled Strip Steel	8,2	3,5
Steel Tubes	1,7	0,47
Steel Wire	0,77	0,53
Aluminium and Aluminium Alloys	1,38	0,21
Polypropylene and Copolymers	6,70	0,37
Cement Clinker – Dry Process	13	3,5
Lime	4,6	1,1
Prefabricated Structural Components	0,49	1,39
Fired Bricks	2,53	1,28
Drawned Sheet Glass	5,03	0,68

High energy consumption in today's energy mix directly indicates high CO₂. Global statistics indicate the production of approximately 2 t CO₂ per tonne of steel, Fig. 2.

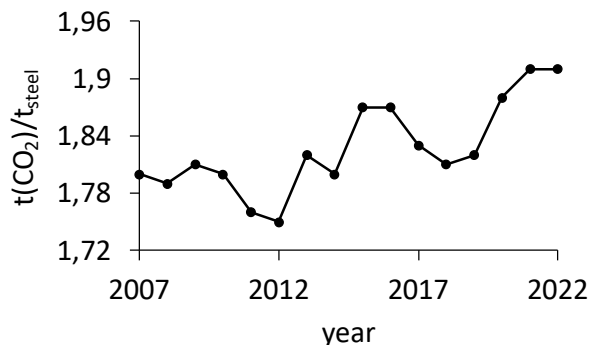


Fig. 2 Specific CO₂ production in relation to steel production [2]
Obr. 2 Měrná produkce CO₂ vztážená na výrobu oceli [2]

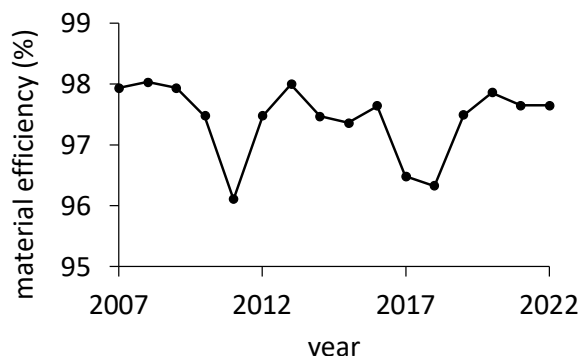


Fig. 3 Share of materials converted to solid and liquid products and co-products [2]
Obr. 3 Podíl hmotnosti využitelné produkce vztážený na hmotnost vstupu pro výrobu oceli [2]

Similarly, the production of waste in metallurgical processes has not been reduced. The value of the material yield of steel and the associated usable by-products (e.g. granulated blast furnace slag, slag aggregate, etc.) in relation to the amount of waste produced, again over the last decade, has not changed significantly, Figure 3 [2]. The metallurgy sector is key to the sustainability of the EU's competitiveness and will need to make the impacts of climate policy bearable for the sector. The preparedness of the European steel industry for the expected changes can be illustrated by the figure for the share of iron production by direct reduction process. This currently amounts to around 0.6 million tonnes per year in the EU. This is not the share of modern hydrogen reduction technology; contemporary direct reduction processes are recorded. This technology is largely neglected in Europe. In the world, iron production by direct reduction exceeds 125 million t/year. The transition to decarbonised production will be very long and difficult. It is true that the interim progress towards the intended targets is dividing the EU countries. There are countries with a traditionally strong environmental orientation whose attitudes reflect a willingness to meet the commitments (Austria, Slovenia, the Netherlands are examples) and, on the other hand, there are countries that have legitimate objections to the planned activities in this area.

Conclusion

Society will encounter the term circular economy more often in the near future. Meeting the obligations expected in this area will bring a number of complications, increasing the administrative and financial burden on companies. On the other hand, it is understandable that society's consumption should be moderated, and that the basic premises of the circular economy have a real basis in reality. It will also depend on the wording of the specific implementing regulations whether the newly imposed obligations will produce the desired results. If the development of European society can be made sustainable, then this is also good news for businesses, which will have the prerequisites for their future operations. Certainly, activities linked to the circular economy are a new opportunity in the development of the future direction of companies. The success of the process will depend on the ability to strike a healthy balance between plans and the capacity to implement them.

Acknowledgements

This work was made within the framework of the Institutional support for long-term and conceptual development of a research organization in 2024, provided by the Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic.

References

- [1] SLÁDEK, Jozef, aj. Aby přežili rok 2000. Martin: Osveta, 1989. 163 s.
- [2] World Steel Association AISBL [on line] Search statistics archive. <https://worldsteel.org/>.
- [3] REGULATION (EU) 2024/1252 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council Establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials. Brussels: Official Journal of the European Union, 2024.
- [4] A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe. No. 52020DC0098. Brussels: European Commission, 2020.
- [5] DIRECTIVE 2009/125/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. Brussels: Official Journal of the European Union, 2009.
- [6] Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on substantiation and communication of explicit environmental claims (Green Claims Directive). No. 2023/0085 (COD). Brussels: European Commission, 2023.
- [7] DIRECTIVE (EU) 2022/2464 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 14 December 2022 amending Regulation (EU) No 537/2014, Directive 2004/109/EC, Directive 2006/43/EC and Directive 2013/34/EU, as regards corporate sustainability reporting. Brussels: Official Journal of the European Union, 2022.
- [8] Průmysl a energetika, energetická náročnost výroby vybraných výrobků – 2018. Český statistický úřad, 2018. <https://www.czso.cz/csu/czso/energeticka-narocnost-vyroby-vybranych-vyrobku-2018>.

Zkušenosti z použití alitovaných elektrod na pánvové peci

Experiences in Using Alited Electrodes on a Ladle Furnace

Ing. František Vrána; Ing. Adéla Odehnalová; Ing. Pavel Fila, Ph.D.; Ing. Martin Balcar, Ph.D.

ŽĎAS a.s. Strojírenská 675/6, 591 01 Žďár nad Sázavou 1, Česká republika

V elektrických obloukových pecích a na ně navazujících pánvových pecích jsou používány grafitové elektrody na tavení a dohřívání oceli. Tyto elektrody jsou opotřebovávány nejen kontaktem s tekutou ocelí, ale také oxidací pecní atmosférou.

Ve ŽĎAS, a.s. byly ověřovány grafitové elektrody s povrchovou úpravou. Povrchová úprava formou alitace představuje nanesení několika vrstev různých kovů, jenž chrání elektrodu před oxidací. V důsledku by mělo být dosaženo výrazně nižší oxidace povrchu elektrody a snížení spotřeby grafitových elektrod na vyrobenou tunu oceli. Ochranný povlak je vyráběn společností Graphite COVA GmbH, Röthenbachu a.d. Pegnitz, Německo. Článek zmiňuje průběh a výsledky experimentálních zkoušek.

Klíčová slova: pánvová pec; grafitové elektrody; sekundární metalurgie; redukce plynů; šetření materiálu

Graphite electrodes are used in electric arc furnaces and ladle furnaces to facilitate melting and rating of molten metals. In the proces, the eletcrodes are used up by dissolving in molten metal and slag and by surface oxidation. It is functionally impossible to prevent the electrodes from being dissolved in metal and slag. Preventing surface oxidation is possible by either cooling the electrode's surface below graphite's ignition point, or by preventing contact with gaseous oxygen.

Cooling electrodes on electric arc furnaces and ladle furnaces is not very effective, because water, the most readily available coolant, must not be present below the furnace lid. This means cooling only protects the parts of the electrodes outside the furnace itself and decreases the time after a heat during which the electrodes oxidate. Alited electrodes are graphite electrodes coated in several protective layers, in order to stop contact with oxygen, even at hight temperatures. 6 alited electrodes were tested in ŽĎAS a.s. in order to see how much could be saved by using them instead of standard graphite electrodes. The 6 alited electrodes were used in one electrode column of a ladle furnace, while standard graphite electrodes were used on the other two columns. Observations were made on the shape of the electrodes during use, the interaction with the clamping device, the usage of electrical power, and the mass of electrodes consumed on each column.

The results were, that the alited electrodes maintained their radius better, they did not change the amount of electrical energy required per tonne of steel, they did not cause undue heating or any other strange interaction with the clamping device, and less of them was consumed per tonne of steel than of standard graphite elecrodos. Specifically, if there were standard graphite electrodes on every column, there would be $1,42 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ of graphite consumed, while with alited electrodes, it would have been $1,19 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$, which is around 16% graphite consumed.

Key words: Ladle furnace; graphite electrodes; secondary metallurgy; flue gas reduction; material savings

1. Problematika opotřebení elektrod

1.1. Opotřebení obloukem

Ve chvíli, kdy je grafitová elektroda v kontaktu s roztavenou ocelí a probíhá elektrický oblouk, je spodek elektrody přímo opotřebováván elektrickým obloukem a částečně dochází k rozpouštění určitého množství grafitu v tavenině kovu a strusky.

Tomuto opotřebení nelze zabránit, protože je přímým důsledkem používání pro účel ohřevu taveniny.

1.2. Opotřebení oxidací

Povrch grafitové elektrody při teplotě nad $650 \text{ }^\circ\text{C}$ a za přístupu kyslíku [1] velmi intenzivně oxiduje.

Oxidací elektrody na jejím povrchu se postupně mění tvar elektrody a ta získává jehlanovitý tvar, jak je uvedeno na obr. 1. Nerovnoměrné opotřebení a vznik jehlanovitého tvaru elektrody je důsledkem doby expozice elektrody při teplotách nad $650 \text{ }^\circ\text{C}$.

Opotřebení oxidací lze zmírnit buď snížením času, po který jsou elektrody vystavené záru vyššímu, než je teplota $650 \text{ }^\circ\text{C}$ nebo omezením přístupu kyslíku.



Obr. 1 Standardní grafitové elektrody
Fig. 1 Standard graphite electrodes

2. Ochrana elektrod proti oxidaci

2.1 Chlazení elektrod

Při výrobě a zpracování oceli na elektrických obloukových pecích (EOP) a pánvových pecích (LF) je možné chladit elektrody ostříkem vodou. Ostříkem a následným odpařováním vody jsou elektrody ochlazovány, což brání jejich oxidaci. Ostřík elektrod vodou se provádí na části elektrod nad víkem pece a proud vody je kontrolován tak, aby voda nestékala po elektrodě do pece a taveniny. [2] Ochrana elektrod proti oxidaci ostříkováním vodou má omezenou účinnost vlivem vysokých teplot v oblasti nad hladinou kovu a pod víkem pece. Účinnost daného způsobu chlazení elektrod se tak výrazně zvyšuje ve fázích tavby, kdy je přerušen elektrický oblouk a elektrody jsou vysunuty nad víko pece.

2.2 Omezení přístupu kyslíku k povrchu elektrody

Snížení opotřebení elektrod oxidací je možné i způsobem, který zabrání přímému kontaktu grafitu s kyslíkem. Ochrana se v současnosti provádí povlakováním elektrod speciálními slitinami, které se nazývají alitace. V technické praxi se ochrana grafitových elektrod provádí nanášením několika vrstev kovu a slitin. Ochranné povlaky jsou ve dvou variantách, černá a bílá varianta obsahuje ve třech vrstvách od povrchu elektrody kombinaci hliníku a výrobcem neuvedených složek, hliníkových slitin a čistého hliníku. Černá varianta má navíc na povrchu

vrstvu výrobcem neuvedeného kovu a vrstvu grafitu. Parametry ochranné vrstvy jsou v tab. 1. [3]

Podle výrobce se hliníková vrstva má při teplotě cca 600 °C roztavit a jako kapalina přilnout k povrchu elektrody, čímž dále zabraňuje přístupu kyslíku. [3]

Tab. 1 Parametry ochranné vrstvy elektrod [3]

Tab. 1 Parameters of electrode protection layer [3]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Tloušťka	[mm]	0,5 až 0,8
Rezistivita	[$\Omega \cdot \mu\text{m}$]	0,07 až 0,10
Neprodyšnost na 900 °C	[hodin]	> 50
Teplota rozpadu	[°C]	> 1850
Zpoždění oxidace grafitu	[hodin]	10 až 20

3. Experimentální práce

Pro provozní ověření přínosů použití alitovaných grafitových elektrod v porovnání s běžnými grafitovými elektrodami, které jsou v současnosti dodávány s impregnací proti oxidaci, byla využita kvalita černých alitovaných elektrod průměru 255 mm. Ověření a provozní zkoušky byly realizovány ve ŽĎAS, a.s. na LF pro zpracování 20 tun tekutého kovu.

3.1 Dokumentace alitovaných elektrod

Pro experimentální ověření v Ocelárně ŽĎAS, a.s. bylo nakoupeno 7 ks alitovaných elektrod o hmotnosti cca 159 kg·ks⁻¹, při celkové hmotnosti 1111 kg. Před zahájením instalace alitovaných elektrod na pánvovou pec (LF) byly elektrody vizuálně kontrolovány a označeny pořadovými čísly 1A až 7A, jak je zřejmé z obr. 2.



Obr. 2 Zkušební alitované elektrody
Fig. 2 Aliteted electrodes for test

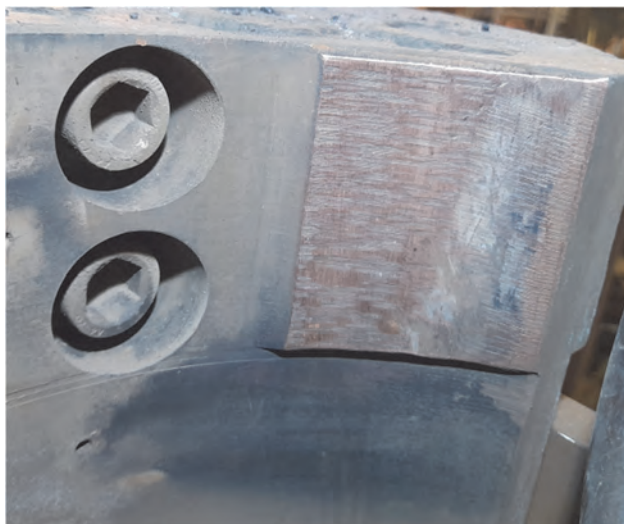
Obr. 3 dokládá zjištěnou vadu povrchu jedné z dodaných elektrod s označením 5A. Vada se vyskytovala lokálně a byla charakteru porušení souvislosti vrstvy alitace a přítomnosti oxidů kovu.



Obr. 3 Vady povrchu elektrody 5A
Fig. 3 Electrode 5A surface defects

3.2 Ověření alitovaných elektrod na LF

Před instalací alitovaných elektrod na jedno z ramen LF byla provedena vizuální kontrola stavu měděných kontaktních ploch, které dokumentuje obr. 4.



Obr. 4 Stav měděné svorky rameno pro uchycení GE na LF
Fig. 4 State of the copper clamp for clamping GE on LF

První alitovaná elektroda byla instalována na jedno ze tří ramen LF na standardní grafitovou elektrodu. Následně bylo provedeno vážení všech tří instalovaných sloupců elektrod a výchozí váhy byly zaznamenány.

Alitované elektrody byly v průběhu ověřování postupně nasazovány na stejné rameno LF. V daném časovém rámci tak bylo možné porovnávat vizuální rozdíly mezi opotřebením různých typů elektrod instalovaných na jednotlivých ramenech. Současně bylo možné provádět průběžnou kontrolu spotřeby grafitových elektrod na jednotlivých ramenech LF.

V rámci experimentální práce bylo dohlíženo na stav měděných kontaktních ploch pro uchycení elektrody v rameni a přenos elektrického proudu. Po dobu

zpracování 6 ks alitovaných elektrod (1 ks elektrody nebyl v experimentu použit) nebylo zaznamenáno nestandardní opotřebení ani nebyly pozorovány stopy lokálního přehřívání měděných ploch.

Obr. 5 dokumentuje vzhled přechodu standardní GE na alitovanou GE. Je patrné výrazné rozdílné opotřebení elektrod oxidací.



Obr. 5 GE vpravo – přechod alitovaná (horní)/standardní (dolní)
Fig. 5 Right: Transition from alited GE (upper) to standard GE (lower)

Na obr. 6 pak můžeme pozorovat výrazný rozdíl v opotřebení použitých typů elektrod oxidací ve finální fázi ověření alitovaných elektrod. Na uvedeném snímku je zřejmý přechod mezi dolní alitovanou elektrodou a následující horní standardní grafitovou elektrodou.



Obr. 6 Přechod standardní (horní)/ alitovaná (dolní)
Fig. 6 Transition from standard GE (upper) to alited GE (lower)

Z uvedených obr. 5 a obr. 6 lze učinit závěr, že alitované GE vykazují vyšší odolnosti proti opotřebení oxidací, resp. jsou schopné výrazně delší dobu odolávat oxidaci za vysokých teplot v podmínkách zpracování taveniny na LF.

