

ROČNÍK/VOL. LXXV
ROK/YEAR 2022

1-2



Hutnické listy

METALLURGICAL
JOURNAL

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

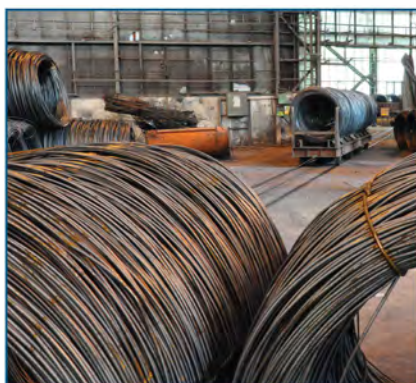
WWW.HUTNICKELISTY.CZ
ISSN 0018-8069





ŽELEZÁŘNY ANNAHÜTTE

VÝROBA SVAŘOVANÝCH SÍTÍ A ŽEBÍRKOVÉHO DRÁTU



Železářny-Annahütte, spol. s r.o.

CZ-796 01 Prostějov, Dolní 100

Telefon: 582 312 325 obchodní oddělení

E-mail: annahutte@annahutte.cz

www.annahutte.cz

Registrační číslo / Registration Number
MK ČR E 18087Mezinárodní standardní číslo / International Standard Serial Number
ISSN 0018-8069

Vydavatel / Publisher

OCELOT s.r.o.
Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice
IČ: 49245848, DIČ: CZ-49245848
Registrace v obchodním rejstříku Krajského soudu v Ostravě, oddíl C, vložka 30879

Redakce / Editorial Office

OCELOT s.r.o.
Redakce časopisu Hutnické listy
Pohraniční 693/31, 706 02 Ostrava-Vítkovice
Česká republika

Vedoucí redaktor / Chief Editor

Mgr. Šárka Seidlerová
tel.: +420 731 181 238
e-mail: seidlerovas@seznam.cz

Technický redaktor / Technical Editor

Ing. Jan Počta, CSc.
tel.: +420 608 421 162
e-mail: j.pocta@seznam.cz

Grafický redaktor / Graphic Editor

Ing. Dana Horáková
tel.: +420 777 047 666
e-mail: hutnicke.listy@seznam.cz

Tisk / Printing

Printo, spol. s r.o.
Gen. Sochora 1379
708 00 Ostrava-Poruba

Grafika titulní strany / Graphic design of the title page

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

Podkladová fotografie / Underlying photograph

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

Redakční rada – Předseda / Editorial Board – Chairperson

prof. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 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 Buľko, Ph.D.
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.
Ing. Josef Odehnal, Ph.D.
dr. hab. inž., prof. PŠ Mariola Saternus
prof. Ing. Josef Štetina, Ph.D.
Mgr. Daniel Urban
Dr. Ing. Ladislav VálekŽďAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
Výzkum Železáren Podbrezová, Slovenská republika
Montanuniversität Leoben, Rakousko
Politechnika Śląska, Katowice, Polsko
Technical University in Košice, Slovenská republika
VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika
Politechnika Częstochowska, Częstochowa, Polsko
TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Trinec, Česká republika
Vysoké učení technické v Brně, Brno, Česká republika
MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. Ostrava, Česká republika
ŽďAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika
Západočeská univerzita v Plzni, Česká republika
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 anotace jednotlivých článků (česká nebo slovenská a anglické verze). Po 12 měsících od vydání jsou zveřejněny na webových stránkách plné texty článků.

Časopis vychází 3× ročně. Cena jednotlivého čísla 200 Kč. K ceně se připočítává DPH. Roční předplatné (tištěného vydání) základní 1190 Kč, studentské 20 % sleva proti potvrzení o studiu. K předplatnému se připočítává poštovné vycházející z dodávek každému odběrateli. Po dohodě se zahraničními odběrateli je možno stanovit cenu v Euro (€) jako souhrnnou včetně poštovného. Předplatné se automaticky prodlužuje na další období, pokud je odběratel jeden měsíc před uplynutím abonentního období písemně nezruší prostřednictvím listinné nebo elektronické pošty. Objednávky na předplatné přijímá redakce nebo SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve 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., 2022

Časopis je zařazen do databáze recenzovaných časopisů Publons.

The publisher uses the so-called Delayed Open Access. For a period of 12 months from the publication of the current issue, the publisher publishes abstracts of individual articles (in Czech or Slovak and English versions) on the journal website. Full texts of articles are published on the website after 12 months of their publication.

The journal is published 3 times a year. Price of a single issue is CZK 200 without VAT. Net price of basic annual subscription (printed edition) is CZK 1190, student have 20% discount against the confirmation of study. Forwarding cost (postage) is added to the net price of subscription. Upon agreement with the foreign customers the subscription price, including postage, can be paid in Euro. Subscription is automatically renewed for the next year, unless the customer does not cancel it at the latest one month before the expiry of the subscription period in writing or by electronic mail. Orders are to be sent to the Editorial Office or SEND Předplatné, spol. s r.o., Ve Žlíbku 1800/77, hala A3, 193 00 Praha 9 -Horní Počernice, Czech Republic (+420 225 985 225, send@send.cz). Editorial Office provides also information on the conditions of publication of articles and on conditions of advertising.

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

Ethical code

The learned journal 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 are must follow its wording. (The full text of the Ethical code is published at our website www.hutnickelisty.cz)

© OCELOT s.r.o., 2022

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. Rudolf Pernis, CSc.; doc. Dr. Ing. Milan Škrobán, CSc.; Ing. Miroslav Polášek 4

Vývoj riešenia Kármánovej diferenciálnej rovnice

Development of a Solution of Karman's Differential Equation

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

Ing. Petr Klus, Ph.D.; Ing. Piotr Zubek; Ing. Roman Szturc 13

Provozní zkoušky přidavku páleného vápna do aglomerační směsi

Operational Trials of Burnt Lime Addition into the Sinter Mixture

Ing. Břetislav Pělucha; doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.; doc. Ing. Václav Kafka, CSc. 17

Možnosti snižování spotřeby Mg při mimopecním odsiřování surového železa

Possibilities of Reduction of Mg Consumption at Desulphurisation of Hot Metal in a Ladle

Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.; Ing. Ondřej Kotásek; Ing. Roman Noga 25

Studium možností snižování obsahu zinku v hutních kalech pomocí termického zpracování

Study of the Possibilities of Reducing Zinc Content in Metallurgical Sludge by Thermal Treatment

Informační články / Informative Articles

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

Jiří Dufek

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2021 a 2022 31

EUROPEAN GREEN DEAL 33

Energetika a průmysl jsou nejvýznamnějším zdrojem emisí 41

Ze života škol / Information on Activities of Universities

Nové vedení Fakulty materiálově-technologické v čele s děkankou prof. Ing. Kamilou Janovskou, Ph.D. 43

Z odborných společností / From professional companies

Ing. Ludvík Martínek, Ph.D.; Bc. Jarmila Malá; Mgr. František Urbánek 44

Česká slévárenská společnost, z.s. (vznik, vývoj, současnost, budoucnost)

část druhá: období od roku 1990

Výstavy, veletrhy, konference / Exhibitions, Fairs, Conferences

Konference OCELÁŘI 2022 - Teorie a praxe výroby a zpracování oceli 48

Nová literatura / New literature

Ivo Kraus, Jaroslav Fiala 50

Krystalografie (Recenze prof. Ing. Petr Louda, CSc.)

Společenská kronika / Social Chronicle

Opustil nás doc. Ing. Václav Kafka, CSc.	51
Odešel náš spolupracovník Oldřich Němec	52

Představujeme vám ...	53
------------------------------	----

Aktuality v hutnictví / Newsreel in Metallurgy	60
---	----

Obsah Hutnických listů 2021 / Content of the Metallurgical Journal 2021	64
--	----

Inzerce

- TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.
- Železářny-Annahütte, spol. s r.o.
- VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická

Průlom v boji s energetickou krizí – čeští vědci vyrábí chemikálie a průmyslové produkty ze slunce a minerálů

Namísto elektrických pecí slunce, místo zlata levný nanomateriál. Tak lze ve zkratce popsat nový postup, který dokáže urychlit a zlevnit výrobu řady léčiv, chemikálií, plastů či barviv.

Základem technologie, jež díky významnému snížení energetických nákladů znamená i pádnou odpověď na současnou energetickou krizi, je nanomateriál vyvinutý vědci z Českého institutu výzkumu a pokročilých technologií – CATRIN Univerzity Palackého v Olomouci a Centra energetických a environmentálních technologií (CEET) VŠB-TUO ve spolupráci se zahraničními kolegy. Svým složením nanomateriál odpovídá běžným, v přírodě se vyskytujícím minerálům, dokáže však nahradit dosud využívané drahé kovy. Zájem o něj už projevíli zahraniční investoři. Objev nedávno zveřejnil časopis Nature Nanotechnology.¹

„V současné geopolitické situaci a související energetické krizi nemá Evropská unie jinou možnost než hledat cesty, jak snižovat náklady na průmyslové výroby a maximálně využívat nové zelené technologie a materiály, které nás zbaví závislosti na energetických a surovinových zdrojích z Ruska,“ uvedl Radek Zbořil, vědecký ředitel CATRIN-RCPTM a vedoucí Materiálově-environmentální laboratoře v CEET.

Tým českých výzkumníků společně s kolegy z vědeckého institutu FORTH v řeckém Heraklionu a Leibnizova institutu pro katalýzu v německém Rostocku studoval procesy chemické výroby sloučenin anilinu, které se hojně využívají při výrobě celé řady léčiv, plastů, barviv či agrochemikálií. Podle údajů společnosti MarketWatch trh sloučenin anilinu činí přibližně 12 miliard dolarů ročně s očekávaným výrazným nárůstem. Jejich stávající průmyslová výroba je však energeticky a finančně velmi nákladná, neboť probíhá za vysokých teplot a tlaků a urychlení chemické reakce vyžaduje použití drahých kovů, jako je zlato, paladium nebo platina.

„Nová technologie pracuje s nanočásticemi chalkopyritu, běžného minerálu na bázi železa, mědi a síry, který se vyskytuje nejen v ČR, ale na řadě dalších lokalit v Evropě, Americe i Africe. Nanomateriál je levný, lze ho snadno vyrobit i v průmyslovém měřítku a urychluje chemické reakce lépe než zmiňované vzácné kovy, navíc jen s použitím slunečního záření,“ popsal výhody nové technologie Zbořil.

-z tiskové zprávy-

Recenzované vedecké články

Vývoj riešenia Kármánovej diferenciálnej rovnice

Development of a Solution of Karman's Differential Equation

doc. Ing. Rudolf Pernis, CSc.¹; doc. Dr. Ing. Milan Škrobán, CSc.²; Ing. Miroslav Polášek³

¹ Farnet s.r.o., Robotnícka 4334, 017 01 Považská Bystrica, Slovenská republika

² Inoval – Slovenská akadémia vied, Priemyselná 525, 965 01 Žiar nad Hronom, Slovenská republika

³ Fakulta Špeciálnej techniky, Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, 911 50 Trenčín, Slovenská republika

Výpočet stredného normálového napätia materiálu na valce na základe matematickej teórie procesu valcovania vykonali mnohí autori. Dvojmerná diferenciálna rovnica normálových napätí pri dvojzmernej deformácii je základom všetkých teórií valcovania, ktoré prvýkrát publikoval Kármán. Riešenia vždy vychádzajú z určitých zjednodušení diferenciálnej rovnice, ktorá popisuje geometriu tvaru kruhového valca. Zjednodušenie popisu geometrie pracovného valca je založené na aproximácii kruhového oblúka, ktorý je v styku s valcovaným materiálom. Kruhový oblúk valca je aproximovaný jednoduchšími krivkami. Postupne sú to krivky: lomená krivka, priamka a parabola. Posledné riešenie predstavuje použitie kruhového oblúka vo forme kružnice. Kármánovu diferenciálnu rovnicu v podstate tvoria dve diferenciálne rovnice, kde jedna popisuje oblasť zaostávania a druhá oblasť predbiehania. Normálové napätie na valce je počítané ako pomerné napätie, ktoré je normalizované hodnotou základného aktuálneho deformačného odporu. Funkcia, ktorá umožňuje výpočet pomerného bezrozmerného napätia je nazvaná ako sigma funkcia. Pre výpočet strednej hodnoty pomerného napätia je uvedený výpočet súradnice neutrálneho bodu. Z priebehu sigma funkcie v oblasti zaostávania a oblasti predbiehania je vypočítaná stredná hodnota sigma funkcie. Stredná hodnota sigma funkcie umožňuje výpočet celkovej valcovacej sily. Predložené výpočty predpokladajú konštantný základný deformačný odpor, čo je použiteľné pre valcovanie za tepla. Z porovnania jednotlivých spôsobov výpočtu normálového napätia z nameranými hodnotami normálového napätia vyplýva, že najnižšie odchýlky dáva riešenie Kármánovej diferenciálnej rovnice s aplikáciou rovnice kružnice.

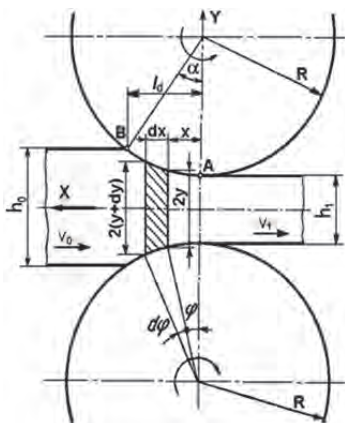
Kľúčové slová: pozdĺžne valcovanie; Kármánova diferenciálna rovnica; normálové napätie; relatívne napätie; aproximácia kruhového oblúka

The calculation of the mean normal stress that rolled material exerts on the rolls is based on a mathematical theory of the rolling process. Such calculations were carried out by many authors. The two-dimensional differential equation of normal stresses in two-dimensional deformation is the basis of all rolling theories first published by Karman. The solutions are always based on certain simplifications of a differential equation, which describes the geometry of the shape of a circular cylinder. The simplification of the description of work roll geometry is based on approximation of a circular arc that is in contact with rolled material. The circular arc of the cylinder is approximated by the simpler curves. Such curves are as follows: polyline, straight line and parabola. The newest approach consists in the use of a circular arc in a form of a circle. The Karman differential equation consists of two differential equations, one describing backward slip zone and another forward slip zone. The normal contact stress exerted on the cylinder is calculated as relative contact stress, which is normalized by the value of the flow stress. The function that allows the calculation of relative dimensionless stress is called the sigma function (average relative normal contact stress). The calculation of coordinates of neutral point is given for calculation of a mean value of relative normal contact stress. The mean value of the sigma function is calculated from the sigma function in the forward slip, as well as in the backward slip zone. The mean value of the sigma function allows the calculation of a total rolling force. The calculations assume constant flow stress. Comparison with the measured values shows that a solution of Karman's differential equation with the application of a circle equation gives the lowest deviations.