Na obr. 7 je dokumentována vada alitované GE 5A, která souvisí s poškozením uvedeným na obr. 3. V průběhu zpracování GE 5A došlo po tepelné expozici k uvolnění vrstvy alitace a odkrytí povrchu původní GE.



Obr. 7 Vada GE 5A – lokální ztráta vrstvy alitace v místě původního poškození

Fig. 7 GE 5A defect – local loss of alited layer in the spot of original mechanical defect

Obr. 8 uvádí případ poškození alitace GE po běžné tepelné expozici a následném nenuceném ochlazení celé elektrody. Poškození alitace bylo zřejmě způsobeno vlivem rozdílných teplotních roztažností použitých materiálů a grafitové elektrody. Při sledování povrchu elektrody v průběhu následného zpracování nebylo vizuálně pozorováno, že by zdokumentované poškození alitace dále vedlo ke snížené ochraně GE a místnímu nadměrnému opotřebení nebo oxidaci.



Obr. 8 Vada GE 4A – prasklina vrstvy alitace

Fig. 8 GE 4A defect – alited layer crack

Z pohledu spotřeby grafitových elektrod bylo hodnocení 6 ks alitovaných elektrod realizováno v rozsahu sledování 160 taveb od první instalace až do okamžiku spotřebování poslední alitované elektrody ve sloupci elektrod na daném rameni LF. Po dobu experimentu bylo na LF zpracováno 2,833 tun taveniny.

V rámci experimentu bylo:

- na 1. rameni LF spotřebováno 1306 kg standardních GE,
- na 2. rameni LF spotřebováno 1375 kg standardních GE,
- na 3. rameni LF spotřebováno 271 kg standardních GE a 898 kg alitovaných GE, tj. celkem 1169 kg GE.

Výsledné spotřeby GE na jednotlivých ramenech dokládají rozdílnou spotřebu standardních GE a alitovaných GE. Celková průměrná spotřeba GE v rámci taveb zohledněných v experimentu činí $1,36 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ tekutého kovu.

Při uvážení rozdílných spotřeb standardních GE a alitovaných GE lze předpokládat, že při instalaci alitovaných GE na všechna tři ramena LF by spotřeba GE klesla. Zjištěná průměrná spotřeba běžných GE byla na úrovni $1,42 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ a alitovaných elektrod na úrovni $1,19 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ tekutého kovu. Použitím alitovaných elektrod by tedy bylo možné dosáhnout úspory cca 16 %.

4. Závěr

Provedené experimentální práce ve ŽĎAS, a.s., ve spolupráci se společnostmi Graphite COVA GmbH a Advanced Carbon Technology s.r.o., Praha, byly zaměřeny na ověření přínosů použití grafitových elektrod s povrchovou úpravou alitací. Průběh a výsledky experimentálních prací potvrzují nižší opotřebení grafitových elektrod s alitací. Nižší opotřebení bylo doloženo jednak vizuální kontrolou míry opotřebení oxidací povrchu elektrod a jednak výpočtem skutečné úspory ve spotřebě grafitových elektrod při použití GE s alitací. Používání GE s alitací vyžaduje vyšší nároky na šetrnou manipulaci s elektrodami jak při jejich převozu, tak při instalaci. Mechanické poškození vrstvy alitace může vést ke snížení ochranného účinku při použití na pánvové peci.

Na základě provedených prací a znalosti rozdílné intenzity působení kyslíku při zpracování taveniny na EOP a LF lze předpokládat, že výrazně vyšších úspor ve spotřebě GE je možné v případě GE s alitací očekávat na EOP.

Literatura

- [1] Schweitzer, D. G., Gurinsky D.H., Kaplan, E., Sastre, C. *A Safety Assessment of the Use of Graphite in Nuclear Reactors Licenced by the U.S. NRC*. 1. vyd. Upton, New York: Brookton National Library, 1987.
- [2] Udo, E. *Cooling apparatus for electric arc furnace electrodes*. IPC: US07. Spojené státy americké, Patent US4852120A. Dostupný také z: <http://patents.google.com/patent/US4852120A/en>
- [3] Bolijov, A. *Protective Coating for Graphite Electrodes*, vyd. Graphite Cova, D-90552 Röthenbach/Peg. Grünthal 1-6

Podpora vyučování technické normalizace na středních technických školách v ČR

Support for the Teaching of Technical Standardization at Secondary Technical Schools in the Czech Republic

Ing. Gustav Chwistek¹; Ing. Irena Vlčková, Ph.D.²; Ing. Petr Čechura³

¹ ČESKÁ SPOLEČNOST PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, z.s., Novotného lávka 200/5, 110 00 Praha 1, Česká republika

² Střední odborná škola, Frýdek-Místek, příspěvková organizace, Lískovecká 2089, 738 01 Frýdek-Místek, Česká republika

³ Doosan Škoda Power s.r.o., Tylova 1/57, 301 28 Plzeň, Česká republika

Technická normalizace, plnotexty technických norem soustavy ČSN, zkušenosti lektora s využitím technických norem během laboratorních cvičení, prezentace techniků výrobního strojírenského závodu pro studenty technické střední školy, podpora ústředí ČSVTS pro jednání s MŠMT (Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy) v rámci úpravy studijních specifikací.

Technical standardization, full texts of technical standards of the ČSN system, lecturer's experience with the use of technical standards during laboratory exercises, presentation of technicians of a production engineering plant for students of a technical secondary school, support of the ČSVTS headquarters for negotiations with the MŠMT (Ministry of Education, Youth and Sports) in the framework of the adjustment of study specifications

Česká společnost pro technickou normalizaci (ČSTN), je jedním z 67 spolků pod křídly ČSVTS Praha. Její zaměření mezi jinými na podporu používání technických norem v praxi. Nedílnou součástí je náš zájem o seznámení se s tímto oborem a zavádění využití produktu České agentury pro standardizaci (ČAS) Praha, aplikace ČSN on-line a to zejména na středních technických školách. Na většině vysokých škol technického zaměření na určitých oborech je zavedena částečná výuka technické normalizace formou zápočtů. Velký podíl na přípravě materiálů pro studium oboru technické normalizace zavedl před 15 lety Ing. Václav Voves (bývalý vedoucí odd. Strojírenství ÚNMZ Praha), který vydal několik vlastních studijních materiálů a z překladů normalizačních institucí. V současné době společně s dalšími publikacemi např. od autorů prof. Ing. Karla Matochy, CSc., Ing. Martina Krause, Ph.D. (Základy technické normalizace pro VŠB-TU Ostrava) nebo dohledatelné odkazy na webu Ocelářské unie Praha, případně železniční společnosti ACRI Praha jsou k dispozici samostatné kapitoly o základech technické normalizace včetně informací k technickým normám příslušného oboru. K dispozici je od roku 2019 publikace Agentury ČAS Praha „Základy technické normalizace, vstupní výuka technické normalizace pro učitele odborných předmětů středních škol i možnost využití bezplatného (sponzorovaného) přístupu do plnotextové databáze českých technických norem (ČSN on-line). Tento projekt bezplatného přístupu k technickým normám pro střední školy zřízené krajem, obcí nebo svazkem obcí mimo školy pod patronací firem je financován Ministerstvem průmyslu a obchodu jako účelová podpora vzdělávání na středních školách

a učilištích technického zaměření. Jako pilotní byla vybrána jedna z největších technických škol a učňovských oborů v ČR SOŠ Praha – Jarov, která tento produkt zavedla do výuky v roce 2021.

V časopise Magazín ČAS č. 2/2022 v článku pod titulem „SOŠ Jarov, Praha 9 a technické normy ve výuce“ jsou ředitelem této školy popsány velmi kladné závěry s využitím tohoto produktu jak pro studenty, tak i pro pedagogy s návrhem rozšíření tohoto přístupu k normám pro další střední odborné školy v České republice.

Další část tohoto článku je věnována zkušenosti s využitím technických norem přímo ve škole SOŠ Frýdek-Místek, p.o., od pedagožky Ing. Ireny Vlčkové Ph.D. s názornou ukázkou v přílohách tohoto článku.

Moderní přístup k technickému vzdělávání na půdě SOŠ ve Frýdku-Místku, p.o.

Ve snaze připravit naše žáky na profesní život, Střední odborná škola, p.o. ve Frýdku-Místku zařadila do výuky technických předmětů inovativní vzdělávací pasáž, která zahrnuje používání českých státních norem v digitální podobě. Tato iniciativa byla uskutečněna díky spolupráci s Českou agenturou pro standardizaci, s.p.o. (ČAS), která poskytla SOŠ, F-M, p.o. na základě smlouvy pro přístup k rozsáhlé databázi technických norem.

SOŠ, F-M, p.o. získala on-line licence pro žáky a vyučující, umožňující jim přiblížit svět norem a standardů po dobu jednoho školního roku. Žáci měli příležitost seznámit se

s procesem vyhledávání norem na webových stránkách agentury ČAS, porozumět principům vyhledávače a naučit se pracovat s konkrétními normami, včetně schopnosti aplikovat je do jejich studijního a po sléze profesního života.

Jedním z klíčových prvků tohoto vzdělávacího programu bylo fyzické, praktické seznámení žáků s vyhledáváním a prací s normami v oblasti strojírenství a automobilového průmyslu. Tímto způsobem získali žáci nejen teoretické znalosti, ale také praktické dovednosti nezbytné pro úspěšné uplatnění v odborných odvětvích. Žáci po podrobnějším seznámení s on-line prohlížečem a prací s danými normami ocenili přehlednost vyhledávače, detailní zpracování a intuitivnost práce s normami.

Učitelé naší školy se shodli v názoru, že zařazení českých státních norem do výuky v on-line bezplatném vyhledávací dodaném ČAS je vstřícný krok, který posouvá žáky dále v myšlení a rozšiřuje jejich kompetence k učení a řešení problémů. Zjistili, že tato praxe nejen rozšiřuje jejich odborné povědomí, ale také je připravuje na aktuální standardy a postupy v jejich budoucím zaměstnání. Vidíme, jak naši studenti získávají konkurenční výhodu na trhu práce a lépe porozumí návaznostech teorie a praxe v následném profesním životě. Tuto inovaci vřele doporučujeme všem středním školám, které chtějí poskytnout studentům moderní a praktické vzdělávání.

Tato praktická zkušenost by se zřejmě nikdy k nám do školy nedostala, kdyby skupinku žáků neprovázela exkurzí v Třineckých železárnách, a.s., Ing. Gustav Chwistek, současný předseda spolku ČSTN (Česká společnost pro technickou normalizaci). Na jeho popud jsme taky měli možnost prezentovat naše zkušenosti s využíváním technických norem pro studenty na jubilejní akci spolku v ústředí ČSVTS v Praze na Novotného lávce v prosinci 2022 u příležitosti 100. let technické normalizace v českých zemích a také na tradičním semináři v 9/2023 v Skalce u Ježova s exkurzí do dceřiných společností skupiny Třinecké železářny/Moravia Steel tj. Kovárna Viva Zlín a Tažárna ocelí Staré Město u Uherského Hradiště. Tato iniciativa a nadhled organizace ČAS a ČSTN nejen zdůrazňuje důležitost praxe ve vzdělávacím procesu, ale také ukazuje, jak spolupráce mezi školami a institucemi, jako je Česká agentura pro standardizaci, s.p.o. může přinést reálné přínosy pro studenty a jejich budoucí kariéry.

Další příklad aktivního přístupu ve vyučování technické normalizace na SŠ a také VŠ je prováděn zaměstnanci technického úseku společnosti Doosan Škoda Power Plzeň, s.r.o. Zaměstnanci této firmy, mimochodem dlouhodobí členové spolku ČSTN, začali spolupracovat v rámci odborného technického vzdělávání v roce 2022 se Střední průmyslovou školou strojnickou a SOŠ prof. Švejcara v Plzni, v roce 2023 se Střední školou v Rokycanech. Jako součást odborné přípravy studentů se ve strojírenských oborech zapojili do výuky značení materiálů podle ČSN

a zejména pak podle evropských norem. Pro tuto aktivitu byla vytvořena se souhlasem organizace ČAS prezentace výukový materiál, který studenty středních škol technických směrů seznamuje se základy označování ocelí a litin. Cílem výuky je nejen naučit studenty poznávat jednotlivé materiály a rozumět systému značek, ale i stručně seznámit s historií normalizace, strukturou a skladbou norem, jak v nich vyhledávat potřebné informace atd. Zároveň dlouhodobě spolupracují v rámci výuky se Strojní fakultou Západočeské univerzity v Plzni v oblasti proudění a termodynamiky, a seznamují studenty s možností práce v moderních CAD systémech. Prolnutí teoretické výuky v technických předmětech s praxí pomáhá k rychlejší adaptaci absolventů při nástupu do zaměstnání v technických oborech, kde je práce s normami a jejich znalost nedílnou součástí jejich profesního života. Taky technici ve ŽďAS, a.s. Žďár nad Sázavou v poslední době aktivně se zapojují do činnosti výuky technické normalizace na Žďársku.

Iniciaci činnosti našeho spolku ČSTN v oblasti podpory vyučování technické normalizace zejména na středních technických školách byla účast zástupců spolku ČSTN na Světovém dni inženýrů v Senátu ČR dne 14. 3. 2023. Závěry z jednotlivých přednášek zejména tuzemských přednášejících z našich VŠ je možno shrnout následovně:

„Nutno maximálně podpořit technické obory. Jsme země s průmyslovou tradicí a tudíž se nelze spoléhat na to abychom byli jen montovnou dílů. Současný trend je skutečné tristní s ohledem na poměr studentů - technické směry versus humanitní obory“.

Nedávno jsme náš záměr podpory využití bezplatné nabídky organizace ČAS s finanční podporou MPO tj. využití plnotextové databáze technických norem ČSN on-line včetně seznámení s oborem technické normalizace, prezentovali předsednictvu ČSVTS na řádném zasedání 21. 3. 2024. Naše návrhy aktivního zapojení technických škol v tomto oboru byly plně akceptovány a s pomocí vedení ČSVTS bude zahájeno jednání s kompetentním zástupcem MŠMT pro technické střední školy v ČR. Předpokládáme, že v 4. čtvrtletí 2024 bude provedena naším spolkem ČSTN prezentace pro zástupce těchto škol za účelem provedení implementace do výukových programů minimálních požadovaných znalostí z oboru technické normalizace. Doposud v současné době je jen sporadické seznamování studentů učiteli, nadšenci pro touto problematiku.

Pro úplnost sdělujeme, že na připravované akci ČHS (Česká hutnická společnost) Třinec ve dnech 12. - 13. 6. 2024 - INVENT ARENA ve Werk areně Třinec je připravován doprovodný seminář našeho spolku ČSTN, kde se několik přednášek bude týkat právě výše zmiňovaného tématu, tj. jak současným studentům technických středních škol přiblížit tento obor technické normalizace pro budoucí zaměstnání v průmyslu.

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2023 a 2024

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	Leden	Únor	Leden-Únor	Leden		Únor		Leden-Únor	
	2024	2024	2024	2023	2024/2023	2023	2024/2023	2023	2024/2023
	[tis. t]			[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]
KOKS									
ČR	65,82	62,18	127,99	143,70	45,80	117,54	52,90	261,24	48,99
AGLOMERÁT									
ČR	215,00	222,50	437,50	378,61	56,79	319,40	69,66	698,01	62,68
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	180,58	171,88	352,46	279,90	64,51	243,12	70,70	523,02	67,39
SUROVÁ OCEL									
ČR	233,23	221,43	454,66	353,56	65,97	308,26	71,83	661,82	68,70
KONTISLITKY									
ČR	217,25	206,66	423,91	335,13	64,83	290,66	71,10	625,79	67,74
BLOKOVNY									
ČR	51,73	50,01	101,74	50,92	101,58	47,08	106,21	98,01	103,81
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	245,70	239,60	485,30	326,84	75,17	289,83	82,67	616,67	78,70
TRUBKY									
ČR	16,37	17,05	33,42	27,32	59,93	28,57	59,68	55,89	59,80
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	19,64	19,07	38,71	20,30	96,77	17,01	112,14	37,31	103,77
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	0,88	1,15	2,03	1,17	75,19	1,33	86,49	2,50	81,22

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha – Jiří Dufek



Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2023 a 2024

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	Únor	Březen	Leden-Březen	Únor		Březen		Leden-Březen	
	2024	2024	2024	2023	2024/2023	2023	2024/2023	2023	2024/2023
	[tis. t]			[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]
KOKS									
ČR	62,18	66,35	194,34	117,54	52,90	128,69	51,56	389,93	49,84
AGLOMERÁT									
ČR	222,50	223,50	661,00	319,40	69,66	356,64	62,67	1054,65	62,67
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	171,88	145,22	497,68	243,12	70,70	259,83	55,89	782,85	63,57
SUROVÁ OCEL									
ČR	221,43	187,67	642,33	308,26	71,83	327,08	57,38	988,89	221,43
KONTISLITKY									
ČR	206,66	170,30	594,22	290,66	71,10	308,12	55,27	933,91	63,63
BLOKOVNY									
ČR	50,01	53,31	155,04	47,08	106,21	53,14	100,31	151,15	102,58
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	239,60	241,58	726,88	289,83	82,67	312,66	77,27	929,33	78,22
TRUBKY									
ČR	17,05	16,58	50,00	28,57	59,68	31,42	52,77	87,31	57,27
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	19,07	18,52	57,24	17,01	112,14	16,73	110,69	54,04	105,92
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,15	1,13	3,15	1,33	86,49	1,32	85,49	3,81	82,69

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha – Jiří Dufek



Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2023 a 2024

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	Březen	Duben	Leden- Duben	Duben		Duben		Leden- Duben	
	2024	2024	2024	2023	2024/2023	2023	2024/2023	2023	2024/2023
	[tis. t]			[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]
KOKS									
ČR	66,35	60,47	254,81	128,69	51,56	109,50	55,23	499,43	51,02
AGLOMERÁT									
ČR	223,50	234,40	895,40	356,64	62,67	378,71	61,89	1433,37	62,47
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	145,22	178,36	676,03	259,83	55,89	240,97	74,02	1023,82	66,03
SUROVÁ OCEL									
ČR	187,67	231,71	874,05	327,08	57,38	304,28	76,15	1293,18	67,59
KONTISLITKY									
ČR	170,30	215,78	809,99	308,12	55,27	288,63	74,76	1222,54	66,26
BLOKOVNY									
ČR	53,31	50,91	205,95	53,14	100,31	26,74	190,40	177,89	115,78
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	241,58	240,42	967,30	312,66	77,27	287,33	83,67	1216,66	79,50
TRUBKY									
ČR	16,58	17,77	67,77	31,42	52,77	28,20	63,03	115,50	58,68
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	18,52	21,06	78,29	16,73	110,69	15,59	135,04	69,63	112,44
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,13	1,23	4,38	1,32	85,49	1,01	122,05	4,82	90,91

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha – Jirí Dufek



Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2023 a 2024

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	Duben	Květen	Leden-Květen	Duben		Květen		Leden-Květen	
	2024	2024	2024	2023	2024/2023	2023	2024/2023	2023	2024/2023
	[tis. t]			[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]
KOKS									
ČR	60,47	67,25	322,07	109,50	55,23	106,73	63,01	606,16	53,13
AGLOMERÁT									
ČR	234,40	241,60	1137,00	378,71	61,89	359,82	67,15	1793,19	63,41
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	178,36	176,18	852,21	240,97	74,02	257,88	68,32	1281,70	66,49
SUROVÁ OCEL									
ČR	231,71	227,01	1101,06	304,28	76,15	323,59	70,15	1616,77	68,10
KONTISLITKY									
ČR	215,78	211,84	1021,83	288,63	74,76	308,32	68,71	1530,86	66,75
BLOKOVNY									
ČR	50,91	53,35	259,30	26,74	190,40	50,44	105,77	228,32	113,57
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	240,42	257,10	1224,40	287,33	83,67	295,19	87,10	1511,84	80,99
TRUBKY									
ČR	17,77	17,74	85,51	28,20	63,03	29,30	60,52	144,80	59,05
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	21,06	17,19	95,48	15,59	135,04	17,61	97,61	87,24	109,44
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,23	1,13	5,51	1,01	122,05	1,13	100,53	5,95	92,73

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha – Jirí Dufek



Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2023 a 2024

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	Květen	Červen	Leden-Červen	Květen		Červen		Leden-Červen	
	2024	2024	2024	2023	2024/2023	2023	2024/2023	2023	2024/2023
	[tis. t]			[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]	[tis. t]	[%]
KOKS									
ČR	67,25	61,73	383,80	106,73	63,01	111,33	55,45	717,49	53,49
AGLOMERÁT									
ČR	241,60	225,00	1362,00	359,82	67,15	366,62	61,37	2159,81	63,06
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	176,18	171,20	1023,41	257,88	68,32	247,47	69,18	1529,16	66,93
SUROVÁ OCEL									
ČR	227,01	222,27	1323,32	323,59	70,15	314,35	70,71	1931,12	68,53
KONTISLITKY									
ČR	211,84	209,01	1230,84	308,32	68,71	296,67	70,45	1827,53	67,35
BLOKOVNY									
ČR	53,35	25,01	284,31	50,44	105,77	51,70	48,39	280,02	101,53
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	257,10	221,81	1446,21	295,19	87,10	288,60	76,86	1800,44	80,32
TRUBKY									
ČR	17,74	16,60	102,11	29,30	60,52	30,29	54,81	175,09	58,32
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	17,19	15,13	110,61	17,61	97,61	15,47	97,79	102,71	107,69
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,13	1,13	6,64	1,13	100,53	1,16	97,84	7,10	93,56

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

Zpracoval: Ocelářská unie a.s. Praha – Jirí Dufek



EUROPEAN GREEN DEAL

SMĚRY EVROPSKÉHO HUTNICTVÍ K „ZELENÉ OCELI“

Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.

OCELOT s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

European Green Deal nutně vede k dekarbonizaci výroby oceli v budoucnu. V článku jsou shrnuty informace z dostupných zdrojů, které uvádějí, jakými směry se budou ubírat evropské hutě na cestě k transformaci při snižování uhlíkové zátěže při výrobě oceli. Závěr příspěvku shrnuje zjištěné skutečnosti - směry, které budou stěžejní při zelené transformaci.

Klíčová slova: European Green Deal; dekarbonizace výroby oceli; snižování uhlíkové zátěže, směry zelené transformace; elektrická oblouková pec; přímá redukce

1. Úvod

V příspěvku jsou citovány některé evropské hutě, jejichž výroba oceli je založena na rudném pochodu. Jejich uhlíková stopa je velmi výrazná. Jsou uvedeny budoucí přístupy těchto výrobců oceli vedoucí ke snižování uhlíkové zátěže při výrobě oceli.

2. TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.

V TŘINECKÝCH ŽELEZÁRNÁCH, a.s. [1] (dále jen TŽ) je výroba oceli založena na rudné cestě. TŽ připravují řadu opatření ke snížení uhlíkové stopy. TŽ zahájily projekt transformace, který povede k ekologicky šetrnému procesu výroby oceli. Jeho cílem je další snížení emisí skleníkových plynů vypouštěných do ovzduší. TŽ chtějí dosáhnout v roce 2031 snížení roční produkce CO₂ na 0,9 na tunu vyrobené oceli (2,1 v roce 1990). Konkrétní opatření jsou uvedena níže.

2.1. Elektrická oblouková pec

Klíčovou součástí transformačního procesu je výstavba moderní elektrické obloukové pece, která bude sloužit k produkci oceli především ze šrotu. V nejbližší době se zpracuje studie pro výstavbu EOP a TŽ budou usilovat o zajištění potřebné infrastruktury, zejména připojení k elektrické síti a zajištění dodávek šrotu. Předpokládaná kapacita výroby je 2,6 mil. tun oceli při souběhu technologie jedné vysoké pece a jedné EOP. Tato technologie by měla být uvedena do provozu kolem roku 2031. Náklady budou v řádech miliard až desítek miliard korun.

2.2. Briketační linka

Připravuje se také výstavba nové bezemisní železorudné briketační linky, která nahradí ocelárenský aglomerát a část produkce vysokopecního aglomerátu. Podstatou technologie je proces výroby vysokopecní vsázky studenou cestou. Díky instalaci dojde ke snížení emisí CO₂ až o 70 000 tun ročně.

2.3. Paroplynový kotel

Druhá strategická investice projektu se týká přechodu od energetického uhlí k ekologickým zdrojům energií v dceřiné společnosti Energetika Třinec, která se zabývá výrobou a distribucí energetických médií. Pro snížení emisí CO₂ i ostatních emisí do ovzduší firma navrhla náhradu uhelného fluidního kotle K11 novou technologií na spalování zemního plynu. Jedná se o paroplynový cyklus (PPC1) o výkonu 62 MWe, jehož umístění plánuje v prostoru odstaveného kotle K14. Nový zdroj je složen z kompaktní plynové turbíny, která je určena pro spalování zemního plynu s možností spoluspalování vodíku. Za turbínou je pak umístěn bubnový spalínový kotel s využitím páry pro další výrobu elektřiny a tepla. Předpokládaný termín uvedení do provozu je v roce 2027. Náklady jsou vyčísleny na více než dvě miliardy korun.

2.4. Fotovoltaika

Zdroje energií TŽ doplňuje už od roku 2023 fotovoltaická elektrárna, kterou firma instalovala na střeše výrobní haly v areálu Třineckých železáren. Její instalovaný výkon je 350 kWp. Sluneční energii zachycuje 760 panelů. Investice přesáhla 12 milionů korun, takřka 3 miliony pokryla dotace z Modernizačního fondu.

3. U.S. STEEL KOŠICE, spol. s r.o.

Výroba oceli v U.S. Steel Košice, spol. s r.o. [2] (dále jen USS) je založena na rudné cestě. Na oficiálních webových stránkách nebyla nalezena konkrétní opatření ke snížení uhlíkové stopy. Byly nalezeny pouze obecné formulace.

3.1. Životní prostředí

Technologický proces hutní výroby zasahuje do všech složek životního prostředí, což vyžaduje jeho důsledný monitoring, maximální využívání zabudovaných ochranných technologií, technologickou disciplínu ve všech

výrobních procesech a využívání nových poznatků pro trvalé snižování zátěže životního prostředí.

3.2. Investiční program

USS se pustila do ambiciózního investičního programu zlepšování svých technologií, které ovlivňují životní prostředí, výkonnost a kvalitu procesů.

3.3. Modernizace výrobních zařízení a environmentálních systémů

V průběhu let USS proinvestovala stovky milionů USD na modernizaci stávajících výrobních zařízení a environmentálních systémů, jakož i na budování nových zařízení. Investiční program podstatně zvýšil schopnost U. S. Steel Košice poskytovat svým zákazníkům vysokou kvalitu, výrobky a služby s přidanou hodnotou a plnit požadavky a normy v oblasti životního prostředí.

4. ARCELOR MITTAL POLAND S.A.

Ve společnosti Arcelor Mittal Poland S.A. [3] (dále jen AMP) je výroba oceli založena na rudné cestě. Konkrétní opatření jsou uvedena níže.

4.1 Dekarbonizační strategie

Jako přední světový výrobce oceli jsme odhodláni vést naše úsilí v oblasti dekarbonizace. Skupina ArcelorMittal si dala za cíl dosáhnout do roku 2050 klimatické neutrality a do roku 2030 snížit emise o 35 % v porovnání s rokem 2018 v evropských závodech. Naše ambiciózní cíle, jejichž dosažení bude mít pozitivní dopad na stav přírodního prostředí, se odrážejí v inovativních technologiích a projektech navržených v ArcelorMittal. V evropských závodech skupiny v současnosti probíhají práce na implementaci dvou bezemisních technologií výroby oceli: Smart Carbon a DRI-EAF (Direct Reduced Iron-Electric Arc Furnance – přímá redukce železa pomocí elektrické obloukové pece). První je technologie, která předpokládá využití zpětně získaného uhlí jako náhrady za fosilní, a to díky metodě zachycování a ukládání CO₂ pro opětovné použití. Přímá redukce železa je inovativní technologie využívající v první fázi zemní plyn, který má být nakonec nahrazen vodíkem jako hlavním reduktorem. To nás spolu s využitím elektrické pece poháněné čistou elektřinou přiblíží k našemu cíli.

Je však třeba poznamenat, že inovativní řešení v oblasti výroby oceli také vyžadují obrovské kapitálové výdaje, široký přístup k čisté energii a vhodný právní rámec, který je v průběhu transformačního procesu nezbytný k zajištění konkurenceschopnosti těch, kdo čelí klimatickým hrozbám. Jako přední ocelářská společnost dokonale známe možnosti našich produktů, které lze nejen vyrábět udržitelnějším způsobem, ale také se nepřímo podílet na procesu dekarbonizace, např. jako „páteř“ infrastruktury pro získávání obnovitelných zdrojů energie, nemluvě o vynikajících vlastnostech oceli při recyklaci. Právě z oceli je mj. větrné farmy nebo části solárních panelů, které přispívají ke snižování globálních emisí CO₂.

4.2. Responsible Steel

ArcelorMittal Poland byla jednou z mála společností, které získaly certifikát ResponsibleSteel™. Po úspěšném auditu provedeném certifikačním orgánem DNV Poland (auditor akreditovaný organizací ResponsibleSteel™) společnost obdržela certifikát potvrzující, že splňuje všechna kritéria obsažená ve standardu ResponsibleSteel™.

ResponsibleSteel je nová dobrovolná iniciativa, která definovala standard pro odpovědné získávání a výrobu oceli. Audity jsou navrženy tak, aby ověřily, že činnost ocelárny splňuje soubor přesně definovaných požadavků, které auditoři ověřují nejen na základě obdržených dokumentů, ale také prostřednictvím řady rozhovorů s interními a externími zainteresovanými stranami.

5. VOEST ALPINE AG

5.1 Cesta k zelené budoucnosti

Výroba oceli ve společnosti Voest Alpine AG [4] (dále jen VA) je založená na rudné cestě. VA zvyšuje tempo snižování emisí. Greentec steel od Voestalpine je největší rakouský program ochrany klimatu. Od roku 2027 tento program sníží roční emise CO₂ Rakouska o téměř 5 %. Rok 2024 znamená začátek částečného přechodu od vysoké pece k trase elektrické obloukové pece (EAF) – jakmile se vyjasní nevyřešené problémy s financováním v Rakousku.

Dekarbonizace výroby oceli je důležitou součástí ochrany klimatu. Z tohoto důvodu dozorčí rada voestalpine v dubnu 2023 schválila dalších 1,5 miliardy EUR na přeměnu ve svých rakouských ocelářských závodech. To umožňuje zahájení výstavby v Donawitz a Linci v roce 2024. Uvedením EAF do provozu během hybridní fáze oceli Greentec by se počínaje rokem 2027 zabránilo vzniku přibližně 3 až 4 milionům tun emisí CO₂ ročně. Snížení ročních emisí Rakouska o téměř 5 % znamená, že greentec ocel největší program ochrany klimatu v zemi.

5.2. Hybridní technologie je prvním krokem

Konkrétně postupně přecházíme z uhelné vysokopeční cesty na elektroocelářskou na zelenou elektřinu. Kromě šrotu jsou hlavními vstupními surovinami tekuté surové železo a horké briketované železo (HBI) vyráběné v zařízení přímé redukce. Tato přímá redukce je klíčovou překlenovací technologií pro dekarbonizaci výroby oceli. K přeměně železné rudy na železo se bude využívat zemní plyn místo uhlí a koksu, což snižuje emise CO₂. Tato hybridní technologie by mohla výrazně snížit emise CO₂ z výroby oceli v Linci a Donawitz přibližně o 30 %. Od roku 2030 plánuje voestalpine nahradit další vysokou pec v každém z míst v Linci a Donawitz.

5.3. Technologický přechod v nedohlednu

Dlouhodobě plánujeme do roku 2050 postupně zvyšovat využívání zelené elektřiny k dosažení uhlíkově neutrální výroby oceli. Již řadu let zkoumáme potřebné technologie, např. na pilotním zařízení na výrobu zeleného vodíku

v Linci. Zde probíhá výzkum výroby zeleného vodíku v průmyslovém měřítku a jeho možné aplikace v různých fázích výroby oceli.

Naši vědci v Donawitz zároveň zkoumají technologii pro přímou výrobu oceli ze železné rudy v rámci projektu „SuSteel“ (Udržitelná ocel) a v dalším procesu redukce jemné rudy na vodíkové bázi (Hyfor). Jedno je ale jisté již dnes: základním předpokladem pro přechod na výrobu oceli na bázi vodíku je dostupnost dostatečného množství zelené elektřiny za komerčně reálné ceny.

5.4. Greentec steel – značka

Značka greentec steel kampaň byla navržena jako deštník, pod kterým bude komunikována tato komplexní dekarbonizační strategie pro splnění klimatických cílů EU. Spojuje všechny aktivity a inovace voestalpine vedoucí k výrobě uhlíkově neutrální oceli do roku 2050. Greentec steel je ambiciózní plán skupiny pro výrobu zelené oceli: v prvním kroku tohoto postupného přístupu bude v každém z míst v Linci a Donawitz postavena jedna elektrická oblouková pec (EAF) poháněná zelenou elektřinou. Počínaje rokem 2027 umožní dvě elektrické obloukové pece společnosti voestalpine vyrábět přibližně 2,5 milionu tun oceli se sníženým obsahem CO₂ ročně: 1,6 milionu tun v Linci a 0,85 milionu tun v Donawitz. Od roku 2030 plánuje voestalpine nahradit další vysokou pec v každém z míst v Linci a Donawitz. Abychom dosáhli cíle uhlíkové neutrality do roku 2050, aktivně zkoumáme několik nových procesů a investujeme do pilotních projektů, které demonstrují nové způsoby výroby oceli. Dalším, zvláště důležitým předpokladem pro dekarbonizaci výroby oceli je dostupnost dostatečného množství obnovitelné energie za komerčně reálné ceny. To je jediný způsob, jak mohou být technologie zítřka aplikovány skutečně konkurenceschopným způsobem.