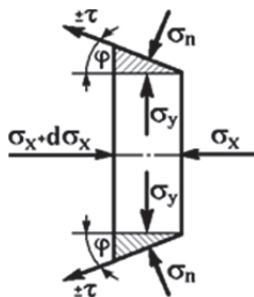
Key words: lengthwise rolling; Karman's differential equation; normal stress; relative stress; contact arc approximation

Rovnováhu síl vo valcovacej medzere pri pozdĺžnom valcovaní vyjadruje diferenciálna rovnica dvojdimenzionálnej deformácie, ktorú ako prvý predložil Kármán, ešte v roku 1925 [1]. Je to najcitovanejšia práca riešiteľov Kármánovej diferenciálnej rovnice. Pre teóriu valcovania a platnosť diferenciálnej rovnice vyslovil nasledovné podmienky:

- valcovaný materiál pravouhlého prierezu s pôvodnou hrúbkou h_0 je valcovaný medzi hladkými valcami s polermi R na hrúbku h_1 , kde na vývalok nepôsobí ťah a ani brzdný účinok,
- počas valcovania nenastáva šírenie,
- koeficient trenia f je na tlakovej ploche valcov konštantný,
- v smere pozdĺžnej osi vertikálne rezy vývalku zostávajú ploché, bez ohybu (paralelné),
- valce vo valcovacej medzere nie sú pružne deformované,
- valcovaný materiál je homogénny a nepodlieha pružnej deformácii,
- podmienkou plasticity je stálosť najväčšieho šmykové napätia $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_a$ (rozdiel hlavných napätí rovný základnému aktuálnemu deformačnému odporu),
- deformačný odpor vývalku vo valcovacej medzere vo smere pozdĺžnej osi je konštantný (nedochádza k spevňovaniu valcovaného materiálu),
- rozsah rýchlosti valcovania je konštantný.



Obr. 1 Charakteristika geometrie valcovacej medzery
Fig. 1 Determination of geometric relationships



Obr. 2 Napätia pôsobiace na element
Fig. 2 Tensions acting on the element

Geometria valcovacej medzery je uvedená na obr. 1. Vo všeobecnej polohe je nakreslený a zakótovaný aj diferenciálny element. Sily pôsobiace na tento element musia byť v rovnováhe (obr. 2). Na základe síl pôsobiacich na vybraný element je odvodená diferenciálna rovnica rozloženia tlakov na valce, pričom je zohľadnené pásmo predbiehania a zaostávania. Stav napätosti popisuje Kármánova diferenciálna rovnica, ktorá vznikla z rovnováhy síl do smeru osy X

$$\frac{d\sigma_x}{dx} - \frac{\sigma_n - \sigma_x}{y} \cdot \frac{dy}{dx} \pm \frac{\tau}{y} = 0, \quad (1)$$

kde horné znamienko (+) platí pre oblasť zaostávania (vstup materiálu do valcov má menšiu rýchlosť ako obvodová rýchlosť valcov). Dolné znamienko (–) je pre oblasť predbiehania (výstup materiálu z valcov má vyššiu rýchlosť ako obvodová rýchlosť valcov). Napätie σ_n predstavuje normálové napätie, tlak na valce a napätie τ určuje šmykové napätie medzi valcami a valcovaným materiálom. Premenné x a y predstavujú geometrické súradnice povrchu valca dotýkajúceho sa valcovaného materiálu. Neznáme horizontálne napätie σ_x určíme z rovnice plasticity. Je použitá Trescova podmienka plasticity

$$\sigma_y - \sigma_x = \sigma_a, \quad (2)$$

kde najväčšie hlavné napätie (vertikálne) σ_y je určené z rovnováhy síl do smeru osy Y

$$\sigma_y = \sigma_n \mp \tau \cdot \tan \varphi. \quad (2a)$$

Pretože je $\tau < \sigma_n$ a taktiež uhol φ je malý, možno približne písať $\sigma_y \approx \sigma_n$ a najmenšie hlavné napätie je horizontálne napätie σ_x . Napätie σ_a predstavuje základný aktuálny deformačný odpor valcovaného materiálu. Vo výpočtoch je uvažované premenlivé šmykové napätie. Šmykové napätie τ je priamoúmerné normálovému napätiu, tlaku valcovaného materiálu na valce σ_n

$$\tau = f \cdot \sigma_n. \quad (3)$$

Konštantu úmernosti f predstavuje koeficient trenia medzi valcami a valcovaným materiálom. Po dosadení rovníc (2) a (3) do diferenciálnej rovnice (1) sa v nej vyskytuje už len jedna premenná vyjadrujúca napätie a geometrické súradnice povrchu valca

$$\frac{d\sigma_n}{dx} - \frac{\sigma_a}{y} \cdot \frac{dy}{dx} \pm \frac{f}{y} \cdot \sigma_n = 0. \quad (4)$$

V tejto diferenciálnej rovnici vystupujú dve konštanty: základný aktuálny deformačný odpor σ_a a koeficient trenia f . Podľa vzoru riešenia, ktoré predložil Kármán, diferenciálnu rovnicu normalizoval podľa základného aktuálneho deformačného odporu σ_a , čo umožnilo zaviesť pomerné (relatívne) bezrozmerné normálové napätie $\bar{\sigma}_n$

$$\bar{\sigma}_n = \frac{\sigma_n}{\sigma_a}. \quad (5)$$

Označenie $\bar{\sigma}_n$ predstavuje $\bar{\sigma}$ –funkciu (čítaj: sigma funkcia). Rovnica (4) nadobudne upravený tvar

$$\frac{d\bar{\sigma}_n}{dx} - \frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{dx} \pm \frac{f}{y} \cdot \bar{\sigma}_n = 0. \quad (6)$$

Normalizácia napätia umožnila z diferenciálnej rovnice (6) vylúčiť materiálovú konštantu – základný deformačný odpor σ_a . Tým sa diferenciálna rovnica (6) stala nezávislou od valcovaného materiálu. Z matematického pohľadu táto diferenciálna rovnica predstavuje lineárnu diferenciálnu rovnicu prvého rádu s pravou stranou. Riešenie diferenciálnej rovnice (6) uvádza Smirjagin [2] v nasledovnej podobe

$$\bar{\sigma}_n = e^{\pm f \int \frac{dx}{y}} \cdot \left(C + \int \frac{1}{y} \cdot e^{\mp f \int \frac{dx}{y}} \cdot dy \right), \quad (7)$$

kde C predstavuje integračnú konštantu. V skutočnosti sú to dve konštanty, jedna pre oblasť zaostávania a druhá pre oblasť predbiehania. Súradnice x a y definujú geometriu valca, ktorý sa dotýka valcovaného materiálu. V diferenciálnej rovnici (6) funkčnú závislosť $y = f(x)$ predstavuje rovnica kružnice

$$x^2 + (y - y_0)^2 = R^2. \quad (8)$$

Konštanta y_0 udáva posunutie stredu valca mimo počiatku súradnicového systému $[X, Y]$. Hodnota posunutia y_0 je daná rovnicou

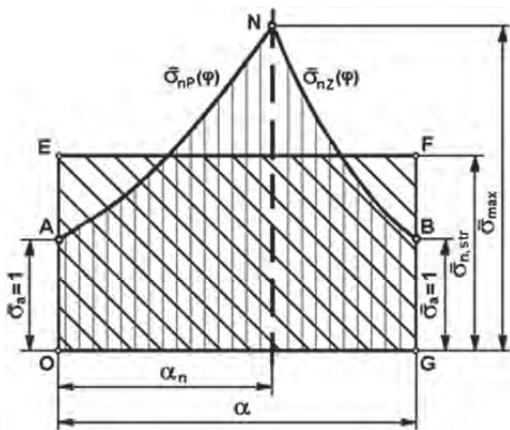
$$y_0 = \frac{h_1}{2} + R. \quad (9)$$

Po dosadení rovnice kružnice (8) do diferenciálnej rovnice (6) vznikne diferenciálna rovnica, kde napätie je funkciou jednej premennej (presnejšie súradnice x)

$$\frac{d\bar{\sigma}_n}{dx} - \frac{1}{\frac{h_1}{2} + R - \sqrt{R^2 - x^2}} \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{R^2 - x^2}} \pm f \cdot \bar{\sigma}_n \right) = 0. \quad (10)$$

Z diferenciálnej rovnice (10) po vyriešení dostaneme dve rovnice. Jedna rovnica $\bar{\sigma}_{n,Z} = \bar{\sigma}_{n,Z}(x)$ popisuje distribučnú krivku rozdelenia normálového napätia (valcovacieho tlaku) v pásme zaostávania. Druhá rovnica $\bar{\sigma}_{n,P} = \bar{\sigma}_{n,P}(x)$ popisuje distribučnú krivku rozdelenia normálového napätia (valcovacieho tlaku) v pásme predbiehania. Priesečník oboch kriviek udáva neutrálny bod N , ktorý vypočítame z rovnice (súradnica x_n)

$$\bar{\sigma}_{n,Z}(x_n) = \bar{\sigma}_{n,P}(x_n). \quad (11)$$



Obr. 3 Stredná hodnota relatívneho normálového napätia $\bar{\sigma}_{n,av}$
Fig. 3 The average relative normal contact stress $\bar{\sigma}_{n,av}$

Priebežník kriviek je charakterizovaný neutrálnym uhlom α_n (obr. 3). V neutrálnom bode rýchlosť horizontálneho pohybu valcovaného materiálu je rovná obvodovej rýchlosti otáčajúcich sa valcov. Výpočet valcovacej sily F_v určíme prostredníctvom strednej hodnoty relatívneho normálového napätia $\bar{\sigma}_{n,str}$.

Priebeh pomerného normálového tlakového napätia na valce v pásme deformácie je uvedený na obr. 3, krivka ANB. Stanovenie valcovacej sily si však vyžaduje strednú hodnotu pomerného normálového (tlakového) napätia $\bar{\sigma}_{n,str}$ pre celý oblúk záberu α – napäťová plocha obdĺžnika OEFGO (obr. 3). Výpočet strednej hodnoty vychádza z rovnosti napäťových plôch OANBGO a plochy obdĺžnika OEFGO. Vzhľadom na normalizačnú rovnicu (5), ten istý princíp platí tiež pre pomerné normálové (tlakové) napätie, teda $\bar{\sigma}_n$ – funkciu. Výpočet uskutočníme v polárnych súradniciach (σ – φ)

$$\bar{\sigma}_{n,str} = \frac{1}{\alpha - 0} \cdot \int_0^\alpha \bar{\sigma}_n(\varphi) \cdot d\varphi. \quad (12)$$

Konkrétny výpočet strednej hodnoty normálového napätia $\bar{\sigma}_{n,str}$ musí byť počítaný samostatne pre oblasť zaostávania a tiež pre oblasť predbiehania

$$\bar{\sigma}_{n,str} = \frac{1}{\alpha} \cdot \left[\int_0^{\alpha_n} \bar{\sigma}_{n,P}(\varphi) \cdot d\varphi + \int_{\alpha_n}^\alpha \bar{\sigma}_{n,Z}(\varphi) \cdot d\varphi \right]. \quad (13)$$

Výslednú silu pôsobiacu počas valcovania na valec udáva rovnica

$$F_v = \bar{\sigma}_{n,str} \cdot \sigma_a \cdot l_d \cdot b_s, \quad (14)$$

kde b_s predstavuje strednú šírku vývalku a l_d predstavuje dĺžku horizontálnej projekcie oblúka záberu,

$$l_d = \sqrt{R(h_0 - h_1)}. \quad (15)$$

Podobným spôsobom je možné určiť krútiaci moment potrebný na prekonanie celkového deformačného odporu valcovaného materiálu.

1. Riešenie diferenciálnej rovnice (6)

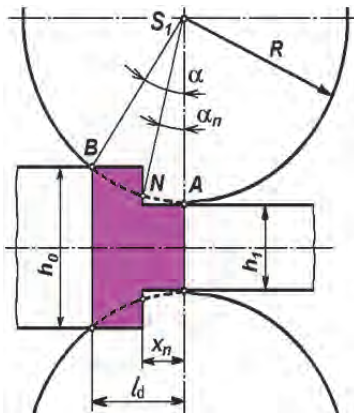
Diferenciálna rovnica (6) v tejto podobe nemá známe analytické riešenie. Preto mnoho riešiteľov hľadalo riešenie prostredníctvom aproximácie kruhového oblúka inými krivkami, ktoré by umožnilo zjednodušené analytické riešenie diferenciálnej rovnice (6). Najjednoduchšia náhrada kruhového oblúka valca bola lomená čiara (polyline) Korolev [3], Brzobohatý [4]. V ďalšom kroku spresňovania riešenia bola použitá priamka Celikov [5]. Ďalšie riešenia diferenciálnej rovnice (6) použili parabolu Blad a Ford [6], Sims [7], Tselikov [8], Pernis [9, 10]. Najnovšie riešenie diferenciálnej rovnice (6), resp. (10) použilo presnú definíciu kruhového oblúka valca, rovnicu kružnice Pernis a Kvackaj [11].

1.1 Riešenie podľa Koroleva

Na začiatok je tu uvedená poznámka k autorstvu riešenia Korolevova [3]. Riešenie náhrady kruhového oblúka BA lomenou čiarou uvádza už Brzobohatý [4], ale bez citácie

pôvodcu riešenia. Ruskí autori Smirjagin a kol. [2] uvádzajú tento spôsob výpočtu ako “metóda pečovania”, bez priradenia autorstva Korolevovi. Korolev toto riešenie v [3] vydáva za vlastné riešenie diferenciálnej rovnice (6). Riešenie spočíva v tom, že hladký valec (kruhový oblúk) je nahradený za paralelne stupňovité zápustky (ako pri kovaní), ako to ukazuje obr. 4. Oblúk BA je nahradený lomenou čiarou. Deliacim bodom je rozhranie oblastí zaostávania a predbiehania. Tento bod N je označený ako neutrálny bod. Poloha neutrálneho bodu je určená súradnicou x_n alebo neutrálnym uhlom α_n

$$x_n = l_d \cdot \frac{h_1}{h_0 + h_1}, \quad (16)$$



Obr. 4 Kontaktný oblúk BA podľa Koroleva (stupňová aproximácia)
Fig. 4 The contact arc BA according to Korolev (stepped approximation)

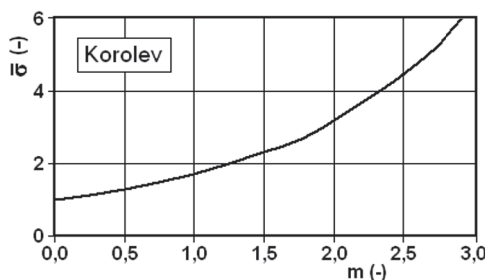
V úseku α až α_n je súradnica y aproximovaná hodnotou $y = h_0/2$. Pre úsek α_n až 0 je súradnica y aproximovaná hodnotou $y = h_1/2$. Na základe tohoto zjednodušeného popisu geometrie valcov, pre stredný pomerný valcovací tlak bola odvodená rovnica, Korolevova $\bar{\sigma}$ – funkcia

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{Kor} &= \bar{\sigma}_{n, str} \\ \bar{\sigma}_{Kor} &= \frac{e^{m_{Kor}-1}}{m_{Kor}}, \end{aligned} \quad (17)$$

kde konštanta m_{Kor} je daná výrazom

$$m_{Kor} = f \cdot \frac{l_d}{h_s}. \quad (18)$$

Označenie h_s udáva strednú hrúbku vývalku. Korolevova rovnica (17) predstavuje najjednoduchšiu rovnicu pre výpočet hodnoty $\bar{\sigma}$ – funkcie. Grafická vizualizácia Korolevovej rovnice (17) je uvedená na obr. 5.



Obr. 5 Závislosť Korolevovej $\bar{\sigma}$ – funkcie na konštante m
Fig. 5 Dependence of Korolev's $\bar{\sigma}$ – function on the constant m

1.2 Riešenie podľa Celikova

Riešenie, ktoré predložil Celikov [5], vychádza opäť z diferenciálnej rovnice (6). Toto riešenie nahrádza kruhový oblúk BA priamkou, rovnica (19), ak to uvádza obr. 6.