6. LIBERTY OSTRAVA a.s.

Výroba oceli ve společnost Liberty Ostrava a.s. [5] (dále jen LO) je realizována rudnou cestou. LO podepsala 8. července 2022 smlouvu se společností Danieli na výstavbu dvou hybridních elektrických obloukových pecí ve své ocelárně. Nejvyšší investice do ostravské hutí za několik posledních desetiletí v celkové výši 8,6 miliardy korun umožní snížit do roku 2027 emise oxidu uhličitého o více než 80 procent. Majitel hutě Sanjeev Gupta také stvrdil partnerství LO a společnosti ČEZ ESCO při přechodu hutě na obnovitelné zdroje, které jsou potřebné pro výrobu zelené oceli. Nejvyšší investice za několik posledních desetiletí je zásadním krokem k tomu, aby LO dosáhla do roku 2030 uhlíkové neutrality.

Nové pece, první svého druhu v Evropě, budou mít roční výrobní kapacitu 3,5 milionu tun oceli. Hutí pomohou snížit do roku 2027 celkové emise CO₂ o více než 80 procent. Pece s objemem tavby 200 tun budou vybaveny inovativní a patentovanou technologií Danieli, elektronickým systémem Q-ONE pro řízení elektrického napájení pece, které snižuje nepříznivý dopad na stabilitu elektrické sítě pro efektivnější a stabilnější dodávku energie do pecí.

To umožní větší flexibilitu vsázky, kdy se bude v první fázi využívat větší množství surového železa a přímo redukováného železa (DRI/HBI) k až 100% využití šrotu ve druhé fázi projektu. Tím podnik sníží svou závislost na dovážených surovinách, především uhlí a železné rudě, a dosáhne větší míry flexibility. Nové pece by měly být uvedeny do provozu v roce 2025. Po dokončení linky zvláště vysokého napětí 400 kV do hutí, která by měla být hotova v roce 2027, budou schopny ve vsázce využívat 100 % kovového šrotu.

Firmy ČEZ ESCO a LO se dohodly na Deklaraci o spolupráci při dekarbonizaci hutí LO. Partneri budou identifikovat a rozvíjet obnovitelné zdroje energie a vodíkové technologie potřebné k tomu, aby se ostravská huť stala výrobcem zelené oceli. Transformační program ostravské hutí GREENSTEEL, který je založený na obnovitelných zdrojích energie a spojuje a zelenou vizi předních českých energetických a ocelářských společností, se stane významným krokem v dekarbonizaci českého ocelářství.

7. SALZGITTER AG

Druhý největší německý výrobce oceli Salzgitter AG [6] (dále jen SA) získal téměř 1 miliardu eur vládních finančních prostředků na svůj projekt výroby oceli na bázi vodíku. Je to uvedeno ve zprávě na webu společnosti.

V rámci svého projektu SALCOS si společnost klade za cíl nainstalovat elektrolyzátor o výkonu 100 MW, jednotku přímé redukce a elektrickou obloukovou pec, aby dále nahradila část tradiční vysokopeční trasy. Projekt loni v říjnu schválila Evropská komise. Dokončení první fáze projektu je plánováno na konec roku 2025.

První fáze zahrnuje asi 700 milionů eur federálního financování a 300 milionů eur od spolkové země Dolní Sasko. Vlastní, již schválený příspěvek společnosti SA je více než 1 miliarda EUR.

Podle Roberta Habka, německého ministra hospodářství a ochrany klimatu, společnost tímto ambiciózním projektem dokazuje, že pomocí moderních technologií je možné dekarbonizovat ocelářský sektor, který je v současnosti největším průmyslovým zdrojem uhlíkových emisí.

„Tento program zároveň zajistí dlouhodobou budoucnost Německa jako centra výroby oceli a zajistí velký počet pracovních míst. SA nyní může přejít do implementační fáze a realizovat tento majákový projekt Toto je rozhodující krok v transformaci na zelenou ocel,“ poznamenal“.

Cílem SALCOS je plně přejít na nízkou produkci oceli v SA do roku 2033 ve třech etapách. První etapa projektu, která zajistí výrobu 1,9 milionu tun oceli ročně, má být dokončena do konce roku 2025, což pomůže snížit emise uhlíku o více než 2,5 milionu tun ročně.

V rámci kompletní transformace budou vybudovány dvě jednotky přímé redukce a tři elektrické obloukové pece, které postupně nahradí tři vysoké pece a konvertory. Výrobní proces založený na využití koksovateľného uhlí

tak bude převeden na vodík. Očekává se snížení asi 95 % ročních emisí uhlíku – přibližně 8 milionů tun ročně.

Projekt SA je součástí snahy německého energeticky náročného průmyslu o přechod k ekologičtější výrobě, protože země se chce do roku 2045 stát uhlíkově neutrální. Ocelářský sektor představuje 30 % průmyslových emisí skleníkových plynů v Německu.

8. ŽELEZIARNE PODBREZOVÁ a.s.

V materiálu Ročná správa ŽELEZIARNE PODBREZOVÁ a.s. [7] je uvedena informace o splnění podmínek tzv. EÚ taxonomie, která uvádí, že výroba oceli v elektrických obloukových pecích splňuje podmínky z hlediska dodržení podmínek na ochranu klimatu při výrobě oceli. Uvádíme plnou citaci.

EÚ taxonómia definuje šesť základných environmentálnych cieľov, z ktorých aspoň k jednému musí ekonomická činnosť prispievať a ostatné nesmie výrazne narúšať, aby bola definovaná ako environmentálne udržateľná. V nadväzujúcom delegovanom nariadení Komisie (EÚ) 2021/2139 z júna 2021 boli stanovené technické hodnotiace kritériá pre jednotlivé hospodárske činnosti v rámci EÚ taxonomie. Tento delegovaný akt presne definuje zoznam udržateľných činností na základe technických skríningových kritérií.

Železiarne Podbrezová a.s. uvádzajú informácie o súlade s EÚ Taxonómiou na individuálnej báze t.j. za seba, ako materskú firmu. Svojou činnosťou, v rámci NACE kódu 24.20 – Výroba rúr, rúrok, dutých profilov a súvisiaceho príslušenstva a ocele, Železiarne Podbrezová a.s. spadajú do EÚ taxonomie a podľa prílohy č. 1 delegovaného nariadenia Komisie (EÚ) 2021/2139, časť 3.9, je táto hospodárska činnosť zaradená ako prechodná. Prechodnú hospodársku činnosť definuje EÚ taxonómia ako významne prispievajúcu k zmierneniu zmeny klímy, ak má emisie skleníkových plynov podstatne nižšie ako priemer daného odvetvia, nebráni vývoju a zavádzaniu nízko-uhlíkových alternatív a nevedie k zakonzervovaniu aktív, ktoré sú vzhľadom na ich hospodársku životnosť v rozpore s cieľmi klimatickej neutrálnosti. Železiarne Podbrezová spĺňajú technické hodnotiace kritérium pre cieľ: Zmiernenie zmeny klímy – výroba uhlíkovej ocele v elektrických obloukových peciach, definované v časti 3.9 b), podľa ktorého vstupný objem ocelového šrotu v pomere k vyrobenému výrobku nie je nižší ako 90 %. Spoločnosť zároveň významne nenarúšajú žiadny z ďalších environmentálnych cieľov EÚ taxonomie.

9. POMOC S DEKARBONIZACÍ. VLÁDA SCHVÁLILA MEMORANDUM

Podpořit úsilí Třineckých železáren [8] při přechodu na udržitelný způsob výroby, který přispěje ke zvýšení její konkurenceschopnosti. To je cílem memoranda o porozumění s vládou a Moravskoslezským krajem.

„Uvědomujeme si, že proces dekarbonizace a navazující ekonomická transformace klade před český těžký průmysl

velké výzvy. Proto jsem rád, že vláda schválila memorandum s Třineckými železárnami, jedním z nejvýznamnějších podniků v Moravskoslezském kraji, které znamená jasnou podporu vlády přechodu na více udržitelný způsob výroby,“ říká ministr průmyslu a obchodu Jozef Síkela a dodává: „Jedině díky spolupráci můžeme vytvořit nové investiční a rozvojové projekty. Tyto projekty se zaměří na modernizaci výroby, která sníží energetickou náročnost, pomůže kraji se zaměstnaností, posílí naši konkurenceschopnost a lépe ochrání životní prostředí.“

Pro dekarbonizaci Třineckých železáren je klíčový transformační program GreenWerk, jehož cílem je do roku 2030 snížit emise oxidu uhličitého v Třineckých železárnách o 55 procent. Program se zaměřuje na využití zelené energie ve výrobních procesech a provozu a obsahuje zhruba 20 projektů za více než 40 miliard korun. Jde například o vybudování nové nízkoemisní pece na výrobu oceli, novou přípojku velmi vysokého napětí, automatizaci výrobních procesů, modernizaci výroby nebo zvýšení podílu obnovitelných zdrojů ve výrobě a využití dešťové vody. Tato opatření sníží emise oxidu uhličitého, optimalizují spotřebu energií a vytvoří minimálně 100 nových míst pro vysoce kvalifikované zaměstnance.

10. ZÁVĚR

Z uvedeného přehledu výrobců oceli pracujících rudnou cestou je zřejmé, že se všechny vydaly cestou převedení výroby oceli na elektrické obloukové pece. Tento přechod bude postupný a velmi náročný a bude vyžadovat mnoho změn, finančních prostředků a opatření. Aspekty charakterizující tento proces:

- postupný přechod od zpracování tekutého surového železa na výrobu oceli v elektrických obloukových pecích,
- zvýšené využití šrotu, který musí být tříděný a vsázky schopný – větší nasazení drtičů šrotu,
- zvýšené využití přímo redukovatelné vsázky jako je DRI nebo HBI. Společnost MIDREX [9] předpokládá zvýšení výroby tohoto materiálu při zvýšeném využití zemního plynu a vodíku,
- vyšší výroba a využití „zeleného vodíku“ při výrobě oceli a elektrické energie,
- zachycování CO₂ a jeho zpětné využití,
- zvýšená potřeba elektrické energie včetně výstavby nových přírodních tras,
- zavádění dalších zdrojů elektrické energie z obnovitelných zdrojů,
- technologické změny výroby oceli vyvolané přechodem od výroby ze surového železa k výrobě z elektrických obloukových pecí. Např. zvýšení obsahu vodíku v oceli.

Je možno konstatovat, že z přímého ohrožení evropského hutnictví se stala velká příležitost, která přinese nové směry ve výrobě oceli včetně nových technologických postupů.

Literatura

- [1] <https://trz.cz/steel-for-green/>
[2] file:///C:/Users/Jarda/Downloads/Q_E_En_Politika_2020_sk.pdf
[3] <https://poland.arcelormittal.com/>
[4] <https://www.voestalpine.com/blog/en/sustainability/greentec-steel/our-path-to-a-green-future/>
[5] <https://libertysteelgroup.com/cz/news/liberty-zahajuje-historickou-investici-do-transformace-ostavske-huti-ve-vyrobcе-zelene-oceli/>
[6] <https://gmk.center/en/news/salzgitter-received-e1-billion-in-funding-to-decarbonize-steel-production/>
[7] [https://www.zelpo.sk/zelpo/homezp.nsf/229F285D25A6952CC1258A380042D465/\\$File/rocna-sprava-2022.pdf](https://www.zelpo.sk/zelpo/homezp.nsf/229F285D25A6952CC1258A380042D465/$File/rocna-sprava-2022.pdf)
[8] <https://www.ocelarskaunie.cz/pomoc-s-dekarbonizaci-vlada-schvalila-memorandum/>
[9] <https://www.midrex.com/tech-a>

Zaostřeno na železářny. Hledání míst z minulosti byla pro fotografa často detektivní práce

Fotografie hutních provozů z období před sto i více lety spolu se snímky jejich novodobé podoby představuje výstava nazvaná *Zaostřeno na werk* v proměnách času. Dvojici 20 historických a 20 aktuálních fotografií zachycených objektivem Pavla Zubka budou moci návštěvníci vidět v prostorách zahrady Muzea Třineckých železáren od začátku června.

U historických snímků organizátoři výstavy čerpali z archivu železáren ze skleněných negativů, kde jsou nejstarší dochované historické fotografie z období od už roku 1864. Nelehkého úkolu zachytit novodobou podobu provozů a pohledů na železářny se ujal industriální fotograf Pavel Zubek. „Občas to byla šichta. Řekl bych až detektivní práce,“ řekl. Fotil z mostů, žebříků i střech. Aby se dostal na úroveň původních záběrů, využíval i dron.

„Občas jsem byl přesvědčen, že na historickém snímku je místo, které znám. Ale pak jsem zjistil, že to bylo úplně jiný prostor a musel jsem ho zachytit znovu. A často jsem marně hledal místo, odkud je sto let starý pohled focený. Chtěl jsem ho co nejvíce přiblížit danému úhlu,“ popisuje Pavel Zubek.

Jeho snímky jsou již řadu let součástí novodobých archivů hutě. *„Vytlačování koksů, odpich na vysokých pecích, lití železa z pánví do konvertorů na ocelárně, vylévání strusky na odvalu, ale i válcování kolejnic či drátu a k tomu všemu možnost sledovat lidi v práci. To vše mě zajímá dodnes. Chci to mít zaznamenáno na čipu mé zrcadlovky a zanechat tyto momenty dalším generacím,“* dodal fotograf, který firmu mapuje od roku 2006.

Projekt výstavy *Zaostřeno na werk* v proměnách času mu dal možnost navštívit místa, kde ještě s fotoaparátém nevstoupil. Potkal se s řadou zajímavých a jak říká hlavně ochotných lidí. A poprvé viděl snímky z historie, o nichž dosud neměl páru. *„Bylo pro mě ctí, že jsem dostal příležitost ukázat novodobou tvář metalurgického podniku v odrazu historických záběrů třinecké hutě,“* uzavřel.

Výstava je přístupná veřejnosti zdarma v zahradě Muzea Třineckých železáren a města Třince od 6. června do 30. září.

- z tiskové zprávy -

Uzbekistán zahajuje výstavbu peletizačního závodu na ložisku Tebinbulak

Uzbekistán zahájil výstavbu peletizačního závodu v největším ložisku železné rudy v zemi Tebinbulak. Mezi hlavní vybavení závodu budou patřit deskové stroje pro peletizaci surových pelet, dopravníkový pražící stroj, zařízení pro vstřikování a třídění pelet, nakládací zásobníky a dopravníkové linky. Projekt zahrnuje peletizaci železné rudy (koncentrátu) za účelem výroby pelet.

Roční výrobní kapacita peletovací továrny Tebinbulak bude 5 milionů tun a její spuštění je naplánováno na čtvrté čtvrtletí roku 2025. Předpokládá se vytvoření více než 400 pracovních míst a pracovní potřeby projektu budou uspokojeny především nábořem místní lidé. Pro zlepšení dovedností zaměstnanců budou poskytovány školicí programy založené na stávajících výrobních zařízeních.

Peletovací závod se stane součástí výrobního řetězce prvního těžebního a hutnického závodu v zemi řízeného společností Triangul Metals Tebinbulak. Tebinbulak je součástí stejnojmenného integrovaného ocelářského klastru působícího ve speciální průmyslové zóně Karauziak. Odhadované zásoby ložiska železné rudy Tebinbulak jsou podle společnosti přes 1 miliardu tun s průměrným obsahem železa 12,6 % a magnetitu 6,8 %. Pole v současné době prochází dalším průzkumem a po dokončení tohoto programu se očekává, že celkové zásoby vzrostou o 500 milionů tun.

Zdroj: Triangul Metals Tebinbulak.

Nejúčinnější systém na výrobu vodíku

Australská společnost Hysata vyvinula extrémně účinný kapilární systém pro elektrolýzu vodíku, který je mnohem účinnější než jiné srovnatelné technologie. Technologie je založená na eliminaci bublin, které jinak sabotují elektrolýzu vodíku navyšováním elektrického odporu. Hysata teď směřuje k výrobě vodíku ve velkém.

Výroba vodíku něco stojí. Především energii. Typicky je nutné odepsat asi 20-30 procent energie i u těch nejlepších soudobých technologií. Obvykle spotřebují kolem 52,5 kWh energie na vytvoření 1 kilogramu vodíku, který představuje uložení asi 39,4 kWh energie. Je to plýtvání energií a přispívá to k vysoké ceně vodíkové energetiky, která pak nemá moc šanci v konkurenci s fosilními palivy nebo bateriemi.



Provoz na výrobu vodíku

Do této situace vstupuje australská společnost Hysata, kde vyvinuli kapilární elektrolyzátor na výrobu vodíku, jehož celková účinnost je neuvěřitelných 95 procent. V laboratorních podmínkách vlastně až 98 procent. Na výrobu 1 kilogramu vodíku tento postup spotřebuje 41,5 kWh energie, což podstatně snižuje náklady na výrobu ceněného prvku. Výsledkem je nejlevnější vodík s technologií vhodnou k průmyslové produkci.

Design zařízení, který původně vznikl na University of Wollongong, je založený na eliminaci bublin vodíku a kyslíku v elektrolytu mezi anodou a katodou. Tyto bubliny totiž nejsou elektricky vodivé, a když se nabalí na elektrody, omezují jejich provoz. Vzniká větší odpor a stoupají nároky na energii. Proto eliminace bublin pomáhá.

Zařízení společnosti Hysata obsahuje elektrolyt ve spodní části, odkud je pak nasáván přes porézní hydrofilní separátor mezi elektrodami. Každá elektroda je v plném kontaktu s elektrolytem na své vnitřní straně a se suchou komorou na vnější straně. Když se v zařízení rozkládá voda elektrolýzou, plyny nemají čím probublávat. Tím pádem je velmi omezen elektrický odpor a kapilární vztlak nasává vodu do centrálního separátoru, aniž by bylo nutné

používat čerpadlo. Výsledkem je ohromující nárůst účinnosti celého procesu.

Investoři souhlasí a společnost Hysata nedávno ohlásila, že získala investice ve výši 111 milionů amerických dolarů. Peněžní injekce pomůže rozvoji produkčních kapacit a umožní vývoj technologie na úroveň gigawattů. V krátkodobém výhledu je ale není situace pro Hysatu a další firmy orientované na elektrolýzu vodíku příliš růžová. Mají většinou ztráty, hlavně kvůli slabé poptávce, způsobené skluzou ve finanční podpoře státu, jak v USA, tak i v EU. Snad se blýská na lepší časy, vodík by za to stál.

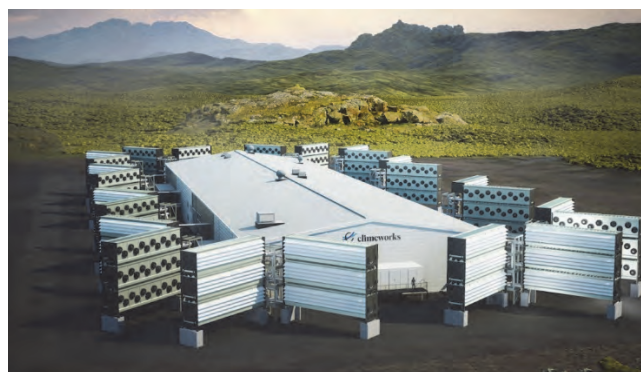
Zdroj: <https://www.osel.cz/13478-nejucinnejsi-system-na-vyrobu-vodiku-hysata-cili-na-prumyslovou-produkci.html>

Na Islandu začala fungovat největší elektrárna na světě, která bude vysávat znečištění z atmosféry jako obří vysavač

Na jaře 2024 začala na Islandu fungovat „největší“ elektrárna na světě, která má jako obří vysavač vysávat z atmosféry znečištění ohřívající planetu. Mamut je druhým komerčním zařízením na přímé zachycování vzduchu, které švýcarská společnost Climeworks otevřela v zemi, a je desetkrát větší než jeho předchůdce Orca, který zahájil provoz v roce 2021.

Přímé zachycování vzduchu neboli DAC je technologie určená k nasávání vzduchu a odstraňování uhlíku pomocí chemických látek. Uhlík pak může být vstříkovan hluboko pod zem, znovu použit nebo přeměněn na pevné produkty.

Vzhledem k tomu, že se planeta nadále ohřívá, a to s ničivými důsledky pro lidi i přírodu, musí podle mnoha vědců svět kromě rychlého snižování spotřeby fosilních paliv najít způsoby, jak z atmosféry odstranit uhlík.



Technologie odstraňování uhlíku, jako je DAC, jsou však stále kontroverzní. Jsou kritizovány jako drahé, energeticky náročné a ve velkém měřítku neověřené. Někteří obhájci klimatu se také obávají, že by mohly odvést pozornost od politiky omezování fosilních paliv.

Společnost Climeworks zahájila stavbu Mamut v červnu 2022 a podle svých slov je největší takovou elektrárnou na světě. Má modulární konstrukci s prostorem pro 72 „sběrných kontejnerů“ – vakuových částí zařízení, které zachycují uhlík ze vzduchu, které lze skládat na sebe a snadno přemísťovat. V současné době je jich na místě 12 a další mají být přidány během několika příštích měsíců.

Podle společnosti Climeworks bude Mamut při plném výkonu schopen vytáhnout z atmosféry 36 000 tun uhlíku ročně. To odpovídá tomu, že by se na rok ze silnic odstranilo přibližně 7 800 aut na benzinový pohon.

Zdroj: <https://techsvet.cz/nejnovejsi-zpravy/na-islandu-zacala-fungovat-nejvetsi-elektrarna-na-svete-ktera-bude-vysavat-zneucisteni-z-atmosfery-jako-obri-vysavac/x>

Molekulární klece. Nově objevený materiál by mohl být klíčem k eliminaci skleníkových plynů z atmosféry

Materiálovým vědcům se podařilo vyvinout nový typ molekulárních klecí, které jsou schopné ve své struktuře ukládat oxid uhličitý a další nebezpečné skleníkové plyny. Výzkum tak otevírá nové možnosti řešení jedné z nejpálčivějších ekologických otázek poslední doby.

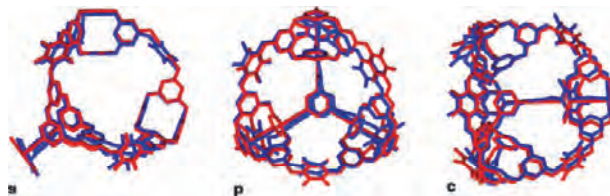
Nově vyvinutý materiál připomíná vysokokapacitní molekulární klec, která ve svých kavitách dokáže velmi efektivně vázat skleníkové plyny, především pak oxid uhličitý (CO₂) a fluorid sírový (SF₆). Zejména druhý zmiňovaný zástupce kontaminantů ovzduší představuje v posledních letech reálnou hrozbu.



Foto: Unsplash

Fluorid sírový jako negativní stránka elektrifikace technologií SF₆ se v minulosti používal v různých aplikacích, od tavení kovů až po plnění panelů dvojitých skel, největší sféru jeho aplikace však představuje elektroenergetika, kde tento plyn slouží jako velmi účinný izolant elektrického vedení. Fluorid sírový je přitom přibližně 24 000krát nebezpečnější skleníkový plyn než tolik omílaný oxid uhličitý. Na jeho uvolňování do atmosféry pak má podle nových výzkumů masivní podíl především průmysl Čínské lidové republiky, který je do značné míry elektrifikován. Ekologové z celého světa tak bijí na poplach a volají po řešení, které by emise SF₆ do ovzduší zastavily či alespoň omezily.

V tomto ohledu by tak mohl najít využití právě nový typ porézního materiálu schopný vázat skleníkové plyny do své struktury. Za vývojem této molekulární klece stojí mezinárodní tým vědců vedený experty z Heriot-Watt University ve skotském Edinburghu. Ve své práci, jejíž výsledky byly zveřejněny v odborném časopise *Nature Synthesis*, autoři nejprve využili pokročilé počítačové simulace k vytvoření trojrozměrného modelu, na jehož základě látku následně připravili a izolovali i v rámci reálného laboratorního experimentu.



S vývojem struktury nového porézního materiálu výrazně pomohly pokročilé počítačové simulace.

Vytvořený materiál byl vytvořen z dílčích klecových molekul, které tak společně tvoří komplexní systém, který autoři nazvali „klec klecí“. Byl to pak právě počítač, který dokázal simulovat dílčí skládání jednotlivých strukturních motivů do sebe tak, aby materiál získal požadované vlastnosti. Autoři práce přitom využívali poměrně běžně dostupné modelovací programy, dokáží si ale představit také zapojení umělé inteligence, která by výzkum dokázala posunout ještě dál.

Zatím není jasné, zda se podaří nově vytvořený materiál využít k reálnému čištění ovzduší. Vědci ale věří, že jejich výzkum přinejménším ukázal, že spojené úsilí výpočetních studií s AI má velký potenciál k řešení globálních problémů sužujících celou naši společnost. Tyto technologie nám tak mohou pomoci najít východisko i ze situací, které bychom ještě před deseti lety považovali za prakticky neřešitelné.

Zdroj: <https://insmart.cz/molekularni-klece-nove-objeveny-material-by-mohl-byt-klicem-k-eliminaci-sklenikovych-plynu-z-atmosfery>

O krok blíž k výrobě zelené ropy. Česká firma má unikátní řešení problému s plasty

Na konci ledna 2024 vydal odbor cirkulární ekonomiky a odpadů ministerstva životního prostředí metodické sdělení ohledně provozů zařízení, která využívají odpad k další výrobě. Díky tomuto na první pohled nenápadnému rozhodnutí přestává být v očích úřadů na výstupu produkt z odpadu odpadem.

Pokud by totiž výklad zákona o odpadech a jeho ustanovení probíhal opačně, došlo by k výraznému omezení recyklace. Rozhodnutí velmi vítám, protože sám mám zkušenost, do jak absurdní situace se může člověk v opačném případě dostat. Máme totiž světově unikátní technologii na recyklaci plastů. A protože na ni neexistují žádné tabulky, tak bychom měli vodík, nejčistější palivo světa, likvidovat jako odpad. Společnosti Green Future se

podářilo jako první na světě vyvinout a postavit plně funkční technologii na termochemickou recyklaci plastů. Velmi zjednodušeně to funguje tak, že jakékoli druhy plastů se pomocí termochemické reakce přemění na uhlíky a ty zase na olej.

Ten má pak vlastnosti jako ropa, takže ji v poměru 1:1 nahradí při další výrobě plastů. Vše běží v uzavřeném okruhu, z technologie nejdou emise a jako „odpad“ vzniká mimo jiné energetický plyn, který se může použít třeba na samotný provoz recyklačního centra.

Tato technologie má potenciál již brzy změnit způsob, jakým přistupujeme k recyklaci plastů, a to nejen u nás, ale globálně. Vývoj jsme dokončili v loňském roce a pustili jsme se do série povolování. Ministerstvo průmyslu a obchodu i hygienu se nám podařilo přesvědčit, že náš výsledný produkt není odpad, ale ropný produkt, protože se využívá stejně jako ropa a má prakticky stejné vlastnosti.

Abych ukázal absurditu, která u nás legislativně panovala, zastavím se u energetického plynu, který při procesu termochemické recyklace vzniká. Jak už jeho název napovídá, dá se využít k výrobě energie. Mimochodem z 13 procent obsahuje pro mnohé nečistší palivo budoucnosti, vodík. My ho umíme bez problémů oddělit od zbytku plynu.

A protože tuto technologii ještě nikdo před námi nedokázal dovyvinout tak, aby byla připravena na komerční provoz, tak úředníkům chyběla tabulka či metodický pokyn, jak s energetickým plynem nebo konkrétně vodíkem nakládat. Výsledné stanovisko úřadů?

Energetický plyn jako výrobek z odpadu je stále odpadem a nejde energeticky využít. Dostali jsme se tak do situace, která je jako vystřižená z absurdního dramatu: Nečistší palivo světa a perfektní zdroj energie, vodík, nesmíme energeticky využívat, ale musíme ho zlikvidovat jako odpad. Zkuste hádat, kolik zařízení v Evropě umí zlikvidovat vodík jako odpad?

To samozřejmě není jediný zadrhel, na který jsme při naší cestě za povolením provozu technologie narazili. Do procesu totiž vstupují, pro mě neuvěřitelně, hned čtyři ministerstva. Kromě ministerstva průmyslu a obchodu, ministerstva zdravotnictví (hygienu, pozn. aut.) to je i ministerstvo financí skrze celní správu (naš olej je přece klasifikovaný jako ropný produkt, tak se musí postavit daňový sklad) a ministerstvo životního prostředí.

Na začátku jsme si připadali jako David bojující s Goliášem. Museli jsme vysvětlovat, prosit, připomínat se a neustále obepisovat ministerstva, poslance a senátory. Jsem přesvědčený, že se naše píle a neochota nechat se odbýt spojila se smysluplností mise Green Future a našeho unikátního řešení problému s plasty. A proto se nám nakonec podařilo dostat k těm správným a kompetentním lidem, kteří nás naštěstí vyslyšeli.

V konečném důsledku jsme získali pevně dané mantinely toho, co musíme splňovat k provozu, povedlo se prosadit změnu vyhlášky o odpadech, kde bude využití energetického plynu vznikajícího z odpadu zohledněno, ale

i poukázat na díry v legislativě. A co je na tom všem nejdůležitější, je zjištění, že čeští úředníci na ministerstvu mají vůli a ochotu problémy řešit.

To Česko překvapivě staví do úplně jiného světla než Evropskou unii. Evropa totiž o technologii termochemické recyklace ví a mluví víc jak deset let. Protože ale donedávna technologie existovala jenom na papíře, nikoho nenapadlo začít s legislativním procesem.

Ten se řeší až teď a teprve se začíná diskutovat, kolika procenty bude výsledný produkt považovaný za recyklovaný. Jestli se bude řešit recyklát, který vznikne (pro nás plyn a olej, což je 95 % recyklovaného vstupního materiálu), nebo až plastové granule, které se vyrobí z oleje.

Zaráží mě, že po všech „green dealech“ a dalších snahách o snížení znečištění ovzduší a globálního oteplování se v Bruselu diskutuje i varianta, kdy bude stačit, že z odpadu půjde vyrobit pevné nebo kapalné palivo. Jinak řečeno to, že se plasty budou neekologicky spalovat a produkovat emise.

Vše, a odpady nevyjímaje, je ohromný byznys a nedělám si iluze, že do něj promlouvá silná lobby. V následujících měsících se tak bude rozhodovat o tom, jaký si Evropa vytyčí směr recyklace plastů. Cíl v podobě snížení emisí a produkce skládkovaného odpadu už dávno máme, ale půjde o to, jak se k němu dostaneme.

Dělat v současné době nějaké závěry, jak přetahování na poli EU dopadne, je zbytečné. Na začátku června nás čekají volby do Evropského parlamentu a rozhodovat bude až jeho nové složení. Cesta k přijetí společného rozhodnutí a implementace do národních zákonů a vyhlášek tak bude ještě dlouhá. Proto bude ještě nějakou dobu záviset na zákonech jednotlivých států EU, jejich postoji k recyklaci a novým technologiím, jako je ta naše.

Ve Skandinávii jsou připraveni, v Rakousku, kde stavíme další areál, se za nás postavila obec a dokázala velice rychle prosadit potřebná povolení a změny, ve Francii vyšla nedávno vyhláška řešící nakládání s odpady, problém není ani v Německu... Nezbývá než doufat, že tam, kde prozatím legislativa není, se jí podaří brzy vyřešit, tak jako se to stalo v Česku.

Autor je CEO českého start-upu Green Future

Zdroj: <https://faei.cz/o-krok-bliz-k-vyrobe-zelene-ropy-ceska-firma-ma-unikatni-reseni-problemu-s-plasty>

Mamutí motor Wärtsilä se stal kolosálním generátorem čisté energie

Námořní motor Wärtsilä 31, jeden z největších na světě, který doposud poháněl masivní tankery či kontejnerové lodě, podle všeho neskončí jako neptačí dinosauri. Wärtsilä vyvinuli varianty 31SG-H2 a 31H2, které mohou jako generátory buď částečně, nebo výhradně spalovat vodík a v ideálním případě nabídnou energii bez emisí uhlíku. Na trhu se objeví v roce 2026.

Finská společnost Wärtsilä je známá jako výrobce gargantuovských spalovacích motorů, kterým kraluje model Wärtsilä RT-flex96C. Je to největší pístový motor na světě. Příšera o výšce asi 14 metrů, délce 27 metrů, váze přes 2300 tun a nezměrném výkonu přes 80 MW (asi 110 tisíc koňských sil), která spaluje těžký topný olej, substancí připomínající černé svědomí ropného průmyslu, určená k pohonu největších kontejnerových lodí.