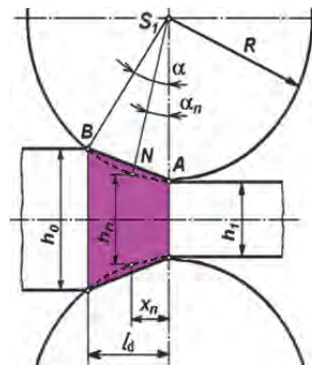
$$y = \frac{h_1}{2} + \frac{h_0 - h_1}{2l_d} \cdot x \quad (19)$$

Polohu neutrálneho bodu určuje neutrálnou hrúbkou h_n z rovnice

$$h_n = h_1 \cdot \left[\frac{1}{m+1} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + (m^2 - 1) \cdot \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^m} \right) \right]^{\frac{1}{m}}, \quad (20)$$

kde konštanta $m = m_{Cel}$ a je daná výrazom

$$m_{Cel} = 2f \cdot \frac{l_d}{h_0 - h_1}. \quad (21)$$



Obr. 6 Kontaktný oblúk BA podľa Celikova (přímková aproximácia)
Fig. 6 The contact arc BA according to Tselikov (straight line approximation)

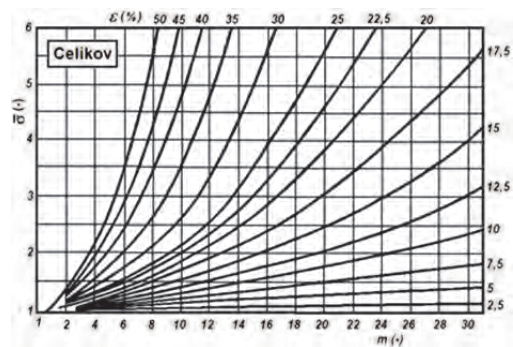
Na základe náhrady kruhového oblúka priamkou BA (obr. 6). Pre stredný valcovací tlak bola odvodená rovnica, Celikovova sigma-funkcia $\bar{\sigma}_{Cel} = \bar{\sigma}_{n, str}$

$$\bar{\sigma}_{Cel} = \frac{2(1-\varepsilon)}{\varepsilon(m_{Cel}-1)} \cdot \frac{h_n}{h_1} \cdot \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{m_{Cel}} - 1 \right], \quad (22)$$

kde premenná ε udáva pomernú deformáciu pri valcovaní

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}. \quad (23)$$

Celikovova rovnica (22) pre hodnotu $m_{Cel} = 1$, nespĺňa podmienku spojitosti. Grafická vizualizácia Celikovovej rovnice (22) je uvedená na obr. 7.

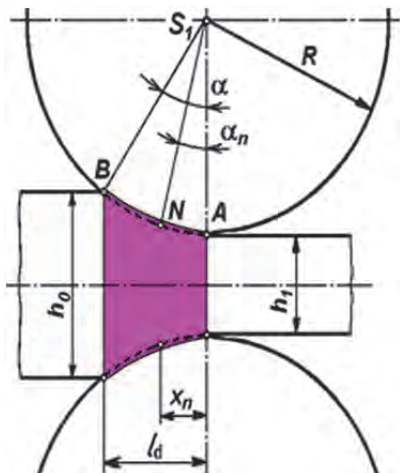


Obr. 7 Závislosť Celikovovej $\bar{\sigma}$ – funkcie na konštante m
Fig. 7 Dependence of Tselikov's $\bar{\sigma}$ – function on the constant m

1.3 Riešenie podľa Blanda a Forda

Toto riešenie Bland a Ford [6] publikovali už v roku 1948. Analytické riešenie výpočtu hodnoty $\bar{\sigma}$ – funkcie, je uskutočnené za predpokladu, kde kruhový oblúk BA je aproximovaný parabolou v polárnych súradniciach

$$y = \frac{h_1}{2} + R \cdot \frac{\varphi^2}{2}. \quad (24)$$



Obr. 8 Kontaktný oblúk BA podľa Blanda a Forda (parabolická aproximácia)

Fig. 8 The contact arc BA according to Bland and Ford (parabola approximation)

Riešenie využíva doterajšie poznanie, že oblasť BN predstavuje pásmo zaostávania a oblasť NA je oblasť predbiehania (obr. 8). Neutrálny uhol α_n definuje rovnica

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{h_1}{R}} \operatorname{tg} \left[\frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{R}{h_1}} \cdot \alpha \right) - \frac{1}{4f} \sqrt{\frac{h_1}{R}} \cdot \ln \frac{h_0}{h_1} \right]. \quad (25)$$

Riešitelia zavádzajú novú premennú t , ktorá je definovaná ako pomer uhlovej súradnice φ a koeficientu trenia f

$$t = \frac{\varphi}{f}. \quad (26)$$

Odpovedajúce hodnoty uhla záberu α a neutrálneho uhla α_n novej premennej t sú určené vzťahom

$$t_\alpha = \frac{1}{m} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}}, \quad (27)$$

$$t_n = \frac{1}{m} \operatorname{tg} \left[\frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}} \right) + \frac{1}{4m} \ln(1-\varepsilon) \right], \quad (28)$$

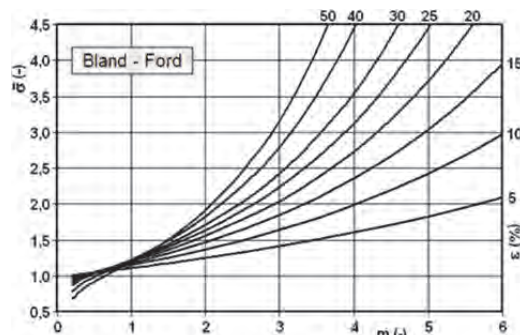
Bland a Ford predstavili nasledovnú rovnicu pre výpočet hodnôt $\bar{\sigma}$ – funkcie $\bar{\sigma}_{Bla-Ford} = \bar{\sigma}_{n,str}$

$$\bar{\sigma}_{Bla-Ford} = \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}} m \left[(1-\varepsilon) e^{2m \cdot \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}} \right)} \cdot \int_{t_n}^{t_\alpha} (1 + m^2 t^2) e^{-2m \cdot \operatorname{arctg}(mt)} \cdot dt + \int_0^{t_n} (1 + m^2 t^2) e^{2m \cdot \operatorname{arctg}(mt)} \cdot dt \right], \quad (29)$$

kde Bland–Fordova konštanta $m = m_{Bla-Ford}$ má hodnotu

$$m_{Bla-Ford} = f \cdot \sqrt{\frac{R}{h_1}}. \quad (30)$$

Konečná rovnica (29) pre výpočet hodnôt Bland–Fordovej $\bar{\sigma}$ – funkcie je komplikovaná. Integrovanie tejto rovnice nemá známe riešenie a výsledok je možné získať len numerickou integráciou. Integračné hranice t_α a t_n udávajú rovnice (27) a (28). Pre numerickú integráciu je možné použiť Simpsonove pravidlo, ak ho uvádza Rektorys a kol. [12]. Angot [13] pre numerickú integráciu uvádza menej používaný Weddleov vzorec. Weddleova numerická integrácia k požadovanej presnosti konverguje 4krát rýchlejšie ako Simpsonova. Angot [13] uvádza: *Weddleov vzorec je jeden z najlepších vzorcov pre numerickú integráciu vzhľadom k jeho jednoduchosti.* Grafická vizualizácia Bland-Fordovej rovnice (29) je uvedená na obr. 9.



Obr. 9 Závislosť Bland-Fordovej sigma funkcie na konštante m

Fig. 9 Dependence of Bland-Ford sigma functions on the constant m

1.4 Riešenie podľa Simsa

Toto riešenie Sims [7] publikoval v roku 1954. Analytické riešenie výpočtu hodnoty $\bar{\sigma}$ – funkcie, je uskutočnené za predpokladu, že kruhový oblúk BA je aproximovaný parabolou, ako to vyjadruje rovnica (24). Táto aproximácia kruhového oblúka je zhodná s riešením Bland-Forda podľa grafickej interpretácie v obr. 8. V riešení diferenciálnej rovnice (6) Sims predpokladá, že šmykové napätie τ medzi vývalkom a valcami nie je väčšie ako polovičná hodnota základného aktuálneho deformačného odporu σ_a

$$\tau = f \cdot \sigma_n \leq \frac{\sigma_a}{2}. \quad (31)$$

To znamená, že šmykové napätie τ (súčin $f \cdot \sigma_n$) v rovnici (4) je nahradený konštantnou hodnotou napätia $\sigma_a/2$. Podľa tvrdenia Simsa [7] rovnicu plasticity prebral od Orowana [14], ktorá má tvar

$$\sigma_n - \sigma_x = \frac{\pi}{4} \sigma_a. \quad (32)$$

Substitúcia pravej strany rovnice (31) spôsobí v diferenciálnej rovnici (6) to, že z nej vypadne koeficient trenia. Distribučné rovnice popisuje rozdelenie pomerného normálového napätia pre oblasť zaostávania $\bar{\sigma}_{nz}$ a pre oblasť predbiehania $\bar{\sigma}_{np}$

$$\bar{\sigma}_{nZ} = \frac{\pi}{4} \ln \frac{h}{h_0} + \frac{\pi}{4} + \sqrt{\frac{R}{h_1}} \arctg \left(\sqrt{\frac{R}{h_1}} \cdot \alpha \right) - \sqrt{\frac{R}{h_1}} \arctg \left(\sqrt{\frac{R}{h_1}} \cdot \varphi \right) \quad (33)$$

$$\bar{\sigma}_{nP} = \frac{\pi}{4} \ln \frac{h}{h_1} + \frac{\pi}{4} + \sqrt{\frac{R}{h_1}} \arctg \left(\sqrt{\frac{R}{h_1}} \cdot \varphi \right) \quad (34)$$

Pomer neutrálnej hrúbky k výstupnej hrúbke h_n/h_1 určil z rovnice

$$\frac{h_n}{h_1} = 1 + tg \left[\frac{\pi}{8} \sqrt{\frac{h_1}{R'}} \cdot \ln(1 - \varepsilon) + \frac{1}{2} \arctg \left(\sqrt{\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}} \right) \right]^2 \quad (35)$$

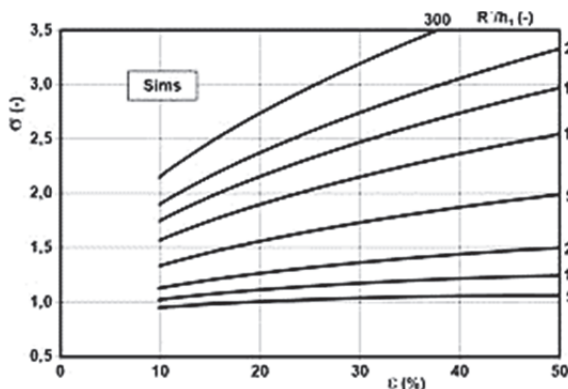
Sims predstavil nasledovnú rovnicu pre výpočet hodnôt $\bar{\sigma}$ – funkcie $\bar{\sigma}_{Sim} = \bar{\sigma}_{n, str}$

$$\bar{\sigma}_{Sim} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}} \arctg \left(\sqrt{\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}} \right) - \frac{\pi}{4} - \sqrt{\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}} \cdot \sqrt{\frac{R'}{h_1}} \cdot \ln \frac{h_n}{h_1} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}} \cdot \sqrt{\frac{R'}{h_1}} \cdot \ln \frac{1}{1 - \varepsilon} \quad (36)$$

Za polomer valcov R' v rovniciach (33) až (36) dosadzuje polomer splošteného valca, ktorý počíta z Hitchcockovej rovnice

$$R' = R \left[1 + \frac{16(2 - \nu^2)}{\pi E} \cdot \frac{F_v}{b_s(h_0 - h_1)} \right], \quad (37)$$

kde E predstavuje modul pružnosti v ťahu materiálu valcov a ν je Poissonove číslo materiálu valcov. Grafická vizualizácia Simsovej rovnice (36) je uvedená na obr. 10. Sims si bol vedomí nedostatku jeho riešenia Kármánovej diferenciálnej rovnice. Normálové tlakové napätia pri pomernej deformácii pod 10 % neodpovedali teoretickým poznaniam a meraniam z praxe. Preto aj krivky v grafe na obr. 10 vykreslil Sims [7] len pre $\varepsilon \geq 10$ %.



Obr. 10 Závislosť Simsovej $\bar{\sigma}$ – funkcie na deformácii ε , deformácia na jeden prechod

Fig. 10 Dependence of Sims $\bar{\sigma}$ – function on deformation ε , reduction per one pass

1.5 Riešenie podľa Celikova a Pernisa

Základnú filozofiu tohto riešenia diferenciálnej rovnice (6) položil Celikov [5]. Kruhový oblúk dotyku valca

s valcovaným materiálom nahradil parabolou. Podobne ako Bland a Ford rovnicu paraboly vyjadril v tvare

$$y = \frac{h_1}{2} + \frac{h_0 - h_1}{2l_d^2} \cdot x^2. \quad (38)$$

Pre distribúciu pomerného normálového napätia vo valcovacej medzere stanovil samostatné rovnice. Jedna popisuje distribúciu pomerného napätia pre oblasť zaostávania $\bar{\sigma}_{nZ}$ a druhá pre oblasť predbiehania $\bar{\sigma}_{nP}$

$$\bar{\sigma}_{nZ} = \left[1 - \left(\frac{u_0}{m} - \frac{1}{m^2} \right) \right] e^{m(u_0 - u)} + 2 \left(\frac{u}{m} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (39)$$

$$\bar{\sigma}_{nP} = \left(1 + \frac{1}{m^2} \right) e^{mu} - 2 \left(\frac{u}{m} + \frac{1}{m^2} \right). \quad (40)$$

Konštanty $m = m_{Cel-Per}$ a u_0 určujú vzťahy

$$m_{Cel-Per} = \frac{2f \cdot l_d}{\sqrt{h_1} \cdot (h_0 - h_1)}, \quad (41)$$

$$u_0 = \arctg \left(\sqrt{\frac{R}{h_1}} \cdot tg \alpha \right). \quad (42)$$

Týmto popisom riešenia diferenciálnej rovnice (6) Celikov skončil. Nestanovil funkciu pre výpočet neutrálneho uhla a ani rovnicu pre výpočet $\bar{\sigma}$ – funkcie. V ďalšom riešení pokračoval Pernis [10]. Odvodil rovnicu pre výpočet neutrálneho uhla a stanovil rovnicu pre výpočet hodnôt $\bar{\sigma}$ – funkcie. Poloha neutrálneho bodu je definovaná uhlovou súradnicou u_n (hodnota v radiánoch). Samotná hodnota u_n je vyjadrená explicitnou rovnicou

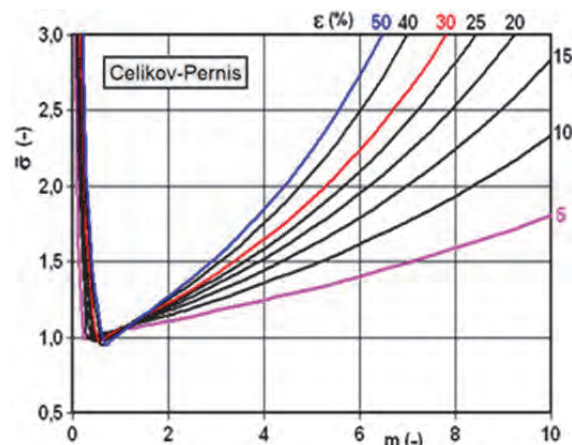
$$(0,5m^2 - mu_0 + 1)e^{m(u_0 - u_n)} - (0,5m^2 + 1)e^{mu_n} + 2mu_n = 0. \quad (43)$$