Jeho o něco skromnějším sourozencem je motor Wärtsilä 31 o rozměrech „pouhých“ cca 5 krát 9 metrů a výkonu zhruba 4,6 až 10,4 MW, podle konfigurace a otáček. Tento motor, který se montuje do tankerů a kontejnerových lodí, byl doposud dostupný v dieselové, plynové a smíšené variantě, tedy pouze pro fosilní paliva. Má na svém kontě superlativy, například zápis do Guinnessových rekordů coby nejúčinnější čtyřtákní lodní motor, jaký byl kdy vyroben ve své třídě.

Wärtsilä očividně naskočili na vlnu čisté energie. Vyvinuli dvě nové varianty motoru Wärtsilä 31, které počítají s vodíkem jako palivem. Wärtsilä 31SG-H2 je „motor připravený na vodík“ (*hydrogen-ready engine*). Pohání ho zemní plyn anebo směs s až 25 procenty vodíku. Zároveň je možné tento motor relativně snadno konvertovat na stoprocentní vodík. Druhou variantou je Wärtsilä 31H2,

tedy „vodíkový motor“ (*pure hydrogen engine*), který může spalovat buď čistý vodík, nebo také zemní plyn.

Až budou tyto motory vyrobeny a pustí se do práce, měly by se stát největšími vodíkem poháněnými generátory světa. Má to, ale háček. Pro jejich provoz musí být k dispozici dostatečné množství vodíku, pochopitelně zeleného, jinak by to moc nemělo smysl. Jak říká ředitel Wärtsilä Energy Anders Lindberg, v otázce paliva jsou realisty a počítají s tím, že zřejmě ještě potrvá, než bude možné opustit fosilní paliva, jako je zemní plyn, a přejít na pohony založené výhradně na čisté energii.

Wärtsilä už rovněž připravili koncept vodíkové elektrárny, v níž bude jako generátor fungovat motor Wärtsilä 31 poháněný vodíkem. Tento koncept již prošel 1. fází certifikace organizací TÜV SÜD, která je zaměřena ochranu lidí a životního prostředí. Wärtsilä očekávají, že zmíněné motory, které buď zčásti, nebo plně pohání vodík, budou pro zákazníky připraveny v roce 2026.

Zdroj: <https://www.osel.cz/13530-mamuti-motor-w-rtsil-se-stal-kolosalnim-generatorem-ciste-energie.html>

Marcegaglia získává ocelárnu Ascometal ve Fos-Sur-Mer

Obchodní komora Soudního dvora ve Štrasburku rozhodnutím ze dne 31. května 2024 uznala italskou ocelářskou společnost Marcegaglia za vítěze výběrového řízení na akvizici ocelárny Ascometal ve Fos-sur-Mer ve Francii, která je v současné době prochází rekonstrukcí. Marcegaglia se zavázala zaměstnávat všechny zaměstnance a investovat asi 600 milionů eur do průmyslové transformace závodu.

Projekt modernizace počítá se zvýšením kapacity elektrické obloukové pece na 1-1,2 milionu tun oceli ročně, vybudováním nového stroje pro plynulé odlévání (CCM) a moderní válcovny pásů za tepla. Celková výrobní kapacita podniku bude 1,6-2 milionů tun oceli ročně. Zařízení Fos-Sur-Mer tak pokryje asi 30 % ocelářských potřeb Marcegaglia a bude využívat efektivní a ekologické výrobní metody.

„Tato důležitá akvizice je součástí globální strategie společnosti integrovat celý hodnotový řetězec. Velký přístav Marseille je navíc strategicky umístěn z hlediska zásobování surovinami a logistiky. Díky inovativnímu modernizačnímu projektu se závod Fos-Sur-Mer stane jedním z nejdůležitějších aktiv naší skupiny,“ uvedli Antonio a Emma Marcegaglia.

Marcegaglia loni získala 100% podíl v lotyšské Severstal Distribution (SSD), dceřiné společnosti ruského Severstalu. V důsledku této transakce získala Marcegaglia Carbon Steel plnou kontrolu nad servisním střediskem SD SIA v Rize a jejími dceřinými společnostmi SD Sp.zo.o. v Polsku a SD OOO na Ukrajině. Divize fungují prostřednictvím dodavatelského řetězce, který zahrnuje pouze distribuci plochých a dlouhých výrobků, bez jakýchkoliv výrobních činností.

Zdroj: GMK Center

Výstavy, veletrhy, konference

Konference OCELÁŘI 2024 - Teorie a praxe výroby a zpracování oceli

Ve dnech 25. a 26. dubna 2024 se v Rožnově pod Radhoštěm v Hotelu Energetic konal již 38. ročník konference teorie a praxe výroby a zpracování oceli, tzv. OCELÁŘI 2024. Tematicky byla konference zaměřena na:

- Teoretické základy metalurgických procesů
- Technologii výroby oceli v primárních agregátech
- Zpracování oceli na zařízeních sekundární metalurgie
- Problematiku zvyšování čistoty oceli
- Fyzikální a numerické modelování metalurgických pochodů
- Odlévání oceli do kokil a na zařízení plynulého odlévání
- Žárovzdušné materiály a vyzdívky metalurgických agregátů
- Řešení technologických, ekonomických a ekologických problémů při výrobě oceli
- European Green Deal, Green Steel, Cirkulární ekonomiku v metalurgii oceli
- Možnosti zpracování druhotných surovin vznikajících při výrobě oceli
- Průmysl 4.0



Konference se zúčastnilo 85 odborníků z přibližně 40 firem a vysokých škol z České republiky, Slovenska, Polska, Rakouska a Itálie. Úvodní blok přednášek zahájila Mgr. Ing. Marcela Kubalová s přednáškou na téma Vize Ocelářské unie. Poté následovala přednáška prof. Ing. Jozefa Vlčka, Ph.D. z MATERIÁLOVÉHO A METALURGICKÉHO VÝZKUMU s.r.o. o oběhovém hospodářství jako podpůrném nástroji pro zajištění udržitelného rozvoje. Již tradičně program přednášek obohatil i Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D. s rekapitulací informací směřování evropského hutnictví k „Zelené oceli“. Po úvodních přednáškách vedoucích k zamyšlení se nad vývojem metalurgie oceli měli účastníci konference možnost vyslechnout dalších více jak 15 odborných přednášek, sdílet odborné znalosti a v přátelské atmosféře společně debatovat a relaxovat v rámci společenského večera. Poděkování proto patří autorům přednášek, ale i sponzorům a vystavovatelům a v neposlední řadě všem účastníkům konference, které srdečně zveme na příští ročník v roce 2025.

*Za organizátory konference
Markéta Tkadlečková*

Výstavu INVENT ARENA navštívil rekordní počet návštěvníků



INVENT ARENA v Třinci byla 12. a 13. června 2024 prostorem pro setkání největších technologických novinek tuzemských i zahraničních vystavovatelů. Soutěžní výstavu vynálezů, inovací a trendů v průmyslu zaměřenou na udržitelnou výrobu pořádal spolek Česká hutnická společnost.

V Třinci se pod střechou WERK ARENY sešli vystavovatelé z řady průmyslových oborů, zástupci univerzit, představitelé ochrany průmyslového vlastnictví, investoři, nositelé nových myšlenek a nápadů i široká veřejnost: více než padesát vystavovatelů soutěžilo v osmi soutěžních kategoriích. Nejen na inovativní patenty, ale také na bohatý doprovodný program se přišlo podívat více než 9000 návštěvníků.

Třetí ročník Invent areny se do historie zapíše nejenom rekordní návštěvností, ale také momentem významným pro třinecký region a celý Moravskoslezský kraj; Ministr životního prostředí Petr Hladík na úvodním slavnostním ceremoniálu oznámil, že CirkArena dostala zelenou – Projekt, jehož cílem je vytvoření nové vědecké infrastruktury, výzkumně-vývojového centra pro cirkulární ekonomiku a kompetenční centrum, v němž budou soustředěny vědecké, výzkumné a vývojové kapacity. Centrum kompetence pomůže akcelarovat vědeckovýzkumné, vzdělávací a inovační aktivity v oblasti cirkulární ekonomiky.

„Inovace jsou motorem rozvoje podnikání, proto je naší ambicí na výstavě připomínat tradici vynálezectví, které má v České republice dlouholetou tradici, a tak trochu se na ni v posledních letech zapomnělo. A hlavně – chceme inspirovat mladé lidi a ukázat jim, že v technických oborech je naše budoucnost, také z toho důvodu jsme doprovodný program akce koncipovali tak, aby byl primárně určen pro žáky a studenty základních a středních škol. Věříme, že jsme někomu ukázali cestu, kam směřovat a v budoucnu se nám to vrátí. A třeba se s někým z nich setkáme na příštím ročníku INVENT ARENA 2026 jako s novým inovátorem či držitelem patentů,“ shrnuje a vyslovuje přání Jiří Cupek, předseda představenstva pořádatelky organizace.

– z tiskové zprávy –



Ze života škol

Green Deal mění průmysl v EU a v MSK

Studenti diskutovali se zástupci průmyslu, akademické sféry a politiky o vlivu Green Dealu na průmysl našeho kraje.

Kulatý stůl o Green Dealu, který proběhl na půdě VŠB-Technické univerzity Ostrava se stal důležitou platformou pro diskusi o udržitelné budoucnosti průmyslu a jeho dalším rozvoji v Moravskoslezském kraji. Setkání, které uspořádala Fakulta materiálově-technologická ve spolupráci s průmyslovými partnery přilákala širokou škálu řečníků. Ke kulatému stolu usedli zástupci průmyslu Henryk Huczala (technický ředitel a druhý místopředseda představenstva Třineckých železáren), Jakub Weimann (generální ředitel Bonatrans Group), Bohuslav Čížek (ředitel Sekce hospodářské politiky a hlavní ekonom Svazu průmyslu a dopravy ČR), kandidáti do parlamentu EU Ondřej Krutílek (ODS) a Ondřej Kovařík (ANO) a Petr Lichý (Katedra metalurgických technologií FMT VŠB-TUO).



Do publika tentokrát usadili nejen studenti FMT a studenti středních škol, ale také vysokoškolští pedagogové.

Diskuse se točila kolem klíčových témat týkajících se průmyslu a jeho budoucnosti nejen v MSK. Řečníci diskutovali témata zaměřená na implementaci zásad udržitelného rozvoje do průmyslových procesů, inovaci v oblasti environmentálních technologií, podporu a financování projektů směřujících k ochraně životního prostředí a také výzvy spojené s přechodem na zelenější ekonomiku. Studenty zajímala nejen transformace samotného průmyslu, ale s tím spojené i možnosti pracovního uplatnění. Samotná diskuse potvrdila důležitost technických profesí nejen v MSK, ale i v EU.

„Kulatý stůl poskytl cennou příležitost pro otevřenou a konstruktivní diskusi mezi politickými zástupci a průmyslovými lídry o budoucnosti MSK. Byly zde předloženy inspirativní nápady a podněty, které přispějí k dalšímu formování strategií regionu směrem k udržitelnému rozvoji,“ uvedla **Kamila Janovská, děkanka Fakulty materiálově-technologické VŠB-TUO**, která se ujala moderování kulatého stolu.



Setkání u kulatého stolu a diskuse o vlivu Green Dealu na průmysl v MSK položila pevné základy k definování jasných cílů a strategií pro budoucnost našeho regionu. Úspěšnost kulatého stolu byla patrná z intenzivní a inspirativní diskuse, která se během akce rozvinula.

„Peníze a technologie nutné pro transformaci průmyslu je jedna věc. Ale klíčoví budou i lidé, kteří s nimi budou pracovat. Proto jsem rád za tento kulatý stůl, který podporuje technické vzdělávání,“ hodnotí akci **Henryk Huczala, druhý místopředseda představenstva a technický ředitel Třineckých železáren**.

– z tiskové zprávy –

Dílo Prométheus

V karuselu v budově rektorátu VŠB-TUO v Ostravě bylo odhaleno nové umělecké dílo. Jedná se o Prométhea Ing. Václava Merty.

Výstava se týkala figurální studie k tématu prométheovského mýtu autora Ing. Václava Merty (1992).

O díle a autorovi:

PROMÉTHEUS

odlitek z cínového bronzu metodou ztraceného vosku, patinovaný povrch.

Výstava figurální studie k tématu prométheovského mýtu autora Ing. Václava Merty, lektor VŠB-TUO na Fakultě materiálově technologické – katedra metalurgických technologií.

Tento bronzový odlitek vznikl jako autorova bakalářská práce. Postava Prométhea pocházející z antické mytologie symbolizuje utrpení za krádež božského ohně a jeho postoupení lidskému pokolení. Tato postava byla jako téma pro závěrečnou práci vybrána pro silnou symboliku, kterou v sobě nese. Prométheus je ztotožňován s takovými hodnotami, jako jsou dosažení moudrosti a rozvoj vědy, pro něž je nutná jistá dávka úsilí, sebezapření a strádání, vnitřní osvobození skrze utrpení, mučednictví, zpupnost, individualismus a buřičství, svoboda, rovnost, rozum a spravedlnost.

Při hledání inspirace pro výtvarný návrh autor čerpal z tvorby české předválečné avantgardní scény. Hlavním zdrojem byl český kubismus a tvorba sochaře Otto Gutfreunda. Tyto zdroje inspirace se pak společně s dalšími promítly do vlastní figurální studie. Cílem bylo najít skrze sérii fotografií, kreseb a modelů ideální kompozici, která měla vizuálně vyjádřit všechny důležité atributy prométheovského mýtu a podtrhnout Prométheovy charakterové rysy jako moudrost, hrdost, vzdorovitost, víru ve spravedlnost, a také zachytit jeho utrpení, bolest a prosbu o vykoupení, která však není ani v nejmenším zoufalou prosbou zlomené osobnosti přistupující na ponižující podmínky, nýbrž je prosbou o pochopení, o spravedlnost spatřovanou ve své vlastní pravdě, a je tedy výrazem silné víry v sebe sama.

Prométheovské téma zpracované Václavem Mertou v komorní plastice můžete porovnat s monumentálním dílem Vladislava Gajdy Prométheus (Rozmach vědy, techniky a civilizace), které je umístěno na průčelí budovy rektorátu.

– z tiskové zprávy –

VŠB TECHNICKÁ | UNIVERZITNÍ
UNIVERZITA | MUZEUM
OSTRAVA



PROMÉTHEUS

Dovolujeme si Vás pozvat na výstavu figurální studie k tématu prométheovského mýtu autora Ing. Václava Merty.

24. 6. — 2024

13:00

před hlavním
vchodem
rektorátu

VŠB TECHNICKÁ | FAKULTA | KATEDRA
UNIVERZITA | MATERIÁLOVĚ | METALURGICKÝCH
OSTRAVA | TECHNOLOGICKÁ | TECHNOLOGIÍ

Společenská kronika

Odešel prof. Ing. Petr Jelínek, CSc., Dr.h.c.



* 21. září 1937
† 7. dubna 2024

Život prof. Ing. Petra Jelínka, CSc., Dr.h.c. byl více než 50 let úzce spjat s VŠB-TUO. Během let postupně jako odborný asistent, docent a profesor významně ovlivnil několik generací absolventů oboru slévárenství. Bezesporu patřil k mezinárodně uznávaným a předním odborníkům v oblasti formovacích směsí. Zanechal po sobě nesmazatelnou stopu v podobě řady odborných publikací, z nichž některé jsou dodnes jedinými komplexními studijními materiály, které shrnují poznatky o ostřivech a pojivových soustavách formovacích směsí. Po revoluci stál celých 6 let v čele Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství (dnes Fakulta materiálově-technologická)

Profesní život prof. Ing. Petra Jelínka, CSc., Dr.h.c. v datech:

- 1952 – 1956 Vyšší průmyslová škola chemická v Brně
- 1956 – 1961 VŠB, Fakulta hutnická, Katedra slévárenství, Ing.
- 1961 – 1964 Vývojový pracovník VŽKG, závod 3, slévárna oceli, metalurg Královopolské strojírný Brno
- 1964 Odborný asistent na Katedře slévárenství, VŠB-TUO
- 1972 Kandidát technických věd, CSc.
- 1981 Habilitován docentem pro obor slévárenství, Doc.
- 1990 Jmenován profesorem pro obor slévárenská technologie, Prof.
- 1990 – 1996 Děkan Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB-TUO
- 1997 – 2003 Proděkan pro vědu a výzkum, FMMI, VŠB-TUO
- 2003 Jmenován doktorem honoris causa na TU Košice, Dr.h.c.

„Chceš-li být šťastný jeden den, opij se. Chceš-li být šťastný jeden rok, ožeň se. Chceš-li být šťastný celý život, staň se slévačem!“

Nejen díky tomuto heslu si jej pamatujeme my všichni absolventi „slévárenského studia“ na VŠB-TUO, neboť tím náš oblíbený profesor, kolega a přítel končil své loučení s úspěšnými studenty na státnicích. Odchodem prof. Petra Jelínka přicházíme o zapáleného pedagoga, uznávaného vědce, vstřícného kolegu i srdečného přítele. Petře, budeš nám všem chybět.

doc. Ing. Petr Lichý, Ph.D.