Z hodnoty u_n je neutrálny uhol α_n vypočítaný z rovnice

$$\alpha_n = \arcsin \left(\sqrt{\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}} \cdot tg u_n \cdot \sin \alpha \right). \quad (44)$$

Z distribučných rovníc (39) a (40) Pernis [10] stanovil rovnicu pre výpočet hodnôt $\bar{\sigma}$ – funkcie $\bar{\sigma}_{Cel-Per} = \bar{\sigma}_{n, str}$

$$\bar{\sigma}_{Cel-Per} = \frac{2}{m_{Cel-Per} \cdot u_0} \left[\left(1 + \frac{2}{m_{Cel-Per}^2} \right) (e^{m_{Cel-Per} \cdot u_n} - 1) + \frac{u_0^2}{2} - u_n \left(u_n + \frac{2}{m_{Cel-Per}} \right) \right]. \quad (45)$$



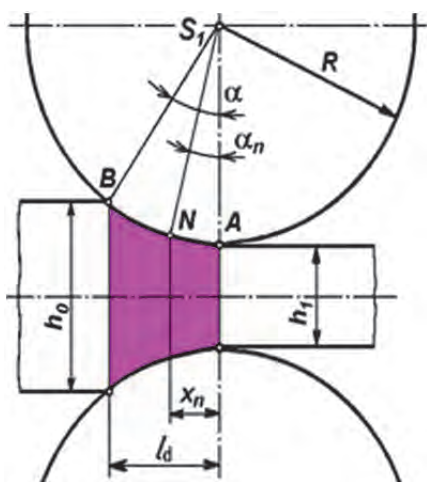
Obr. 11 Závislosť Celikov-Pernisej $\bar{\sigma}$ – funkcie na konštante m

Fig. 11 Dependence of Tselikov and Pernis $\bar{\sigma}$ – function on the constant m

Grafická vizualizácia Celikov-Pernisovej rovnice (45) je uvedená na obr. 11. Pernis [9] uvádza, že $\bar{\sigma}$ – funkcia (45) vierohodne popisuje priebeh valcovacieho tlaku v závislosti na pomere l_d/h_s , pričom v okolí bodu $l_d/h_s \approx 1$ má lokálne minimum. Rovnako minimum valcovacieho tlaku v závislosti na konštante m potvrdzuje grafická vizualizácia rovnice (45). Praktické merania valcovacieho tlaku potvrdzujú, že takéto minimum existuje [15].

1.6 Riešenie podľa Pernisa a Kvačkaja

Toto riešenie predstavuje analyticko-numerické riešenie diferenciálnej rovnice (10), kde pre popis kruhového oblúka je použitá rovnica kružnice (8), ako vidieť v obr. 12.



Obr. 12 Kruhový kontaktný oblúk BA podľa Pernisa a Kvačkaja
Fig. 12 The circle contact arc BA according to Pernis and Kvačkaj

Podľa matematického triedenia diferenciálnych rovníc predstavuje diferenciálna rovnica (10) lineárnu diferenciálnu rovnicu prvého rádu s pravou stranou. Pernis a Kvačkaj toto riešenie podrobne uviedli v [11]. Diferenciálna rovnica (10) sa zjednoduší, keď pravouhlé súradnice nahradíme polárnymi súradnicami. Distribúciu pomerného normálového napätia vo valcovacej medzere udávajú dve samostatné rovnice. Jedna popisuje distribúciu pomerného tlakového napätia pre oblasť zaostávania $\bar{\sigma}_{nZ}$ a druhá pre oblasť predbiehania $\bar{\sigma}_{nP}$

$$\bar{\sigma}_{nZ} = e^{-f \cdot F_1(\varphi)} \cdot \left(e^{f \cdot F_1(\alpha)} + \int_{\varphi}^{\alpha} e^{f \cdot F_1(\varphi)} \cdot F_2(\varphi) \cdot d\varphi \right) \quad (46)$$

$$\bar{\sigma}_{nP} = e^{f \cdot F_1(\varphi)} \cdot \left(1 + \int_0^{\varphi} e^{-f \cdot F_1(\varphi)} \cdot F_2(\varphi) \cdot d\varphi \right), \quad (47)$$

kde funkcie $F_1(\varphi)$ a $F_2(\varphi)$ vznikli pri analytickom riešení diferenciálnej rovnice (10). Tieto funkcie sú nasledovne definované vzťahmi

$$F_1(\varphi) = \frac{2m}{\sqrt{m^2-1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{m+1}{m-1}} \cdot \tg \frac{\varphi}{2} \right) - \varphi, \quad (48)$$

$$F_2(\varphi) = \frac{\sin \varphi}{m - \cos \varphi}, \quad (49)$$

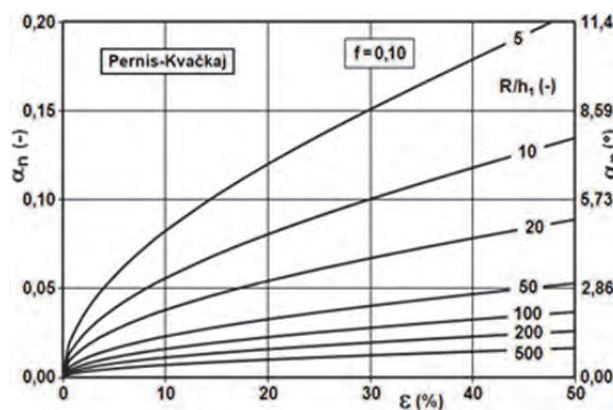
kde konštanta m je určená

$$m = m_{per-Kva} = 1 + \frac{h_1}{2R}. \quad (50)$$

Je pozoruhodné, že v tomto riešení konštanta $m_{per-Kva}$ neobsahuje koeficient trenia f , ako predošlé riešenia, okrem riešenia Simsa, kde nevystupuje koeficient trenia. Určenie polohy neutrálneho bodu N, daného neutrálnou súradnicou α_n , vychádza z rovnosti pomerného normálového napätia v pásme zaostávania $\bar{\sigma}_{nZ}$ definovaného rovnicou (46) a v pásme predbiehania $\bar{\sigma}_{nP}$ definovaného rovnicou (47), čo možno matematický zapísať

$$\bar{\sigma}_{nZ}(\alpha_n) = \bar{\sigma}_{nP}(\alpha_n). \quad (51)$$

Rovnica (51) nemá analytické riešenie. Preto bolo nutné využiť numerické riešenie hľadania koreňa α_n tejto rovnice. Neutrálny uhol je funkciou troch premenných: deformácia, koeficient trenia a pomer R/h_1 (charakteristika geometrie valcovacej medzery).



Obr. 13 Závislosť neutrálneho uhla od relatívnej deformácie a pomeru R/h_1 , deformácia na jeden prechod

Fig. 13 The dependence of angle of neutral point on relative deformation and ratio R/h_1 , reduction per one pass

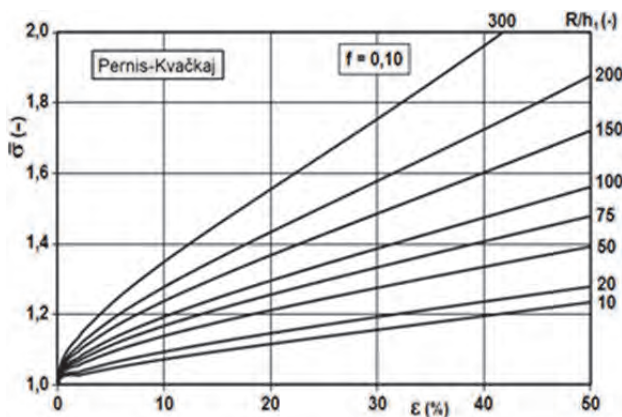
Na obr. 13 je uvedená vizualizácia rovnice (51) pre koeficient trenia $f = 0,10$. Na ľavej vertikálnej stupnici je uvedený neutrálny uhol v radiánoch a na pravej vertikálnej stupnici je uvedený neutrálny uhol v stupňoch. Stanovenie jednoduchého vzorca na výpočet neutrálneho uhla, uvádzajú Pernis a Kasala [16]. Proces valcovania charakterizujú pojmom ideálne valcovanie. Za ideálne podmienky valcovania je považovaný stav, keď medzi valcami a valcovaným materiálom neexistuje trenie. V matematickej podobe sú to podmienky pri ktorých je koeficient trenia $f = 0$. Túto podmienku autori využili pre riešenie diferenciálnej rovnice (6) a získali nasledovný vzťah

$$\alpha_n = \arccos \left(1 - \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \cdot \frac{h_1}{2R} \right). \quad (52)$$

Na základe rovnice (13) je z rovníc (46) a (47) určená rovnica $\bar{\sigma}$ – funkcie $\bar{\sigma}_{per-Kva} = \bar{\sigma}_{nstr}$

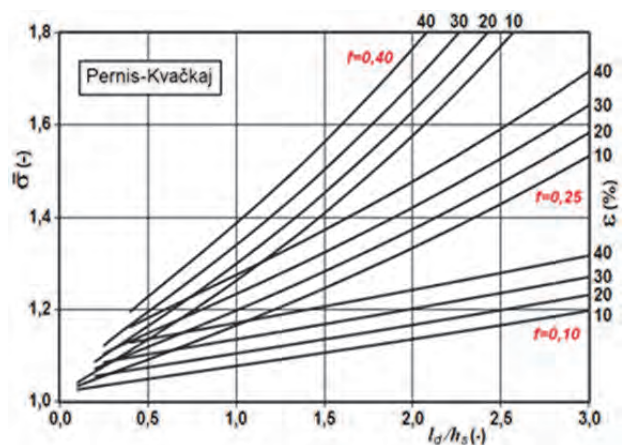
$$\bar{\sigma}_{per-Kva} = \frac{1}{\alpha} \left[\int_0^{\alpha_n} \left(e^{f \cdot F_1(\varphi)} \left(1 + \int_0^{\varphi} e^{-f \cdot F_1(\varphi)} \cdot F_2(\varphi) \cdot d\varphi \right) \right) d\varphi + \int_{\alpha_n}^{\alpha} \left(e^{-f \cdot F_1(\varphi)} \left(e^{f \cdot F_1(\alpha)} + \int_{\varphi}^{\alpha} e^{f \cdot F_1(\varphi)} \cdot F_2(\varphi) \cdot d\varphi \right) \right) d\varphi \right]. \quad (53)$$

Nakoľko analytické riešenie rovnice (53) sa nepodarilo nájsť, je potrebné využiť numerickú integráciu. Tu je vhodné použiť Weddleov vzorec, lebo šetrí výpočtový čas. Ako vhodný výpočtový a grafický systém sa ukázal tabuľkový procesor EXCEL s využitím jeho integrovaného programovacieho jazyka VisualBasic. Závislosť Pernis-Kvačkajovej $\bar{\sigma}$ – funkcie na deformácii ε , pričom parametrom je pomer R/h_1 , je zobrazené na obr. 14. Celý graf platí len pre jednu hodnotu koeficienta trenia $f = 0,10$. Komplexnejšia grafická vizualizácia rovnice (53) je uvedená na obr. 15, kde je možné pozorovať, aký vplyv má na valcovací tlak pomer l_d/h_s , pomerná deformácia ε a koeficient trenia f .



Obr. 14 Závislosť Pernis-Kvačkajovej $\bar{\sigma}$ – funkcie na deformácii ε a pomere R/h_1 , deformácia na jeden prechod

Fig. 14 Dependence of the Pernis-Kvačkaj $\bar{\sigma}$ – function on the deformation ε and the R/h_1 ratio, reduction per one pass



Obr. 15 Závislosť $\bar{\sigma}$ – funkcie na pomere l_d/h_s

Fig. 15 Dependence of $\bar{\sigma}$ – function on l_d/h_{av} ratio

2. Diskusia výsledkov

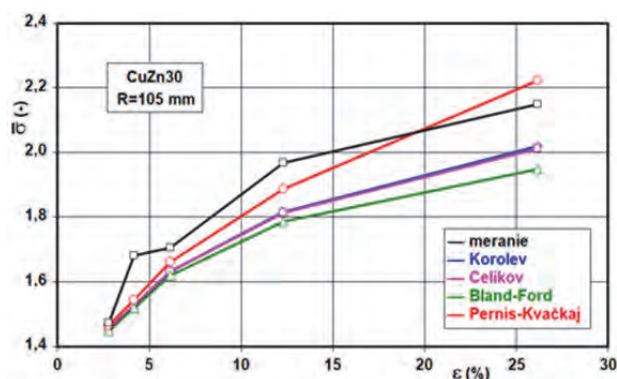
Samotný Kármán stanovil predpoklady, za ktorých jeho diferenciálna rovnica platí pre popis stavu napätosti vo valcovacej medzere. Tvar kompletnej diferenciálnej rovnice predstavuje diferenciálna rovnica (10).

Táto diferenciálna rovnica nemá analytické riešenie. Preto riešitelia hľadali možnosti riešenia za určitých predpokladov a matematických zjednodušení. Jedným takýmto zjednodušením je otázka aproximácie kruhového oblúka, dotyku valca s valcovaným materiálom. To je, ako nahradiť rovnicu kružnice inou, jednoduchšou krivkou. Boli to postupne krivky: lomená čiara Korolev [3], priamka Celikov [5], parabola Tselikov [8], Bland a Ford [6], Pernis [9, 10] a kružnica (bez aproximácie) Pernis a Kvačkaj [11]. Doteraz spomenutí autori predpokladali premenlivé trecie napätie $\tau = f \cdot \sigma_n$. Sims [7] uskutočnil predpoklad, že trecie napätie je menšie ako jedna polovica základného aktuálneho deformačného odporu. Tento predpoklad zaviedol do diferenciálnej rovnice, čo spôsobilo vylúčenie koeficientu trenia z výpočtu normálového napätia. Gubkin [17] predložil riešenie, ktoré predpokladá konštantné trecie napätie $\tau = f \cdot \sigma_n$. V riešení diferenciálnej rovnice vystupuje konštanta m , ktorá je úmerná koeficientu trenia a geometrii valcovacej medzery $m \approx f \cdot l_d/h_s$.

Výnimku tvorí riešenie, ktoré predložil Pernis a Kvačkaj [11], kde konštanta m neobsahuje koeficient trenia. Toto riešenie diferenciálnej rovnice (10) je zabezpečené v dvoch krokoch. V prvom kroku je uskutočnené analytické riešenie a v druhom kroku je riešenie ukončené numerickou integráciou. Preto táto metóda riešenia bola nazvaná ako *analyticko-numerické riešenie* Kármánovej diferenciálnej rovnice. Ako vhodným riešením sa ukázal prechod z pravouhlých súradníc $[\sigma-x]$ do polárnych súradníc $[\sigma-\varphi]$. Prvá funkcia F_1 je exponenciálneho typu $F_1 = e^{F(f,\varphi)}$, ktorá popisuje vplyv šmykového napätia medzi valcami a valcovaným materiálom. Druhá funkcia F_2 je trigonometrického typu $F_2 = F_2(m,\varphi)$, ktorá zabezpečuje popis geometrie valcovacej medzery a je nezávislá od koeficientu trenia.