Aktuality v hutnictví

Liberty Steel plánuje prodat ocelárnu v Ostravě

Britská ocelárna Liberty Steel plánuje prodat svou problémovou ocelárnu Liberty Ostrava a zároveň iniciuje konkurzní řízení podle insolvenčního zákona. Restrukturalizaci Liberty Ostrava komplikuje slabý trh s ocelí v Evropě a neurčitě zpoždění při přidělování emisních kvót vládou. Česká vláda již dříve uvedla, že důvodem odstávky elektrárny byla revize těchto kvót a vyzvala Liberty k uhrazení dluhů vůči dodavateli energie a dalším. Liberty uvedla, že zpoždění v poskytování kvót způsobilo ztráty v plánu restrukturalizace ve výši 43 milionů EUR a zvýšilo riziko platební neschopnosti. Předchozí plán restrukturalizace závisel na prodeji emisních povolenek a také na cenách svitků válcovaných za tepla, které měly v červenci dosáhnout 950 EUR/t. V současnosti jsou ceny svitků válcovaných za tepla o více než 300 EUR/t nižší, než se předpokládá v plánu restrukturalizace závodu. Tyto faktory tedy vedly ke ztrátě 1 milionu EUR za den.

Zdroje z trhu naznačují, že společnost bude mít potíže s hledáním kupců pro český závod. Zároveň prodej může pomoci uchovat aktiva a odepsat dluh, ale vztahy mezi firmou a vládou jsou v posledních měsících velmi napjaté.

Zdroj: ArgusMedia

Společnost Vítkovice Steel zarezervovala 1 milion tun „zelených“ bram ročně z Ománu

Česká společnost podepsala memorandum se společností Vulcan Green Steel, která staví závod v Dukm. Český výrobce plechů válcovaných za tepla Vítkovice Steel zarezervoval 1 milion tun neopracovaných bram, které má v Ománu vyrobit společnost Vulcan Green Steel (součást skupiny Jindal Steel Group). Informuje o tom Ocelářská unie.

Jak bylo uvedeno, Vítkovice Steel má ambice stát se jedním z prvních evropských výrobců nízkouhlíkových válcovaných ocelových výrobků vyráběných s minimálním dopadem na životní prostředí. Podle závazného memoranda podepsaného stranami bude česká společnost schopna v příštích letech z moderního závodu Vulcan Green Steel vyrábět až 1 milion tun bram o tloušťce 230 až 300 mm ročně. Ceny a technické podmínky dodávek budou stanoveny v samostatných dohodách. „Přilákání nového dodavatele surovin vyráběných nejmodernějšími technologiemi je přelomovým strategickým krokem, který nám umožní vyrábět a dodávat na trh vysoce kvalitní plechy a sochory z ekologicky šetrné oceli,“ řekl Radek Strouhal, generální ředitel Vítkovice Steel.

Ocelářský komplex Vulcan Green Steel ve speciální ekonomické zóně Dukma (Omán) má být dokončen v roce 2026. Počáteční výrobní kapacita bude 5 milionů tun dekarbonizované oceli ročně. Závod bude plně využívat obnovitelné zdroje energie. Využití zeleného vodíku vyrobeného z obnovitelných zdrojů energie zajistí uhlíkovou stopu menší než 0,6–0,7 tuny CO₂ na tunu surové oceli.

Vítkovice Steel dále plánují postavit první sklady pro své výrobky v Kyjevě, Lvově a Dněpru.

elektrárnou, která bude nakonec provozována s využitím obnovitelného vodíku.

Zdroj: GMK Center

LIBERTY Dunaújváros vyřazuje z provozu dvě koksovny

Liberty Dunaújváros (dříve Dunaferr), maďarská ocelárna, která je součástí globální ocelářské společnosti Liberty Steel, začíná vyřazovat z provozu dvě koksovnické pece. Výroba koksu v závodě bude ukončena 12. června 2024, ale odstávka bude trvat několik měsíců. Společnost spolupracuje s příslušnými úřady, aby zajistila, že odstávka bude provedena bezpečně a bez poškození životního prostředí. Liberty poznamenává, že jednotky ztrácejí účinnost, což způsobuje potíže s údržbou a ztráty v důsledku nadměrné kapacity na trhu. Vyřazením koksoven z provozu se výrazně snižují emise CO₂ a prachu společnosti.

Během příštích 5 let Liberty plánuje značné investice do maďarského závodu, aby zajistila dekarbonizaci podniku a zajistila neutrální uhlíkové emise z výroby oceli. Liberty nedávno podepsala smlouvu s CISDI Engineering na studii proveditelnosti pro instalaci nové elektrické obloukové pece (EAF) v Dunaújváros, nové technologie, která sníží přímé emise CO₂ o přibližně 80 %. Kapacita EDM se odhaduje na 1,5 milionu tun oceli ročně.

Zdroj: Liberty Steel

Liberty Steel opět pozastavila chod vysoké pece v rumunském závodě Argus

Liberty Steel opět pozastavila provoz své jediné vysoké pece v Evropě ve svém závodě v Galati v Rumunsku kvůli obtížným podmínkám na trhu. Mluvíci společnosti řekl tiskové agentuře, že bylo přijato rozhodnutí zavést dočasné období odstávky za horka a pokračovat v provozu zpracovatelských závodů pomocí zásob bram, aby byla zajištěna zisková a stabilní výroba v Galati. Během odstávky se podle něj společnost zaměří na údržbu a opravy s cílem

zlepšit výkon a spolehlivost vysokých pecí a také na konsolidaci knihy zakázek pro zákazníky v ziskových segmentech trhu.

Společnost Liberty Steel také nedávno oznámila, že zvažuje rekapitalizaci nebo prodej svých hlavních evropských válcovacích linek. Společnost zahájila strategickou revizi svých zpracovatelských zařízení, která zhodnotí aktiva v Lutychu (Belgie), Dudelange (Lucembursko) a Pembino (Itálie). Jefferies LLC provede kontrolu.

Zdroj: Argus Media

Indická Steel Mont a Ománská VGS mají zájem o akvizici Acciaierie d'Italia

O získání aktiv Acciaierie d'Italia (ADI) mají zájem indický Steel Mont a ománský Vulcan Green Steel (VGS). Nedávno zástupci společností navštívili závody v Janově, Novi Ligure a Tarantu. Proslýchá se, že aktiva ADI budou rozdělena do samostatných zařízení a závod Taranto projde „zelenou“ transformací. Představitelé Acciaierie d'Italia slíbili odborům, že dvě vysoké pece (BF) v závodě – č. 1 a č. 4 – budou nahrazeny elektrickými obloukovými pecemi (EAF). Zahájení modernizace se očekává v první polovině roku 2025.

V současné době italský závod funguje na minimální úrovni a využívá pouze BF č. 4. Předběžný plán restrukturalizace počítá se spuštěním BF č. 1, 2 a 4 do roku 2025 s cílem dosáhnout 6 milionů tun oceli ročně. Uvedení elektrických obloukových pecí do provozu je plánováno na rok 2027. Restartování BF č. 5, které bylo několik let nečinné, se neplánuje.

Italská vláda se chystá investovat 150 milionů eur do továrny v Tarantu a lobbuje v EU, aby poskytla dodatečnou půjčku ve výši 320 milionů eur poté, co bude přijat jasný plán restrukturalizace. Kromě toho prozatímní správa zvažuje úvěr ve výši 600 milionů eur od skupiny bank.

Zdroj: Kallanish

ArcelorMittal za posledních 20 let investoval do polských aktiv více než 2,6 miliardy dolarů

Globální ocelářská společnost ArcelorMittal investovala za posledních 20 let do polských aktiv více než 10,5 miliardy PLN (2,6 miliardy USD). Významná část prostředků byla investována do ekologických projektů. Investice pomohly snížit emise prachu polské divize společnosti o 90 % a oxidu uhličitého o 42 % ve srovnání s rokem 2004. Skupina ArcelorMittal hodlá dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050. Průběžným cílem pro evropské závody je do roku 2030 snížit emise CO₂ o 35 % ve srovnání s rokem 2018.

V posledních letech investoval ArcelorMittal asi 700 milionů PLN do zelených projektů v závodě Dąbrowa Górnicza. Modernizaci prošly také závody v Sosnowci,

Zdzieszowicích (205 mil. PLN), Krakově (100 mil. PLN) atd. ArcelorMittal Poland plánuje investovat 165 milionů PLN (40,9 milionu USD) do modernizace koksovny ve Zdzieszowicích. Očekává se, že všechny práce budou dokončeny do roku 2026.

Zdroj: ArcelorMittal Poland

ArcelorMittal oznamuje zvýšení cen dlouhých produktů v celé Evropě

Globální výrobce oceli ArcelorMittal oznamuje zvýšení cen dlouhých výrobků v celé Evropě. Tento krok je způsoben vysokými výrobními náklady a potřebou obnovit marže. Očekává se, že nárůst ceny bude 30 EUR/t ve srovnání s květnovými smlouvami pro všechny typy dlouhých produktů.

Trhy s dlouhými výrobky v severní a jižní Evropě byly zasaženy nižší poptávkou a vysokými výrobními náklady. Výrobci v jižní Evropě si zároveň vedou lépe než výrobci na severu a západě, kteří se potýkají s nízkými tržbami a maržemi. Minulý měsíc všichni výrobci dlouhých produktů v Německu, Francii, Itálii a Španělsku zvýšili ceny se smíšenými výsledky. V červnu 2024 se italské závody snaží opět zdrazit.

Zdroj: Kallanish

Sloučení US Steel-Nippon Steel: Arbitráž na obzoru, přestože globální překážky byly odstraněny

Navrhovaná akvizice US Steel společností Nippon Steel za 14,9 miliardy dolarů je i nadále ústředním bodem ocelářského průmyslu. Přestože dohoda získala souhlas všech regulačních orgánů kromě USA, kritická domácí překážka zůstává: nadcházející arbitráž mezi US Steel a odborovou organizací United Steelworkers (USW).

Pro USW: Arbitrážní slyšení z 15. srpna má významnou váhu. Stížnosti odborů se soustřeďují na dva hlavní problémy:

Nedostatek transparentnosti: USW tvrdí, že byli vyloučeni z nabídkového řízení a pokouší se vyjednat novou pracovní smlouvu předtím, než bude dohoda konečná. Úspěšný výsledek arbitráže ve prospěch USW by mohl akvizici zpochybnit nebo dokonce ohrozit.

Jistota zaměstnání: Odborový svaz usiluje o „doložku o nástupnictví“, která by zaručovala dodržování stávajících pracovních smluv Nippon Steel, a tím zajistila pracovní místa pro své členy. Důrazné rozhodnutí pro USW v tomto bodě by mohlo přinutit Nippon Steel, aby jako součást dohody nabídla konkrétnější opatření pro bezpečnost práce.

Politické důsledky schválení USW: Pokud po arbitráži USW schválí dohodu, mohlo by to mít významné politické důsledky. Administrativa prezidenta Bidena vyjádřila

výhrady vůči zahraničnímu vlastnictví US Steel s odkazem na obavy o národní bezpečnost. Schválení USW by mohlo být považováno za zelenou pro dohodu, která by mohla oslabit vládní argumenty pro její zablokování. Silná klauzule o nástupnictví by však mohla zmírnit některé obavy o národní bezpečnost tím, že zajistí ochranu amerických pracovních míst.

Zdroj: Steelindustry News

Německo schválilo financování zeleného přechodu ArcelorMittal

Ocelárny ArcelorMittal v Brémách a Eisenhüttenstadtu obdrží rozsáhlou finanční pomoc na přechod na klimaticky neutrální výrobu oceli. Stát bude projekt financovat za zhruba 1,3 miliardy eur, což pokryje zhruba polovinu celkových investic. ArcelorMittal plánuje do roku 2030 vyměnit jednu vysokou pec v Brémách a jednu v Eisenhüttenstadtu za elektrické obloukové pece a jednotku přímé redukce. Očekává se, že nové závody budou využívat vodík, jakmile bude dostupný za mezinárodně konkurenceschopné ceny a v dostatečném množství. To pomůže snížit emise uhlíku až o 5,8 milionu tun ročně a závody budou ročně vyrábět 3,8 milionu tun oceli se sníženým obsahem CO₂. Společnost již navázala spolupráci a partnerství s potenciálními dodavateli vodíku, jako je EWE nebo organizacemi, jako je sdružení na ochranu životního prostředí BUND, aby se připravila na další kroky.

ArcelorMittal používá v Evropě různé technologické přístupy k dekarbonizaci výroby oceli. V Německu se zaměřují na přestavbu vysokých pecí na zemní plyn a později na přímou redukci vodíkových pecí a elektrických obloukových pecí. Aby byl vodík konkurenceschopný, musí se cena vodíku pohybovat kolem 2 EUR za kilogram, v současnosti se pohybuje v cenách 7–9 EUR. Z dlouhodobého hlediska je také obtížné zajistit hospodárnost EOP z důvodu vysoké ceny elektřiny.

Zdroj: GMK Center

Rio Tinto investuje 143 milionů dolarů do výzkumného centra BioIron v západní Austrálii

Britsko-australský těžařský koncern Rio Tinto investuje 143 milionů dolarů do výstavby výzkumného centra v západní Austrálii, aby dále studoval účinnost technologie BioIron, která umožňuje výrobu přímo redukovaného železa (DRI). Vytvoření výzkumného centra ve strategickém Rockingham Industrial Estate (jižně od Perthu) bylo usnadněno úspěšnými zkouškami inovativního výrobního procesu DRI v poloprodučním závodě v Německu.

BioIron využívá biomasu a mikrovlánnou energii místo uhlí k přeměně železné rudy z Pilbarry na DRI. Proces výroby oceli DRI má potenciál snížit emise uhlíku o 95 % ve

srovnání s tradiční metodou vysokých pecí. Projekt počítá s výstavbou pilotního závodu, který bude 10x větší než ten v Německu. Inovativní výrobní proces DRI bude tedy testován v poloprůmyslovém měřítku. Kapacita dosáhne jedné tuny přímo redukovaného železa za hodinu.

Zdroj: Rio Tinto

Danieli byl vybrán jako dodavatel zelených technologií pro Tata Steel IJmuiden

Italský výrobce zařízení Danieli byl vybrán jako dodavatel zelených technologií pro nizozemskou ocelárnu Tata Steel IJmuiden, dceřinou společností globálního výrobce oceli Tata Steel. Podle dohody Danieli postaví přímou továrnu na redukované železo (DRI) v IJmuidenu s využitím technologie Energiron. Smlouva předpokládá projekt závodu Energiron Zero Reformer s kapacitou až 2,5 milionu tun horkého a studeného DRI za rok. Horký DRI bude přiváděn do nové elektrické obloukové pece (EAF) využívající technologii Hytemp, která zvyšuje energetickou účinnost nového závodu.

Zvolená konfigurace DRP-EAF nahradí stávající vysokou pec a koksárenskou pec, čímž se sníží emise CO₂ o 40 %. Technologie Energiron zahrnuje systém zachycování CO₂ a je připravena na vodík.

Zdroj: Danieli

Ukrajinské železnice přepravily v lednu až květnu 19,3 milionu tun železné rudy

V lednu až květnu 2024 přepravily Ukrajinské železnice (UZ) všemi směry 19,3 milionu tun železné a manganové rudy. Obecně platí, že za 5 měsíců UZ zvýšila nákladní přepravu o 30 % oproti lednu až květnu 2023 – až na 75,4 milionů tun. Exportní přeprava za sledované období vzrostla o 57 % r/r – na 38 milionů tun.

„Zajišťujeme stabilní provoz a přepravu komerčního nákladu v plném rozsahu. Podle výsledků za 5 měsíců máme poměrně významné ukazatele jak v celkových přepravních objemech, tak ve strategické exportní přepravě pro zemi. Zejména jsme zvýšili vývoz obilí o 39 % oproti loňskému roku. Jsme připraveni i nadále plně uspokojovat potřeby ekonomiky země a podnikání v dopravě,“ řekl Jevhen Liashchenko, předseda představenstva ukrajinských železnic JSC.

Zdroj: GMK Center

Acerinox snižuje výrobní kapacitu své ocelárny ve Španělsku

Acerinox Group, globální výrobce nerezové oceli a vysokopevnostních slitin, oznámil snížení výrobní kapacity ve svém metalurgickém závodě v Los Barrios

(Cadiz, Španělsko). Španělský závod skupiny bude pracovat ve třech směnách namísto pěti. Hlavními důvody jsou nepříznivé podmínky na trhu a finanční výsledky v posledních letech a také potřeba zavedení nového organizačního a výrobního modelu závodu.

Acerinox také oznamuje uzavření závodu Bahru Stainless v Malajsi. Od této chvíle budou dodávky zákazníkům uskutečňovány z jiných závodů skupiny.

V roce 2023 dosáhl Acerinox rekordního EBITDA ve výši 703 milionů eur s příjmy 6,6 miliardy eur a čistým ziskem 228 milionů eur. Společnost dosáhla dobrých výsledků díky zlepšení v posledních letech a strategickému úspěchu vstupu do sektoru vysoce výkonných slitin.

Zdroj: Acerinox Group

Polská Alchemia plánuje likvidaci továrny na potrubí Walcownia Rur Andrzej

Polská společnost Alchemia Boryszew plánuje zlikvidovat svou dceřinou společnost vyrábějící bezešvé trubky Walcownia Rur Andrzej (WRA) v Zawadzkie v jižním Polsku. Uvedlo to vedení závodu. Rozhodnutí bylo učiněno na pozadí neschopnosti WRA konkurovat na trhu trubek kvůli zastaralé výrobní technologii a vysokým výrobním nákladům.

Walcownia Rur Andrzej zaměstnává 435 lidí, což z ní dělá jednoho z největších zaměstnavatelů v okrese Strzelce (Opolské vojvodství). „Rozhodnutí o likvidaci bylo učiněno z ekonomických důvodů. Proces likvidace potrvá do konce září. Můžeme vás ujistit, že plánujeme našim zaměstnancům vyplatit odstupné,“ vysvětluje Anna Janocha, mluvčí Boryszew Capital Group.

V prvním čtvrtletí roku 2024 dosáhly tržby skupiny Boryszew 1,3 miliardy PLN a EBITDA 60 milionů PLN. Zejména tržby automobilového segmentu dosáhly 420 milionů PLN a tržby hutního segmentu 719 milionů PLN s EBITDA 12 milionů PLN a 33 milionů PLN.

Zdroj: Money.pl

Danieli investuje do rozvoje své divize ABS oceli

Italský výrobce zařízení Danieli investuje do rozvoje své ocelářské divize Acciaierie Bertoli Safau (ABS). V příštích 2-3 letech ABS investuje asi 600 milionů EUR, aby dosáhla objemu výroby přibližně 2 milionů tun s obratem 3 miliardy EUR. Danieli a Acciaierie Bertoli Safau plánují zvýšit svůj obrat o přibližně 20–25 % ve srovnání s rokem 2023 na 5 miliard EUR ze současné úrovně přibližně 4 miliard EUR s EBITDA ve výši 10 %. V plánu je podle něj posílení kapacity výroby speciální oceli.

Egyptská vláda studuje návrh společnosti Danieli Group na vytvoření integrovaného průmyslového ocelářského

komplexu za 4 miliardy dolarů. Zahrnuje vytvoření zařízení pro výrobu železné houby, bezešvých ocelových trubek a plochých výrobků. To by mohlo poskytnout zhruba 17 000 přímých i nepřímých pracovních míst, což bude významnou vzpruhou pro ekonomiku země.

Zdroj: Kallanish

EU prodlouží ochranná opatření na dovoz oceli o další dva roky

Evropská unie oficiálně oznámila Světové obchodní organizaci, že ochranná opatření na dovoz oceli budou prodloužena o další dva roky, do konce června 2026. Evropská komise rovněž zavádí 15%-ní omezení dovozu za tepla válcovaných svitků a válcovaného drátu v rámci čtvrtletní kvóty v kategorii „ostatní země“ pro kteroukoli jednotlivou zemi. Tempo liberalizace cel (TRQ) se během dvou let sníží ze současných 4 % na 1 %.

„Data ukazují, že tempo liberalizace v minulosti do značné míry předstihlo vývoj spotřeby. Zatímco celní kvóty byly od zavedení opatření zvýšeny téměř o 25 % (včetně 5% příplatku uplatňovaného od února 2019), spotřeba se za stejné období snížila o -17 %. Tyto protichůdné trendy tedy výrazně prohloubily propast mezi úrovní celních kvót a tržní poptávkou,“ uvádí zpráva EK.

V EU existuje pouze 5 hlavních zdrojů dovozu svitků válcovaných za tepla v rámci kvóty pro „ostatní země“. Pouze 4 z nich dodaly více než 15 % kvóty: Japonsko (30 % v 1. čtvrtletí 2024), Tchaj-wan (25 %), Vietnam (21 %) a Egypt (17 %). To znamená, že omezení dodavatelů z jedné země na 15% podíl ve skutečnosti povede k neúplnému využití čtvrtletní kvóty „ostatních zemí“. To může dát šanci na zvýšení dodávek do zemí, jako je Indonésie (7 %). Pravděpodobnější však je, že počínaje druhým čtvrtletím letošního roku nepřesáhne míra využití kvóty „ostatní země“ 75–80 %.

Navrhované změny ochranných opatření mají vstoupit v platnost 1. července 2024.

Zdroj: GMK Center

Vítkovické železářny a 100 let Velké Ostravy

Společnost Vítkovice a.s. ve spolupráci s Archivem města Ostravy pořádá 4. prosince 2024 na počest svátku svaté Barbory významnou konferenci s názvem „**Vítkovické železářny a 100 let Velké Ostravy**“.

Tato výjimečná událost proběhne v Multifunkční aule GONG v Dolních Vítkovicích a nabídne hlubší pohled na historický význam Vítkovických železáren a jejich roli ve vývoji města Ostravy. Staňte se součástí tohoto unikátního setkání, které spojuje historii s budoucností.

- red -

Obsah Hutnických listů 2023

Hlavní recenzované články / Main Reviewed Articles

Recenzované vědecké články / Peer-reviewed Scientific Papers

Název článku	Autoři	HL	strana
Improvement of Steel Cleanliness with Electromagnetic Stirring in Tundish Zlepšování čistoty oceli použitím elektromagnetického míchání v mezipánvi	Hongliang Yang Alexander Druzhko Monika Zielinska	1-3	5-8
Vlastnosti a mikrostruktura heterogenních svarových spojů ocelí Super304H a P92 po creepové expozici Properties and microstructure of heterogeneous weld joints of Super304H and P92 steels after creep exposure	Dr. Ing. Zdeněk Kuboň prof. Ing. Vlastimil Vodárek, CSc. Ing. Renáta Palupčíková Ing. Kryštof Hradečný	4-6	6-13
Přístupy k hodnocení lomové houževnatosti konstrukčních ocelí v prostředí vysokotlakého vodíku Approaches to the assessment of the fracture toughness of structural steels in a high-pressure hydrogen gas environment	Ing. Marek Dobiáš Ing. Petr Čížek, Ph.D. doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.	4-6	14-19

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

Zpracování náročných jakostí ocelí pomocí vakuové metalurgie s cílem řízení obsahu vodíku výpočtovým modelem Processing of high grades of steel using vacuum metallurgy with using of numerical model to control hydrogen content	Ing. Miroslav Dostál	1-3	9-14
Komplexní analýzy materiálových vlastností nelegovaných konstrukčních ocelí Complex analyses of material properties of non-alloy construction steels	Ing. Martin Pinta Ing. Kamil Koza Ing. Bc. Jana Sviželová, Ph.D. doc. Ing. Ladislav Socha, MBA, Ph.D. doc. Ing. Karel Gryc, MBA, Ph.D. Bc. Tomáš Sellner	1-3	15-23
Hodnocení vlastností konstrukční oceli vyrobené technologií ESR Properties of Structural Steel Produced by ESR Technology	Ing. Pavel Fila, Ph.D. Ing. Martin Balcar, Ph.D. Bc. Adéla Odehnalová	1-3	24-29
Model level control of continuous furnaces Modelová úroveň řízení průběžných pecí	Ing. Dagmar Špičková doc. Ing. Ivo Špička, Ph.D. Ing. Zbyszek Drobis	1-3	30-35

Název článku	Autoři	HL	strana
Physical modeling of liquid steel refining process with argon Fyzikální modelování procesu rafinace tekuté oceli argonem	<i>prof. dr hab. inž. Mariola Saternus dr hab. inž. Tomasz Merder, prof. PŚ dr hab. inž. Jacek Pieprzyca, prof. PŚ prof. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D. Ing. Tomáš Huczala, Ph.D. Ing. Patrik Mazur</i>	4-6	20-24
Zawracanie odpadów żelazonośnych do procesu stalowniczego w piecu EAF Recycling of ferro-bearing waste to the steelmaking process in the EAF furnace	<i>mgr inż. Marian Rachwalski dr inż. Mariusz Borecki</i>	4-6	25-30
Influence of different heat treatments on TSP transition temperature Vliv různých tepelných zpracování na změnu tranzitní teploty T _{SP}	<i>Ing. Jan Kander Ing. Ondřej Dorazil doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.</i>	4-6	31-34
Potenciál realizace výsledků projektu „Energeticko softwarová optimalizace vysokovýkonových hydraulických stanic“ Potential of implementation of the results of the project "Energy and software optimization of high power hydraulic stations"	<i>Ing. Jan Pětroš Ing. Michal Ožana doc. Dr. Ing. Hružík Lumír Ing. Bureček Adam, Ph.D.</i>	4-6	35-43
Provozní zkoušky nové shotcretovací hmoty určené primárně pro opravy a ochranu pracovní vyzdívky pojízdného mísiče Plant trials with new shotcreting material intended for the repairs and protection of the working lining of a torpedo ladles	<i>Ing. Patrik Mazur Ing. David Bocek, Ph.D.</i>	4-6	44-49
Charakterizácia EOP trosky z pohľadu chemického prvkového a fázového zloženia Elemental and phase analysis of EAF slag	<i>doc. Ing. Dušan Oráč, PhD. Ing. Tomáš Vindt, PhD. prof. Ing. Tomáš Havlik, DrSc. Ing. Vladimír Marcinov Ing. Gréta Maruškinová, PhD. Ing. Pavol Beraxa, PhD. Ing. Vladimír Chomič</i>	4-6	50-55
Porovnanie kvality vybraných materiálov pre výrobu strojných komponentov Comparison of the selected materials quality for the production of machine components	<i>Ing. Mariana Janeková, PhD. Ing. Daniela Košťaliková, PhD. Ing. Andrej Dubec, PhD. Zdenko Šíffel</i>	4-6	56-61
Hodnocení odolnosti konstrukčních ocelí vůči vodíkovému zkrěnutí v podmínkách MMV Evaluation of hydrogen embrittlement resistance of structural steels at MMV	<i>Ing. Petr Čížek, Ph.D. Ing. Marek Dobiáš Ing. Jan Kander</i>	4-6	62-67

Informační články / Information Articles

30 ROKOV INOVÁCIÍ A ROZVOJA OCELIARNE V PODMIENKACH ŽELEZIARNI PODBREZOVÁ A. S.	<i>Ing. Rončák Marcel Ing. Havran Juraj Ing. Turňa Stanislav</i>	1-3	36-41
--	--	-----	-------

Název článku	Autoři	HL	strana
Projekt CirkArena. CIRCULAR ECONOMY R&D CENTRE	<i>Jakub Švrček</i>	1-3	42-43
Využití ZnO z úletov EOP ako druhotnej suroviny pre výrobu v polovodičových produktoch Utilization of ZnO from EOP fly ash as a secondary raw material for production in semiconductor products	<i>doc. Ing. Pavol Liptai, PhD.</i> <i>Ing. Šimon Nagy</i> <i>doc. Dr. Ing. Bystrík Dolník</i> <i>Ing. Tomáš Vindt, PhD.</i> <i>doc. Ing. Dušan Oráč, PhD.</i>	4-6	68-72
Technologia wytwarzania wypełniacza o podwyższonej odporności na spiekanie przeznaczonego do zamknięć suwakowych kadzi stalowniczej Technology for manufacturing filler sand with improved sintering resistance for slide gate for steelmaking ladles	<i>mgr inż. Agnieszka Domagała-Gole-niewska</i> <i>mgr inż. Monika Tynieć-Lewtak</i> <i>dr inż. Janusz Stecko</i> <i>dr inż. Mariusz Borecki</i>	4-6	72-79
Odlévání velkých kruhových předlitků v TŘINECKÝCH ŽELEZÁRNÁCH	<i>Ing. Jiří Cupek, Ph.D.</i> <i>Ing. Jiří Cibulka, Ph.D.</i> <i>Ing. Tomáš Huczala, Ph.D.</i> <i>Ing. Marek Cienciala</i> <i>Ing. David Bocek, Ph.D.</i> <i>Ing. Martin Lasota</i>	4-6	80-82
Značka odpovědného hospodaření s vodou	<i>Ing. Martin Pytloun</i> <i>Tereza Davidová</i>	4-6	83-86
Nové technologie údržby a oprav New maintenance and repair technologies	<i>Ing. Jiří Mužík</i>	4-6	87-88
Úvodník / Editorial			
Úvodník	<i>Ing. Jakub Unucka, Ph.D., MBA</i>	1-3	4
Úvodník	<i>Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.</i>	4-6	5
Zprávy z Ocelářské unie a.s. / Information of Steel Union a.s.			
Spotřeba i výroba oceli v ČR i EU loni klesla, výhled je nejistý	<i>Daniel Urban</i>	1-3	44-45
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2022 a 2023	<i>Jiří Dufek</i>	1-3	46-50
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2022 a 2023	<i>Jiří Dufek</i>	4-6	89-92
EUROPEAN GREEN DEAL			
European Green Deal a cesty ve výrobě oceli	<i>Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.</i>	1-3	51-57
Modernizace a dekarbonizace výroby oceli v Třineckých železárnách má zelenou od úředníků		1-3	58-59
European Green Deal	<i>Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.</i>	4-6	93-96

<i>Název článku</i>	<i>HL</i>	<i>strana</i>
Ze života škol / Information on Activities of Universities		
Velký úspěch začínajících výzkumníků Nová éra spolupráce v hi-tech a vysoce přesném obrábění	4-6	101-102
Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť / Information on Activities of Companies, Institutions and Research Working Sites		
NOVÝ GENERÁLNÍ ŘEDITEL TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN	1-3	60
Z odborných společností / From Professional Companies		
50 let společnosti Ocelové pásy	4-6	97
Výstavy, veletrhy, konference / Exhibitions, Fairs, Conferences		
Konference OCELÁŘI 2023 - Teorie a praxe výroby a zpracování oceli	1-3	61
Oceláři si připomenuli čtyřicátiny kyslíkové konvertorové ocelárny	4-6	98
INVENT ARENA TŘINEC 2024	4-6	99
Oceláři 2024	4-6	100
SteelSIM	4-6	100
PROJEKTOVÁNÍ A PROVOZ POVRCHOVÝCH ÚPRAV	4-6	100
Společenská kronika / Social Chronicle		
Opustil nás prof. Ing. Jiří Bilík, CSc	1-3	62
Opustil nás Ing. Jaroslav Březina	1-3	63
Životní jubileum Ing. Ludvíka Martínka, Ph.D.	4-6	103
Nekrolog Ing. Stanislav Turňa	4-6	104
Aktuality v hutnictví / Newsreel in Metallurgy	1-3	64-67
Obsah Hutnických listů 2023/ Content of the Metallurgical Journal 2023	1-3	68-72



TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY

OCEL PRO PŘÍŠTÍ GENERACE



VYUŽÍVÁNÍ ENERGIE
Z OBNOVITELNÝCH
ZDROJŮ



ZMĚNA
TECHNOLIE
VÝROBY OCELI



PRODUKTY
PRO EKOLOGICKÉ
SEGMENTY



PRINCIPY
CIRKULÁRNÍ
EKONOMIKY



DO ROKU 2030 SNIŽÍME EMISE CO₂ O 55 %





Announcement

SteelsIM 2025

2-4 September 2025
Třinec, Czech Republic



Background

We are pleased to announce the organization of the 11th International Conference on Modelling and Simulation of Metallurgical Processes in Steelmaking SteelsIM 2025, which will be held in Třinec, Czech Republic and organized by the Czech Metallurgical Society.

The Czech Metallurgical Society together with general partner TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. were behind the establishing of this conference in 2003.

The conference is well defined and aims to offer a great opportunity for experts in the field of numerical modelling and simulation. Attendees come from spheres of academic research as well as from the ironmaking/steelmaking industry to share knowledge and new scientific/technical achievements, and to discuss the common challenges and potential pathways for future development. It will cover current state of the art simulated and predictive modelling in steel design and manufacture.

Organizing committee

Organizational guarantor:

ČESKÁ HUTNICKÁ SPOLEČNOST, z.s. (Czech Metallurgical Society)
TRISIA, a.s.



ČESKÁ HUTNICKÁ SPOLEČNOST



General Partners

TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.
Třinec City, Moravian-Silesian Region, Czech Republic



TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY



Website: <https://steelsim2025.hutnickaspol.cz/>