Dobrá prehľad riešení Kármánovej diferenciálnej rovnice prináša Hensel a Spittel [18]. Existujú ďalšie riešenia Kármánovej diferenciálnej rovnice, ktoré sú drobno modifikované oproti predloženým riešeniam: Geleji [19], Počta [20], Pešina [21], Hajduk a Konvičný [22], Kollerová a i. [23], Avitzur [24] a Mielnik [25]. Všetky predložené riešenia Kármánovej diferenciálnej rovnice (okrem riešenia Simsa) by sa dali zopakovať s konštantným trecím napätím $\tau = f \cdot \sigma_n$.

Výpočet valcovacej sily si vyžaduje ešte znalosť základného aktuálneho deformačného odporu, ktorý sa zisťuje prostredníctvom torznej skúšky [26] alebo kompresnej skúšky [27] a [28]. Na obr. 16 je uvedené grafické zobrazenie vypočítaných hodnôt $\bar{\sigma}$ – funkcie a porovnané s nameranými hodnotami pre žihanú mosadz CuZn30. Najbližšie k nameraným hodnotám sa nachádza krivka vypočítaná z rovnice (53). Ako vhodný prostriedok na numerické riešenie určitého integrálu sa potvrdil programovací jazyk VisualBasic, ktorý je integrálnou súčasťou tabuľkového procesora EXCEL.



Obr. 16 Namerané a vypočítané hodnoty $\bar{\sigma}$ – funkcie, redukcia na jeden prechod

Fig. 16 Measured and calculated values of the $\bar{\sigma}$ – function, reduction per one pass

Záver, ďalšie cesty matematického bádania

Pri písaní tohto článku, ktorý sa zaoberá vývojom riešenia Kármánovej diferenciálnej rovnice, bola snaha študovať toto téma z pôvodnej literatúry, kde to autori jednotlivých riešení po prvýkrát publikovali. Podarilo sa zohnať a preštudovať všetky pramene citované v článku. Mladšie pramene sa nachádzajú v knižnici ŠVK Košice a v knižnici VŠB-TU Ostrava. Staršie pramene sa podarilo získať z knižníc vo Viedni v Rakúsku. V riešení diferenciálnej rovnice (10) je možné pokračovať ďalej, aj pre valcovanie za studena s prihliadnutím na spevnenie valcovaného materiálu. Miesto konštantnej hodnoty základného aktuálneho deformačného odporu by sa v tomto prípade použila funkčná hodnota v závislosti na pomernej deformácii. Je možné do Kármánovej rovnice aplikovať zadný a predný ťah, alebo vypočítať pôsobisko výslednice valcovacej sily a stanoviť potrebný krútiaci moment. Pokračovať v týchto ďalších aplikáciách je už však nad rámec tohto článku, alebo by to skôr mohol byť námet pre ďalší článok.

Pod'akovanie

Graf porovnávajúci vypočítané hodnoty pomerného normálového napätia so skutočne nameranými hodnotami mohol vzniknúť vďaka tomu, že prof. Ing. Tibor Kvackaj, CSc. z Technickej univerzity v Košiciach, zabezpečil meranie valcovacích síl a prípravu vzoriek pre konštrukciu spevňovacieho diagramu žihanej mosadze CuZn30.

Literatúra

[1] KÁRMÁN, T. Beitrag zur Theorie des Walzvorganges. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 5 (1925) 2, 139-141.
[2] SMIRJAGIN, A. P. i dr. *SPRAVOČNÍK po obrabotke cvetnykh metallov i splavov*. Moskva: Metallurgizdat, 1961. 872 s.

[3] KOROLEV, A. A. *Mechaničeskoe oborudovanie prokatnykh cechov černej i cvetnoj metallurgii*. Moskva: Metallurgija, 1976.
[4] BRZBOHATÝ, M. *Tváření neželezných kovů*. Bratislava: SVTL, 1963, 414 s.
[5] CELIKOV, A. I. *Teoria rasčeta usilii v prokatnykh stanach*. Moskva: Metallurgija, 1962.
[6] BLAND, D. R., FORD, H. The Calculation of Roll Force and Torque in Cold Strip Rolling with Tension. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 159 (1948) 1, 144-163.
[7] SIMS, R. B. Calculation of Roll Force and Torque in Hot Rolling Mills. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 168 (1954) 6, 191-200.
[8] TSELIKOV, A. I., NIKITIN, G. S., ROKOTYAN, S. E. *The Theory of Lengthwise Rolling*. Moscow: MIR Publishers, 1981, 344 p.
[9] PERNIS, R. *Hutnícké listy*, 64 (2011) 3, 18-24.
[10] PERNIS, R. *Acta Metallurgica Slovaca*, 17 (2011) 2, 68-76.
[11] PERNIS, R., KVACKAJ, T. *Journal of Applied Mathematics*, Article ID 843720, (2015), 20 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/843720>
[12] REKTORYS, K. a i. *Přehled užité matematiky*. Praha: SNTL, 1968, 1140 s.
[13] ANGOT, A. *Compléments de Mathématiques à l'usage des Ingénieurs de l'Electrotechnique et des Télécommunications*. Paris: MASSON, 1952. (čes. prekl. ANGOT, A.: *Užitá matematika pro elektrotechnické inženýry*. Praha: SNTL, 1972, 820 s.).
[14] OROWAN, E. The Calculation of Roll Pressure in Hot and Cold Flat Rolling. In *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering*, 150 (1943) 140-167.
[15] RUSZ, S., SCHINDLER, I., BOŘUTA, J., KUBINA, T. Matematický popis tvářecího faktoru a jeho vliv na válcovací síly za tepla. In *METAL 2005*, Hradec nad Moravicí, 2005, s. 1-6.
[16] PERNIS, R., KASALA, J. *Hutnícké listy*, 68 (2015) 2, 2-6.
[17] GUBKIN, S. I. *Plastičeskaja deformacija metallov*. Moskva: Metallurgizdat, 1960, 306 s.
[18] HENSEL, A., SPITTEL, T. *Kraft- und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebungsverfahren*. Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1978, 528 s.
[19] GELEJI, A. *Bildsame Formung der Metalle in Rechnung und Versuch*. Berlin: Akademie-Verlag, 1961, 754 s.
[20] POČTA, B. *Základy teorie tváření kovů*. Praha: SNTL, 1966, 512 s.
[21] PEŠINA, E. *Základy užité teorie plasticity*. Praha: SNTL, 1966, 188 s.
[22] HAJDUK, M., KONVIČNÝ, J. *Silové podmínky při válcování oceli za tepla*. Praha: SNTL, 1983, 264 s.
[23] KOLLEROVÁ, M., ŽÍDEK, M., POČTA, B., DĚDEK, V. *Valcovanie*. Bratislava: ALFA, 1991, 576 s.
[24] AVITZUR, B. *Metal Forming: Processes and Analysis*. New York: McGraw-Hill, 1968, 500 p.
[25] MIELNIK, E. M. *Metalworking Science and Engineering*, New York: McGraw-Hill, 1991, 976 p.
[26] PERNIS, R., KASALA, J., BOŘUTA, J. *Kovové Materiály – Metallic Materials*, 48 (2010) 1, 41-46.
[27] PERNIS, R. *Hutnícké listy*, 74 (2021) 1-2, 11-17.
[28] KRBAŤA, M. a i. *Kovové Materiály – Metallic Materials*, 59 (2021) 379-390.

Recenzované výzkumné články

Provozní zkoušky přidavku páleného vápna do aglomerační směsi

Operational Trials of Burnt Lime Addition into the Sinter Mixture

Ing. Petr Klus, Ph.D.; Ing. Piotr Zubek; Ing. Roman Szturc

TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, 739 61 Třinec-Staré Město, Česká republika

Předložený článek se věnuje provozně experimentálnímu ověření vlivu přidavku páleného vápna do aglomerační směsi na proces spékání a kvalitu aglomerátu v podmínkách TŽ, a.s. Zkoušky byly provedeny ve spolupráci s firmou Vápenka Vitošov s.r.o. a německou společností FELS Werke GmbH. Cílem experimentu bylo stanovit možné zvýšení specifického výkonu výroby aglomerátu a dále ověřit výhody a nevýhody této technologie. Dosažené výsledky ukazují, že při průměrném dávkování vápna $1,5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ do aglomerační směsi lze v daných provozních podmínkách dosáhnout navýšení specifické výrobnosti aglomeračního zařízení až o 11 %. Zvýšení produktivity ovšem silně závisí na kvalitě vstupních surovin zakládaných do homogenizačních hromad a na kvalitě použitého vápna. Z pohledu vlivu využití této technologie na kvalitu vyrobeného aglomerátu, zahrnující pevnost, prosev a obsah FeO, nebyly pozorovány zásadní odchylky od běžných hodnot.

Klíčová slova: spékání železných rud; pálené vápno; kvalita aglomerátu; výrobnost; verifikace

The presented article focuses on the operational trial of the burnt lime addition into the sinter mixture and its effect on the sintering process and the quality of the sinter under the conditions of the metallurgical plant TŽ, a.s. The trials were performed on the sinter plant in cooperation with companies Vápenka Vitošov s.r.o., Czech Republic and FELS Werke GmbH, Germany. The main aim of the experiment was to determine a possible increase in the specific productivity of the sinter and verify the advantages and disadvantages of this technology. Based on the achieved results, it can be stated that with the use of average dosing of lime of 1.5 tons per hour to the sinter mixture, it is possible to increase the specific productivity of the sinter machine by up to 11 % in the specific operational conditions. However, the value of the increasing productivity strongly depends on the quality of the input raw materials placed into the homogenization yards and on the quality of the used burnt lime. Concerning the influence of the use of this technology on the quality of the produced sinter, no significant deviations from normal values were observed.

Key words: sintering of iron ore; burnt lime; sinter quality; productivity; verification

Agglomerační směs pro výrobu vysokopecního aglomerátu obsahuje železonosné složky: aglorudu, koncentrát, dále bazické přísady, část paliva a v neposlední řadě recyklovatelné sekundární suroviny. Aglomerační vsázka by měla mít kromě požadovaného chemického složení i vhodné granulometrické složení s optimální hodnotou vlhkosti. Tyto uvedené charakteristiky patří mezi významné parametry ovlivňující sbalitelnost a následnou prodyšnost aglomerační směsi, která má společně s rychlostí proudění prosávaného vzduchu přes spékanou vrstvu zásadní vliv na samotný výkon spékacího procesu (prostřednictvím rychlosti spékání po výšce vrstvy – vertikální rychlosti, doby spékání, výrobnosti aj.) a výslednou kvalitu vyrobeného aglomerátu [1 – 5].

Jako základní složka pro dosažení vhodného stupně vlhkosti směsi se v procesu její předpeletizace používá voda, která zároveň slouží jako pojivo zajišťující pevné spojení všech složek aglomerační vsázky.

Vlhkost materiálu má rozhodující vliv na schopnost a rychlost sbalování a na vlastnosti surových sbalků.

Zvyšování vlhkosti se projevuje změnou tvaru a velikosti sbalků, které se se zvyšováním vlhkosti zvětšují. Pevnost surových sbalků se se zvyšováním vlhkosti směsi zvětšuje, ale po překročení optimální hodnoty vlhkosti pevnost klesá, přičemž charakter závislosti je daný zrnitostí materiálu [6].

Některé studie [7, 8] ukázaly, že pevné látky, jako je vápenec nebo pálené vápno, lze také v procesu předpeletizace aglomerační směsi použít jako pojivo vyznačující se dobrými vazebnými účinky [4].

Při použití páleného vápna se jeho objem při kontaktu s vodou rapidně zvětšuje, čímž se zvyšuje prodyšnost vsázky. Vápno je hygroskopické a rychle pohlcuje vodní páru, kterou plynná fáze vnáší do nižších vrstev, a tím brání vytváření převlhčeného pásma. To společně se

zvětšením mechanické pevnosti sbalků zmenšuje odpor této vrstvy proti přechodu plynné fáze [6, 9 – 10].

Při využití vápna v procesu spékání tedy dochází vlivem jeho hydraulických schopností a mineralogických změn ke zlepšení sblatitelnosti aglomerační směsi a zvýšení prodyšnosti, vertikální rychlosti spékání, a tím i zvýšení výkonu spékacího procesu.

Díky instalaci a zprovoznění intenzivního míšiče z minulých let byly na aglomeračním provozu TŽ, a.s. splněny všechny podmínky pro možnost odzkoušení technologie přidavku vápna do aglomerační směsi za účelem ověření jejího vlivu na proces spékání a kvalitu aglomerátu.

Provozní zkoušky

Pro experimentální ověření možností této technologie v podmínkách TŽ, a.s. bylo připraveno technické řešení zobrazené na obr. 1a – 1c. Řešení vycházelo z využití zmíněného dávkování vápna pomocí mobilního sila o objemu 70 m³ položeného na mobilní betonový základ a systému 4 šnekových dopravníků zajišťujících přepravu vápna do intenzivního míšiče.

Nominální dávkované množství vápna bylo stanoveno na hodnotu 3,3 t·h⁻¹, s možností zvýšení na maximální hodnotou 4 t·h⁻¹, přičemž do této maximální hodnoty bylo dávkované množství plynule nastavitelné, což zabezpečila regulace rychlosti prvního šnekového dopravníku. Mezi posledním šnekovým dopravníkem a napojením na přírubu intenzivního míšiče byl umístěn uzavírací bezpečnostní ventil k ochraně proti vnikání vlhkosti do ústí šnekového dopravníku.

Řídicí jednotka sila, zahrnující ovládací prvky pro plnění a řízení cyklu čerpení, vibrování, indikaci hladiny

materiálu v síle, definování vstupních parametrů (manuální/automatické volby) a řízení pohonů šnekových dopravníků, byla napojena do hierarchicky výše postaveného řídicího systému aglomeračního závodu.



Obr. 1 Systém dávkování vápna do aglomerační směsi

Fig. 1 Dosing system of lime addition into the sinter mixture

Regulace dávkovaného množství vápna probíhala pomocí jejího napojení na systém poměrového dávkování aglomerační směsi. Současně byla do systému aglomerace nahrána ovládací vizualizace k řízení dávkování vápna (obr. 1d).

Sila bylo připojeno k přívodu elektrické energie a stlačeného vzduchu (tlak min. 6 bar) pro uzavírací ventil a čerpení sila vzduchem (suchý stlačený vzduch zbavený vlhkosti a oleje).

K provozním zkouškám bylo použito pálené vápno dodané firmou Vápenka Vitošov s.r.o. s předem nasmlouvanými parametry, které uvádí tab. 1.

Tab. 1 Parametry páleného vápna používaného v rámci zkoušek

Tab. 1 Burnt lime parameters used for operational trials

Pálené vápno	CaO+MgO	CaO volné	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CO ₂	SO ₃
	[%]					
Chemické složení	min. 94,0	min. 88,0	0,67	0,14	2,63	max. 0,1
Reaktivita t60	0,8 minut					
Ztráta žíháním	max. 6,0					

Samotné provozní experimenty byly zahájeny v červnu roku 2021 v délce trvání 6 měsíců pro získání dostatečného množství experimentálních dat a za účelem ověření vlivu přidavku vápna na výrobní a kvalitativní parametry výroby aglomerátu.

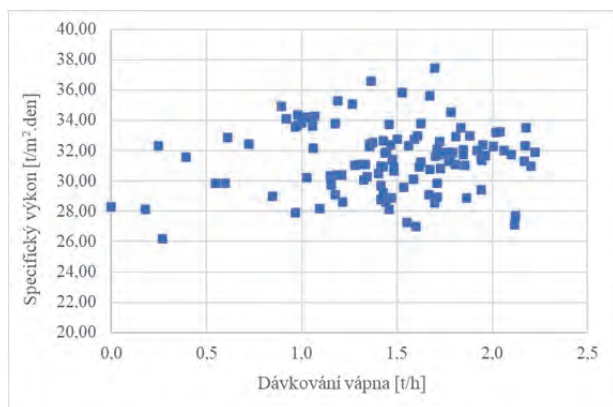
Vyhodnocení zkoušek korespondovalo s vytvořeným návrhem, jehož cílem bylo především:

- určit vliv přidavku vápna na zvýšení výrobnosti vyjádřené pomocí specifického výkonu výroby aglomerátu,
- ověřit výhody a nevýhody této technologie v podmínkách TŽ.

Diskuse dosažených výsledků

Jedním z hlavních sledovaných parametrů procesu spékání u zkoušek přidavku vápna byl specifický výkon, respektive vliv přidavku vápna na specifický výkon, jehož závislost na množství vápna je zobrazena na obr. 2. Je zde patrný trend postupného nárůstu specifického výkonu se zvyšujícím se množstvím dávkovaného vápna do aglomerační směsi.

Na základě těchto dosažených výsledků bylo provedeno srovnání specifických výkonů bez dávkování vápna a při dávkování vápna v rozmezí 0,2 – 2,2 t·h⁻¹ (tab. 2).



Obr. 2 Celkový trend vlivu přidavku vápna na specifický výkon spékacího procesu během provozních zkoušek

Fig. 2 The overall trend of the lime addition effect on the specific productivity of the sintering process during operational trials

Tab. 2 Porovnání specifického výkonu procesu spékání bez přidavku páleného vápna a při přidavku páleného vápna

Tab. 2 Comparison of specific productivity of sintering process without burnt lime addition and with burnt lime addition

Dávkované množství vápna [t·h ⁻¹]	Průměrný specifický výkon [t·m ⁻² ·den ⁻¹]
0,0 (bez vápna od zprovoznění sila)	28,27
Ø 1,5	31,49
Zvýšení specifického výkonu procesu	3,22

Při průměrném dávkovaném množství páleného vápna do směsi 1,5 t·h⁻¹ (průměrný procentuální přídavek vápna k aglomerační směsi = 0,7 %) se za celé období provozních zkoušek zvýšil průměrný specifický výkon procesu o 11 %.

Z literárních poznatků [6] vyplývá, že přidavkem 1 % vápna se zvýší výkon spékacího procesu v rozmezí 2 % až 15 %. Příčinou tak širokého rozptylu hodnot je rozdílná kvalita spékané vsázky, její materiálové složení a také kvalita použitého vápna.

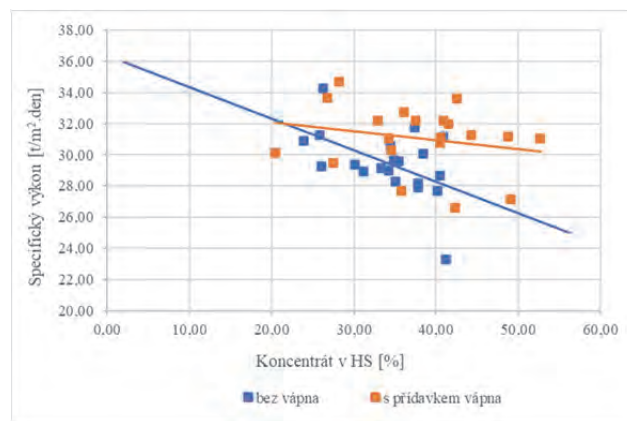
Například zvětšování podílu koncentráту v aglomerační vsázce vede v provozních podmínkách ke zvětšení podílu zrn menších než 0,5 mm. To se projevuje snížením prodyšnosti vsázky, čímž dochází ke snížení výkonu spékání. Tento zhoršený vliv je možné do jisté míry vyrovnat zvýšením vlhkosti vsázky, což je však spojeno se zhoršením pevnosti aglomerátu; dále lze za stejným účelem zvýšit obsah paliva ve vsázce nebo přidat do vsázky vápno [6].

Tuto skutečnost potvrzují získané výsledky experimentálního provozního dávkování vápna do aglomerační směsi (obr. 3) znázorňující závislost vlivu množství koncentráту ve směsi a přidavku vápna na specifický výkon. Jak je z obr. 3 patrné, přidavkem vápna došlo ke zvýšení výkonu spékacího procesu i při vyšším množství koncentráту v homogenizační směsi. Platí však, že vliv vápna na prodyšnost aglomerační směsi, která obsahuje větší podíl

koncentráту, je méně výrazný než v případě nižších podílů koncentráту ve směsi. [6]

Při předpeletizaci aglomerační vsázky, obsahující menší podíly koncentráту, se jemnozrnné částice nabalují na povrch větších zrn a jen malá část koncentráту se podílí na tvorbě mikrosbalků. Při větším množství koncentráту v aglomerační vsázce se většina koncentráту sbaluje do mikrosbalků nebo sbalků [6].

Zvyšování obsahu vápna ve směsi, která obsahuje vyšší podíly koncentráту, se projevuje podobně jako při peletizaci, a to převážně zvýšením pevnosti sbalků. Nemá však výrazný vliv na změnu granulometrického složení, a tím i na prodyšnost předpeletizované aglomerační vsázky. Výše uvedený minimální vliv na zrnitost a prodyšnost se nijak nepříznivě neprojevuje na výkonu spékacího procesu a ten je při použití vápna výrazně vyšší [6].



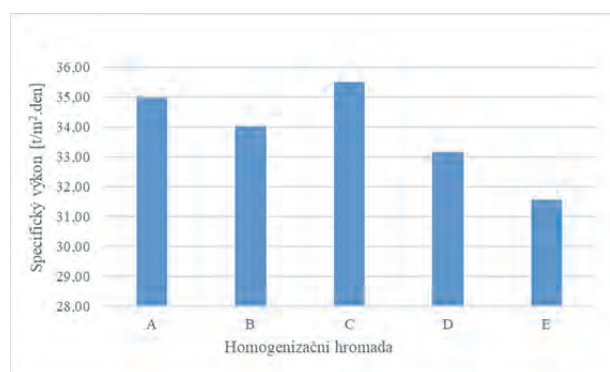
Obr. 3 Vliv koncentráту a přidavku vápna na specifický výkon

Fig. 3 Effect of iron ore concentrate and burnt lime addition on the specific productivity

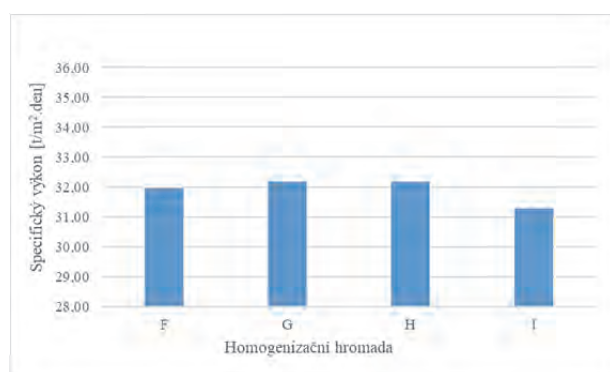
Přidavkem vápna bylo tedy v provozních podmínkách TŽ, a.s. možné zvýšit specifický výkon procesu spékání. Avšak dle uvedených experimentálních poznatků je toto navýšení produktivity silně závislé na kvalitě vstupních surovin zakládaných do homogenizačních hromad. Potvrzují to dosažené rozdíly ve specifickém výkonu pro každou hromadu, která byla v průběhu provozních zkoušek ve spotřebě.

Specifické výkony vztažené na jednotlivé homogenizační hromady, které byly ve spotřebě v období dávkování vápna, jsou graficky vyobrazeny na obr. 4. Porovnání specifických výkonů bylo provedeno v závislosti na procentuálním přidavku vápna (0,5; 0,7 a 0,8 %) k dané hromadě a její homogenizační směsi.

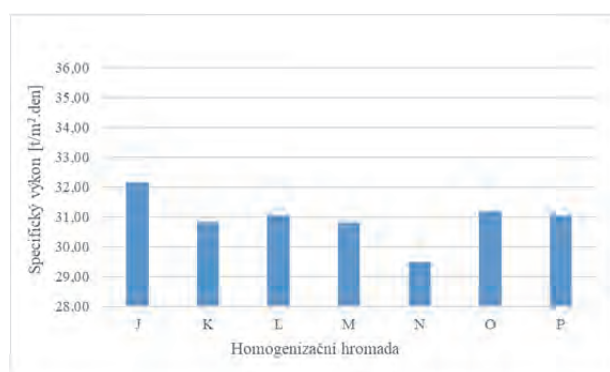
Při detailnější analýze materiálového a granulometrického složení jednotlivých homogenizačních hromad, jakož i jejich bohatosti, poměru množství aglorudy ke koncentráту a dalších neméně významných provozních parametrů, které mohou ovlivňovat specifický výkon procesu, nebyly ovšem zpozorovány zásadní odchylky od běžných hodnot.



(a)



(b)



(c)

Obr. 4 Porovnání specifických výkonů homogenizačních hromad při přidavku vápna ke směsi (a) = 0,5 %; (b) = 0,7 %; (c) = 0,8 %

Fig. 4 Comparison of specific productivity of homogenization yards with percentual lime addition to the mixture (a) = 0.5 %; (b) = 0.7 %; (c) = 0.8 %

Závěr

Provedené provozně experimentální ověření vlivu přidavku páleného vápna do aglomerační směsi na proces spékání a kvalitu aglomerátu a jeho dosažené výsledky lze shrnout do následujících bodů:

- V rámci provedených provozních zkoušek byl ověřen především vliv dávkovaného množství na specifický výkon spékacího procesu.
- Bylo zjištěno, že při průměrném procentuálním přidavku vápna ke směsi 0,7 % lze dosáhnout navýšení specifického výkonu procesu až o 11 %, což v daných podmínkách odpovídalo zvýšení o $3,2 \text{ t} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{den}^{-1}$.

- Hodnota navýšení produktivity vyjádřená specifickým výkonem aglomeračního zařízení závisí na kvalitě vstupních surovin zakládáných do homogenizačních hromad a také na kvalitě použitého vápna.
- Na základě analýzy výrobních dat pro jednotlivé homogenizační hromady byla nalezena jediná odchylka korelující s dobou jejich spotřeby, kdy horších výsledků specifického výkonu bylo dosažováno u hromad, které byly ve spotřebě více než 10 dní. Co bylo příčinou tohoto jevu, se v rámci provedeného rozboru nepodařilo blíže specifikovat.
- Vliv přidavku vápna na kvalitu vyrobeného aglomerátu (pevnost, prosevy, obsah FeO) nebyl pozorován.

Vzhledem k nedostatečné kapacitě síla a dopravních tras neumožnila tato zapůjčená technologie plné využití potenciálu přidavku páleného vápna, přičemž technický návrh zkoušek vycházel z jednoduchého technologického řešení a délce zkoušky cca 1 měsíc.

Jelikož byl v rámci experimentálních zkoušek potvrzen pozitivní vliv přidavku vápna na výrobnost, což se projevilo ve zvýšení specifického výkonu procesu spékání, který ovšem závisí na mnoha faktorech (materiálové složení homogenizační směsi, vlhkost směsi, množství zpětného aglomerátu ve směsi aj.), bylo doporučeno pokračovat v provozních zkouškách pro validaci a zpřesnění doposud získaných výsledků.

Literatura

- [1] LEGEMZA, J., FRÖHLICHOVÁ, M., FINDORÁK, R. *Tradiční a alternativní paliva v metalurgii*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2015, 286 s. ISBN 978-80-553-2154-7.
- [2] MATSUMURA, M., YAMAGUCHI, Y., KAMIJO, C. Improvement of Sinter Productivity by Adding Return Fine on Raw Materials after Granulation Stage (Development of RF-MEBIOS). In *Nippon Steel Technical Report*; 2020, No. 123, pp. 23-32.
- [3] SINGH, T. et al. Analyses of Pressure Drop in High-Temperature Zone during Iron Ore Sintering. In *Iron Ore Conference 2021*: Perth, Australia and Online, 8-10 Nov. 8th to 10th, 2021, 9 p.
- [4] ZHOU, H. et al. Influence of Quick Lime on Pore Characteristics of High-temperature Zone in Iron Ore sinter Based on XCT Technology. *Journal of Materials Research and Technology*, 15 (2021) 4475-4486. ISSN 2238-7854.
- [5] ALENCAR, J. P. S. G. et al. The Effects of Agglomeration Time and Burnt Lime Addition on the Optimization of Iron Ore Cold Agglomeration Process. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 18 (2021) 6 p. ISSN 2176-1523.
- [6] MAJERČÁK, Š. *Vysokopecná vsádzka*. Bratislava: Alfa, Praha: SNTL, 1986, 280 s.
- [7] KASAI, E. et al. The Effect of Raw Mixture Properties on Bed Permeability during Sintering. *ISIJ International*, 29 (1989) 1, 33-42. Online ISSN 1347-5460.
- [8] ZHOU, M. et al.: Characterization of Granule Structure and Packed Bed Properties of Iron Ore Sinter Feeds that Contain Concentrate. *ISIJ International*, 57 (2017) 6, 1004-1011. Online ISSN 1347-5460.
- [9] KURKIN, V. M. et al.: Effect of Lime on Sintering. *Metallurgist*, 51 (2007) 7-8, 420-424. Online ISSN 1573-8892.
- [10] MASCARENHAS, I. P. et al. Implementation of the Intensive Mixer at Sinter Plant. In: *The 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI, the 42nd International Meeting on Ironmaking and the 13th International Symposium on Iron Ore*, Oct. 14th to 18th, 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2012, pp. 777-787. ISSN 2176-3135.

Možnosti snižování spotřeby Mg při mimopecním odsiřování surového železa

Possibilities of Reduction of Mg Consumption at Desulphurisation of Hot Metal in a Ladle

Ing. Břetislav Pělucha¹; doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.²; doc. Ing. Václav Kafka, CSc.³

¹ Nová Ves, 739 11 Frýdlant nad Ostravicí, Česká republika

² Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Technická 2896/2, 616 00 Brno, Česká republika

³ RACIO & RACIO, 735 14 Orlová-Lutyně, Česká republika

Také v hutnictví se již dlouhodobě stává hořčík celosvětovým deficitem. Zvláště v poslední době se jeho nedostatek projevil drastickým zvýšením ceny. V hutích nachází největšího použití v ocelárnách k mimopecnímu odsiřování surového železa před jeho nalitím do kyslíkového konvertoru. Desulfurace se provádí nejčastěji injektáží směsi CaO + Mg do taveniny surového železa. V článku jsou hledány možnosti redukce spotřeby Mg cestou jeho dílčí náhrady, resp. jeho eliminací přechodem na nehořčíkové odsiřující přísady. V práci jsou prezentovány výsledky laboratorních, poloprovozních a provozních zkoušek mimopecního odsiřování surového železa či litiny.

Klíčová slova: injektáž; reagent; hydrokarbonát; afinita; mimopecní odsiřování

The shortages of magnesium have been for a long time also affecting heavy metal industries, which led to a rapid increase in the price of magnesium. In the steel industry magnesium is mostly used for desulphurisation of pig iron in a ladle before pouring into an oxygen converter. Desulphurisation is mostly done by injecting a mix of CaO + Mg into the melt of pig iron. The article seeks to find solutions for reducing the use of magnesium by its partial substitution or complete elimination by using non-magnesium additions. This study presents the results of laboratory and practical work of desulphurisation of pig iron and cast iron in a ladle.

This experimental work aimed at finding the optimum composition of non-magnesium additions, such as CaO, Na₂CO₃, CaC₂, CaF₂, which would give the best effectiveness of desulphurisation. The desulphurisation in this experiment has not been performed by injection. The effective mixing of liquid iron with slag was achieved by a stream of gas blown through a porous refractory block installed in the bottom of the ladle (method GAZAL). The data from the experiment have been assessed by proven mathematical-statistical analysis. The highest effectiveness of desulphurisation (92%) was achieved by using 1% slag composition of 100% CaC₂. The experiment also found that the complete desulphurisation to 0.002% S is not possible without using magnesium but showed the ways of partial substitution.

Key words: injection; reagent; carbohydrate; affinity; ladle metallurgy desulfurisation

Snaha o maximální využívání kovové substance ve vysoké peci (dále VP), kterou dnes všeobecně vyvíjení hutní závody, vede ke zvýšení obsahu síry ve vyráběném surovém železe (dále SŽ). Tento trend se nepříznivě projevil zvýšenými náklady nejen na výrobu oceli v ocelárnách (vyšší předváha, spotřeba vápna, energie, snížení produkce aj.), ale také ve všeobecných válcovnách, válcovnách trubek, slévárnách i dalších provozech [1]. Tato skutečnost přinutila vysokopecáře provádět energeticky a materiálově náročnější desulfuraci SŽ ve VP. Až teprve nově zaváděné technologie mimopecního odsiřování umožnily získávat SŽ ve VP levněji pod kyselejšími struskami, při nižší měrné spotřebě koksu, s vyšší výrobností VP, s plynulejším chodem VP a s minimálním nebezpečím tvorby nasazenin.

Protože kyslíkové konvertory (dále KK) nepatří mezi tavící agregáty vhodné k účinnému odsiřování SŽ, v hojnosti se technologií mimopecního odsiřování využívá právě k desulfuraci SŽ před jeho nalitím do KK.

V současné době se v zahraničí (ArcelorMittal Katovice, USS Košice aj.) i u nás (TŽ Třinec) odsiřuje SŽ před nalitím do KK injektáží směsi cca 77 % CaO + 20 % Mg + 3 % tavidla do tekutého SŽ v pánvi. Uvedenou technologií se dosahuje vysoké účinnosti desulfurace (z úrovně cca 0,06 % S až k cca 0,002 % S) ve velmi krátkém čase. Doba injektáže v pánvi 150 t trvá cca 10 – 15 min.

Dlouhodobě však pozorujeme, že hořčík se stává ve světě stále větším deficitem. Celkem až 90 % světové produkce hořčíku je importováno z Číny, která v současné době významně omezila dodávky Mg a prudce zvýšila jeho cenu. Např. v r. 2020 byla cena Mg 2200 Eur/t), zatímco dnes cena činí 8000 Eur/t [2]. Tento čínský postoj vyvolal celosvětově problémy nejen v hutnictví a slévárenství, nýbrž také v automobilovém a farmaceutickém průmyslu, letectví aj., a přinutilo tak odběratele hořčíku hledat cesty ke snižování jeho spotřeby, či k jeho úplné eliminaci.

1. Charakteristika procesu mimopecního odsíření SŽ injektážní směsí CaO + Mg

K dosažení vyšší reaktivity odsiřující přísady se odsiřující směs CaO + Mg zpravidla obohacuje cca 3 % tavidla (CaF₂, resp. Na₃AlF₆). Během injektáže této směsi do SŽ dochází ke konverzi hořčíku z pevné na plynnou fázi (teplota tavení $T_{\text{tav.}} = 650^\circ\text{C}$, teplota varu – vypařování $T_{\text{vyp.}} = 1107^\circ\text{C}$). Vysoká tenze par hořčíku spolu s nízkou měrnou hmotností a rozpustností bývají příčinou extrémně nízkých hodnot jeho využití. Právě injektáž hořčíku hluboce ponořenou tryskou je jedním ze způsobů, jak dosáhnout vyšší hodnoty jeho využití v SŽ.

Mimopecní odsiřování SŽ injektážní směsí CaO + Mg + tavidlo lze provádět jako monoinjektáž, kdy je jeden zásobník naplněn touto směsí, nebo jako koinjektáž, kdy jeden zásobník je naplněn směsí vápna s tavidlem a druhý hořčíkem. Toto uspořádání umožňuje injektovat do zpracovací pánve směs CaO + Mg s tavidlem, nebo Mg samostatně. Při koinjektážním dávkování je na začátku procesu, kdy tryska vstupuje do taveniny a prostupuje taveninou ke dnu pánve, injektováno pouze CaO s tavidlem. Teprve až se nachází ústí trysky v dostatečné hloubce u dna pánve, začne se dávkovat směs CaO s Mg a tavidlem a při zpětném výstupu trysky vzhůru ven z taveniny je dávkována opět jen směs CaO s tavidlem. Je zřejmé, že vysokého využití Mg v SŽ je dosahováno, když hořčík při injektáži opouští trysku a přechází do SŽ až skoro u dna pánve. Pouze v takovém případě je umožněno využít relativního zvýšení metalostatického tlaku taveniny, odpovídajícího tlaku nad ústím trysky, aby se potlačila zplyňující reakce hořčíku, způsobená vysokou tenzí jeho par. Proto za jinak stejných reprodukovatelných podmínek koinjektáž dosahujeme vyššího využití Mg než monoinjektáž.

2. Stručný přehled chemických reakcí v surovém železe během injektáže CaO + Mg

Pro zjednodušení předpokládejme, že v SŽ se vyskytuje síra především ve formě FeS. Malý podíl MnS a jiných silniků zanedbáváme. Potom během injektáže odsiřující směsí CaO + Mg budou probíhat metalurgické pochody doprovázené následujícími chemickými reakcemi:



Současně s reakcí (1) proběhne syntéza par Mg vzniklých v SŽ se sírou podle reakce (2):



Protože afinita hořčíku ke kyslíku je větší než k síře, budou páry Mg přednostně reagovat s kyslíkem podle reakce (3), a to i když je kyslík v menším množství přítomen jak v oceli, tak i v SŽ:



Kyslík vstupující do reakce (3) je primární kyslík z VP, nebo ten, který vznikl reakcí (1).

Podobně jako v reakci (1) také v následující reakci (4) váže vápno na sebe síru za vzniku nerozpustného CaS, a zvyšuje tak účinnost odsíření.



Je známo, že účinnost odsíření SŽ roste s bazicitou reaktivní neviskózní odsiřující strusky. Proto se dávkuje až k 80 % CaO s tavidlem. Účinnost odsíření však klesá s rostoucím obsahem FeO (a dalších snadno redukovatelných oxidů), jehož škodlivé působení hořčík dokáže svým redukčním účinkem eliminovat. Uvedené reakce (1) až (4) naznačují, jak důležitou roli v procesu odsiřování SŽ struskou na bázi vápna sehraje obtížně nahraditelný a dnes tolik deficitní hořčík.

Bude-li během injektáže jako rafinační struska použit karbid vápničku, budou probíhat chemické reakce obdobně podle reakce (5) a (6):



3. Možnosti alternativní náhrady Mg v odsiřující směsi

Jak bylo uvedeno výše, účinnost odsíření SŽ injektážní směsí CaO + Mg je vysoká. Abychom zachovali požadovanou účinnost odsíření při redukování obsahu Mg ve směsi musíme:

- udržet potřebnou bazicitu strusky,
- pokud možno minimalizovat tepelné ztráty SŽ, neboť zvyšují viskozitu strusky,
- nahradit dezoxidační schopnost hořčíku desoxidací jiným prvkem o podobné, případně vyšší afinitě ke kyslíku,
- nahradit vápno struskotvornou přísadou s účinnější odsiřující schopností.

3.1 Dílčí náhrada Mg v odsiřující směsi hliníkem

Prvky s podobnou afinitou ke kyslíku jako má hořčík (v rozmezí teplot tekutého SŽ) jsou zejména: Al, Ce, La, Ca. V uvedené posloupnosti prvků směrem doprava se zvyšuje jejich afinita ke kyslíku, přičemž Mg se svou afinitou řadí mezi La a Ca.

Reakce dezoxidačního prvku s kyslíkem rozpuštěným v železe nemá praktický význam. Významný je obsah kyslíku ve formě oxidů železa ve strusce a na keramickém materiálu pánvi. Smyslem přísady deoxidačního prvku je právě dezoxidace oxidů železa v nekovové fázi. K tomuto účelu přichází v úvahu z vyjmenovaných prvků jako náhrada hořčíku pouze Al, neboť zbývající prvky jsou stejně deficitní, jako Mg. Hliník má sice v rozsahu teplot tekutého SŽ cca 1400 – 1500 °C o něco nižší afinitu ke kyslíku než Mg [3, 4], avšak umožňuje v omezeném množství dílčí náhradu hořčíku v množství cca 3 – 5 %. Proto se v moderních ocelárnách částečně nahrazuje hořčík ve směsi s CaO hliníkem. Hliník na sebe váže část

zbytkového kyslíku a tuto reakci odsíření lze schematicky znázornit rovnici (7):

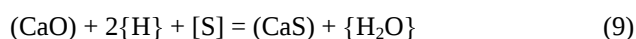
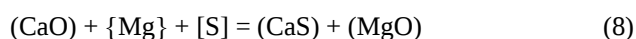


Tuto inovaci v procesu mimopecního odsiřování SŽ injektáží směsí $\text{CaO} + \text{Mg}$ + tavidlo s přísadou Al používá mimo jiné i ocelárna v TŽ Třinec, kde se dílčí náhrada Mg provádí slitinou $\text{Mg95} + \text{Al}$ [5, 6].

3.2 Dílčí náhrada Mg v odsiřující směsi vysokomolekulárním hydrokarbonátem

Jako další ekonomicky dostupná alternativa dílčí náhrady Mg v odsiřující směsi s vápnem a tavidlem se jeví obohacení směsi vysokomolekulárním hydrokarbonátem (dále VMHK) [7, 15]. Tyto VMHK, se řadí mezi polymery, což jsou makromolekuly uhlovodíků s řetězovou strukturou, sestávající se z molekul jednoho, nebo více druhů atomů. Polymery jsou přítomny v kaučuku (např. v nejstarším umělém kaučuku polybutadienu), ze kterého se vyrábějí pneumatiky.

Průběh chemických reakcí, k nimž dochází při mimopecním odsiřování SŽ injektáží směsí $\text{CaO} + \text{Mg}$ + tavidlo, v níž je část Mg nahrazena VMHK, je znázorněn ve vztazích (8) a (9):



Podle rovnice (8) je Ca redukován z vápna hořčíkem za vzniku CaS a MgO , zatímco dle vztahu (9) je Ca redukován z vápna vodíkem za vzniku CaS a vodní páry. Je vidět, že tato rafinace zajišťující odsíření SŽ během injektáže, závisí na reakci nejen hořčíku, ale i vodíku s vápnem.

Obecně během odsiřování SŽ vápnem je vápenatá částice velmi rychle obalena tenkou vrstvičkou CaS . Jakmile k tomu dojde, okamžitě je takto izolovaná částice CaO vyloučena z dalšího procesu odsiřování, a rychle tak klesá účinnost odsiřování. Pokračování procesu desulfurace nastane, až když se podaří rozbít obálku CaS a znovu obnažit částice CaO . Právě tady se projevuje příznivý účinek vodíku uvolněného z VMHK. Uvolněný vodík, coby silně redukční plyn, dokáže rozbít na částicích CaO vytvořené obálky CaS , a obnaženým částicím CaO tak umožnit pokračovat v jejich odsiřující funkci.

Pro injektáž se do odsiřovací směsi $\text{CaO} + \text{Mg}$ dává cca 5 % VMHK. Aplikace vyšší koncentrace VMHK je limitována množstvím tvořícího se plynu a intenzitou pohybu lázně ve zpracovací pánvi. Směs $\text{CaO} + \text{Mg} + \text{VMHK}$ je doporučována zejména pro monoinjektážní dávkování, u kterého dochází k velkým ztrátám hořčíku při zahájení injektáže během spouštění trysky do SŽ, a pak ke konci injektáže, tj. při zvedání trysky vzhůru. Zrnitost VMHK je obdobná jako u CaO . Uvádí se, že 1 % VMHK v odsiřující směsi při monoinjektáži má stejný efekt jako 2 % Mg a vápenatá směs s 6 % VMHK má stejnou účinnost jako karbid vápnicku [8].

Vodík a vodní pára jsou v oceli nežádoucí. Provozní zkušenosti však ukázaly, že intenzivní dmýchání plynu při výrobě oceli v konvertoru z takto zpracovaného SŽ vylučuje jakoukoli možnost, že by vodík mohl zůstat v oceli [6, 9].

4. Odsiřování SŽ injektáží nehořčíkových reagentů

Mezi nehořčíkové reagenty, jimiž lze v provozním měřítku provádět mimopecní odsiřování SŽ injektáží, patří zejména CaO , CaC_2 , Na_2CO_3 , CaF_2 , resp. ve směsi uvedených reagentů. Nevýhodou aplikace nehořčíkových reagentů, příp. jejich směsí v porovnání s desulfurací pomocí Mg je jejich velká spotřeba (až 1% i více). S tím jsou spojeny větší tepelné ztráty SŽ a také větší ztráty SŽ při následném stahování strusky na konci injektáže. Účinnost odsíření závisí na výchozím obsahu S v SŽ. Čím vyšší je výchozí obsah S v SŽ, tím se dosahuje vyšší účinnosti odsíření za jinak stejných reprodukovatelných podmínek. Minimální doba injektáže prováděné ve velkoobjemových pánvích při spotřebě cca 1% nehořčíkové odsiřující směsi bývá cca 10 minut. Účinnost procesu roste s prodloužením doby injektáže a množstvím odsiřující přísady.

Podle [10] je možno odsířit SŽ s obsahem cca 0,04 % S injektáží směsí $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ ve vhodném poměru s tavidlem a při zmíněné spotřebě (cca 1%) až na 0,005 % S . V případě použití CaC_2 se dojde k redukci S až na hodnotu 0,003 %.

5. Experimentální mimopecní odsiřování SŽ nehořčíkovými reagenty

Experimentální práce jsou zaměřeny na odsíření surového železa bez použití hořčíku. V rámci řešení výzkumného úkolu „Mimopecní úprava surových želez a litin“ byla ve VÚHŽ Dobruška provedena celá řada prací věnovaných desulfuraci SŽ [11]. Níže prezentované výsledky nebyly prováděny injektáží odsiřující přísady do taveniny, ale odsiřujícího účinku bylo dosahováno mícháním SŽ s odsiřující struskou nahozenou do pánve. Intenzivní míchání taveniny se struskou bylo vyvoláno dmýcháním proudu plynu přes porézní zátku instalovanou ve dně pánve, případně indukční pece (tzv. způsob GAZAL). Odsiřovací směsi byly založeny na bázi práškového vápna a sody. U některých taveb bylo k této směsi přidáváno tavidlo nebo karbid vápnicku. Jedna kampaň taveb byla odsiřována jen mletým karbidem vápnicku. I když v této práci, v případě technologie mimopecního odsíření, nebyla použita injektáž, nýbrž pochod GAZAL, provedené experimenty mohou usnadnit volbu optimálního složení odsiřující směsi pro vlastní injektáž.

V této práci jsou také zahrnuty výsledky laboratorních zkoušek rafinace SŽ provedených na VŠB – TU Ostrava a provozních taveb mimopecní úpravy SŽ uskutečněných ve slévárně AMEPO Ostrava. Jako struskotvorná přísada k rafinaci SŽ v obou případech posloužila kalcinovaná soda v práškové formě [12].

5.1 Laboratorní zkoušky rafinace SŽ v elektrické indukční peci kalcinovanou sodou

V práci [12] byly provedeny laboratorní zkoušky na středofrekvenční elektrické indukční peci (EIP) 100 kg s neutrální výduskou kelímku. Na hladinu SŽ v EIP s 35 kg roztaveného SŽ se přidával uhličitán sodný v pěti dávkách (5×200 g). Po dílčí rafinaci byla struska stažena a přidala se vždy další dávka sody. Na konci rafinačního procesu bylo dosaženo účinnosti odsíření 64,7 % (redukce S z 0,017 na 0,006 %). Kromě redukce S došlo během rafinace také ke snížení obsahu C (z 4,15 na 3,67 %), Mn (z 0,38 na 0,06 %), Si (z 0,64 na 0,01 %) a P (z 0,15 na 0,05 %).

V další etapě laboratorních prací proběhly experimenty s jednorázovým přidáním 4 % sody do EIP s 10 kg roztaveného SŽ (400 g sody na 10 kg SŽ). Obsah síry byl redukován z 0,022 na 0,004 %, a dosáhlo se tak účinnosti 82 %. Kromě odsiřujícího efektu došlo během rafinace opět k redukci obsahu C (z 3,82 na 3,71 %), Mn (z 0,38 na 0,21 %), Si (z 0,54 na 0,09 %) a P (z 0,123 na 0,03 %).

Laboratorní tavby potvrdily výsledky poloprovozních zkoušek dosažených ve VÚHŽ Karlštejn v práci [13], že mimopecní úpravou SŽ pod struskou na bázi Na_2CO_3 dochází kromě odsíření taveniny také k jejímu odfosfoření, avšak až po snížení obsahu křemíku na hodnotu konvergující k nule.

5.2 Laboratorní zkoušky odsiřování SŽ v elektrické indukční peci nehořčikovými reagenty a jejich směsmi

Laboratorní zkoušky odsiřování SŽ způsobem GAZAL byly prováděny v EIP 100 kg ve VÚHŽ Karlštejn [11]. Základní statistické charakteristiky souboru taveb jsou uvedeny v tab. 1. V elektrické obloukové peci (EOP) bylo roztaveno 1500 kg housek ocelárenského SŽ a to bylo postupně přeléváno do speciálně upravené EIP pro injektáž plynu porézní tvárnici instalovanou ve dně kelímku EIP. Kelímek byl vydusán neutrální vyzdívkou. Teplota SŽ během procesu odsiřování byla udržována v rozsahu 1250 – 1340 °C. Průměrná hodnota obsahu síry před odsiřováním činila 0,0121 % a po odsiřování 0,0078 %. Doba míchání taveniny s odsiřující struskou v množství 0,5 hm.% byla u všech taveb 5 minut. K odsiřování byly použity strusky s 0,5 % vápna a přísadou sody 0 až 0,75 % z hmotnosti tavby. Byly provedeny dvě tavby. Jedna tavba byla odsiřována chloridem vápenatým a druhá chloridem hořečnatým. U těchto dvou taveb bylo dosaženo shodného odsiřování 20 %.

V tab. 1, stejně jako v následující tab. 2 – 5, značí symbol n počet dat souboru a symbol s směrodatnou odchylku.

Výsledný obsah síry koreluje s počáteční koncentrací síry a s koncentrací sody v odsiřující strusce. Nejnižšího obsahu síry 0,006 % bylo dosaženo při rafinaci struskou o složení 75 % CaO + 25 % Na_2CO_3 a také 50 % CaO + 50 % Na_2CO_3 .

Tab. 1 Základní statistické charakteristiky souboru taveb o hmotnosti 100 kg provedených ve VÚHŽ Karlštejn

Tab. 1 Basic statistical characteristics of the set of melts performed at the VÚHŽ Karlštejn

n = 11	Počáteční obsah síry	Výsledný obsah síry	Účinnost odsíření	Hmotnost tavby	Teplota	Přísada Na_2CO_3	
	[hm.%]	[hm.%]	[%]	[kg]	[°C]	[kg]	[%]
průměr	0,0121	0,0078	31,7	100,0	1303,6	0,4	0,4
s	0,0030	0,0008	12,5	0,0	23,5	0,3	0,3
min	0,0100	0,0060	10,0	100,0	1250,0	0,0	0,0
max	0,0180	0,0090	50,0	100,0	1340,0	1,0	1,0

5.3 Poloprovozní zkoušky odsiřování SŽ nehořčikovými reagenty a jejich směsmi

Poloprovozní zkoušky uskutečněné ve VÚHŽ Karlštejn v této kampani byly provedeny v pánvi hmotnosti 1,5 t tekutého kovu roztaveného v EOP. Z důvodu šetření energií i finančních prostředků poskytnutých na řešení výzkumného úkolu nebyl vždy rafinaci podroben celý

objem roztaveného SŽ pro jednu verifikaci, nýbrž pouze jeho část. Odsiřující směsi byly vhozeny na dno pánve, nebo do proudu během odpichu. Po naplnění cca ¼ objemu pánve taveninou bylo zahájeno dmýchání plynu. Jako míchací medium se používal inertní plyn (N , Ar), ale také propan [14]. Základní statistické charakteristiky souboru taveb jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Základní statistické charakteristiky souboru poloprovozních taveb uskutečněných ve VÚHŽ Karlštejn

Tab.2 Basic statistical characteristics of the set of semi-industrial melts performed at the VÚHŽ Karlštejn

n = 14	Počáteční obsah síry	Výsledný obsah síry	Účinnost odsíření	Hmotnost tavby	Teplota		Přísada Na_2CO_3	
					počáteční	konečná		
	[hm.%]	[hm.%]	[%]	[kg]	[°C]		[kg]	[%]
průměr	0,01786	0,00800	55,79	1415,7	1419	1298	2,46	0,346
s	0,00083	0,00220	13,36	19,6	18,0	24,0	3,92	0,550
min	0,01500	0,00500	33,00	1380,0	1380	1250	0,00	0,000
max	0,01900	0,01200	72,00	1440,0	1440,0	1345,0	15,00	2,100

Mimopecní rafinace v pánvi probíhala při průměrné počáteční teplotě 1419 °C po dobu 5 – 10 minut. Dmýchání bylo ukončeno při průměrné teplotě 1298 °C. Jako odsiřující nehořčíkové reagenty bylo použito CaO, CaC₂, Na₂CO₃, CaF₂ a jejich směsi. Při počátečních obsahích síry kolem 0,015 až 0,019 % byla síra redukována na obsah 0,005 až 0,012 %. Průměrná hodnota účinnosti odsiřování dosáhla 56 %. Maximální účinnosti bylo dosaženo při aplikaci nehořčíkových reagentů o složení:

- 70 % CaO + 30 % Na₂CO₃,
- 100 % CaC₂,
- 50 % CaC₂ + 50 % CaO.

U jedné tavby bylo použito k odsiřování práškové vápno a u jiné tavby také mletý kazivec. U taveb, kde byl dmýchán propan, bylo dosaženo vyšší účinnosti odsiřování (64%), zatímco při dmýchání inertního plynu jen 54 %. Vliv koncentrace sody v odsiřující směsi na stupeň odsiřování byl statisticky nevýznamný.

5.4 Provozní zkoušky odsiřování litiny ve VŽKG Ostrava

Ve slévárně VŽKG Ostrava byly provedeny provozní zkoušky odsiřování litiny s obsahem 3,6 % C způsobem GAZAL v pánvi hmotnosti 2 a 25 t tekuté litiny [14]. Jako nehořčíkové reagenty bylo použito CaO, CaC₂, Na₂CO₃ a jejich směsi. Základní statistické charakteristiky souboru jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Základní statistické charakteristiky souboru taveb uskutečněných ve VŽKG Ostrava

Tab. 3 Basic statistical characteristics of the set of melts performed at the VŽKG Ostrava

n = 6	Počáteční obsah síry	Výsledný obsah síry	Účinnost odsiřování	Hmotnost tavby	Teplota	
					počáteční	konečná
	[hm. %]		[%]	[kg]	[°C]	
průměr	0,081	0,029	65,517	5833,3	1333,3	1252,5
s	0,0107	0,0200	21,85	8571,59	14,62	9,90
min	0,065	0,015	18,100	2000,0	1310,0	1240,0
max	0,099	0,072	81,500	25000,0	1350,0	1270,0

Průměrný obsah S v litině po natavení ve studenovětrné kuplovně byl 0,081 %. Spotřeba rafinační strusky činila 1 % hmotnosti odsiřovaného kovu. Tavby ve 2t pánvi byly míchány argonem, zatímco tavba ve 25t pánvi dusíkem. Jako odsiřovací přísady bylo použito směsi CaO + Na₂CO₃. Podíl sody v odsiřující směsi činil 30 až 60 %. U jedné tavby byl použit karbid vápníku. U všech taveb bylo dosaženo průměrného odsiřování 65,5 %.

U dalších taveb odsiřovaných směsí sody a práškového vápna bylo dosaženo průměrného odsiřování 73 %. Nejvyšší hodnoty účinnosti odsiřování 81 % bylo dosaženo u tavby se struskou tvořenou 1 % CaC₂. Očekávaný vliv vyššího podílu sody ve směsi na odsiřování nebyl pozorován.

5.5 Provozní zkoušky odsiřování litiny ve VSS Košice

Ve VSS Košice byla provedena kampaň provozních zkoušek odsiřování kuplovenské litiny způsobem GAZAL v pánvi hmotnosti 6 t tekutého kovu [11]. Všechny tavby byly odsiřovány struskou na bázi 100 % CaC₂ v množství 1 % hmotnosti tekutého kovu. Teplota litiny na počátku odsiřování byla u všech taveb stejná (1450 °C). Obsah síry v litině před rafinací se pohyboval v rozmezí 0,061 – 0,092 % a po odsiřování činil 0,006 až 0,012 %. Míchání taveniny u všech taveb v délce 15 minut bylo zajištěno proudem dmýchaného dusíku. Základní statistické charakteristiky zkoušek ve VSS Košice jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Základní statistické charakteristiky souboru 6t taveb uskutečněných ve VSS Košice

Tab. 4 Basic statistical characteristics of the set of 6t melts performed at the VSS Košice

n = 8	Počáteční obsah síry	Výsledný obsah síry	Účinnost odsiřování	Hmotnost tavby	Teplota	
					počáteční	konečná
	[hm. %]		[%]	[kg]	[°C]	
průměr	0,0736	0,0089	87,75	6000	1450,0	1373,8
s	0,0092	0,0020	2,86	0	0,0	8,9
min	0,061	0,006	84	6000	1450,0	1360,0
max	0,092	0,012	92	6000	1450,0	1385,0

Prakticky u všech těchto taveb bylo dosaženo mimořádně vysoké účinnosti odsiřování v rozmezí 84 až 92 %.

5.6 Provozní zkoušky odsiřování litiny ve VSŽ Košice

Ve VSŽ Košice byly provedeny provozní zkoušky odsiřování litiny s obsahem cca 3,65 % C z horkovzdušné kuplovny způsobem GAZAL v lici pánvi hmotnosti 25 a 50 t. K rafinaci litiny byly použity nehořčikové reagenty na bázi CaO, Na₂CO₃, CaF₂ a jejich směsi v množství 1 – 1,7 % hmotnosti tekutého kovu. Obsah síry před rafinací se pohyboval v rozmezí 0,060 – 0,089 %. Míchání taveniny se struskou se provádělo proudem dmýchaného dusíku. Rafinace, zahájena při teplotách litiny v rozmezí

1355 – 1385 °C a probíhala po dobu 30 – 40 minut. Na konci tavby se teplota pohybovala v rozmezí 1275 až 1290 °C.

Za účelem dosažení takové účinnosti odsíření, jakou požadovala slévárna, bylo aplikováno větší množství odsiřující strusky (až 1,7 %), neboť se ukázalo, že pro velkoobjemovou pánev k dosažení potřebné účinnosti je intenzita míchání, zajišťovaná pouze jednou porézní tvárnici, nepostačující. Základní statistické charakteristiky souboru zkoušek jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Základní statistické charakteristiky souboru 25t (50t) taveb uskutečněných ve VSŽ Košice

Tab.5 Basic statistical characteristics of the set of 25t (50t) melts performed at the VSŽ Košice

n = 9	Počáteční obsah síry	Výsledný obsah síry	Účinnost odsíření	Hmotnost tavby	Teplota	
					počáteční	konečná
	[hm. %]		[%]	[t]	[°C]	
průměr	0,080	0,033	56,100	27,8	1366,0	1261,0
s	0,040	0,015	15,657	7,857	10,677	15,620
min	0,035	0,020	28,600	25,0	1355,0	1245,0
max	0,087	0,073	73,000	50,0	1385,0	1290,0

Počáteční obsah síry ve sledovaných tavebách dosahoval hodnoty 0,035 až 0,087 % při průměrné hodnotě 0,080 %. Po rafinaci se obsah síry pohyboval v rozmezí 0,020 až 0,073 % při průměrné hodnotě 0,033 %. U většiny taveb hodnota účinnosti odsíření kolísala v rozmezí 50 až 89 %. U dvou taveb vykazovala účinnost odsíření hodnotu 30 % a nižší. U ostatních taveb hodnota účinnosti desulfurace činila 50 až 73 %.

6. Vyhodnocení experimentálních prací a návrh složení odsiřující strusky

Uskutečněné experimentální práce, i když byly provedeny neinjektační technologií, ale způsobem GAZAL, podávají informaci o dosažené účinnosti odsíření v závislosti na složení a množství aplikovaných nehořčikových rafinačních strusek. Celkem bylo sledováno 46 taveb v 5 kampaních. Tavbou se rozumí zpracování kovu v pánvi, kampaní pak sledování taveb vyrobených v jenom agregátu. Tekutý kov ke zkouškám byl získán tavením v indukční peci, elektrické obloukové peci, studenovětrné a horkovzdušné kuplovně. Počáteční obsahy síry u všech souborů se pohybovaly v intervalu 0,012 až 0,099 %, výsledné v intervalu 0,006 až 0,073 %. K odsiřování byly použity nejčastěji směsi mletého vápna a sody. Průměrný obsah sody ve směsích byl 0,36 % hmotnosti tavby, s maximální hodnotou 2,1 %.

Příznivý vliv karbidu vápníku v odsiřující strusce se projevil u všech kampaní. U taveb v kampaních 1 až 3 a kampani 5 byla průměrná hodnota účinnosti odsíření s přísadou karbidu vápníku do směsi vápna s uhlíkatem sodným 65 %, zatímco u všech taveb jen 51 %. Přísada karbidu vápníku ve směsi s vápnem a se sodou případně karbidu samotného činila 0,3 až 1,69 % z hmotnosti tavby. U souboru odsiřovaného 1 % karbidu vápníku

v kampani 4 činila průměrná hodnota účinnosti odsíření 88 %. V 5. kampani byl sledován vliv kazivce v odsiřující směsi s vápnem a sodou. U taveb bez kazivce bylo zjištěno odsíření 46 % a s kazivcem 61 %. Přísada kazivce činila 15 – 35 % z hmotnosti rafinační strusky. Ve 2. kampani by sledován vliv dmýchaní propanu na odsíření. U taveb dmýchaných Ar nebo N₂ bylo dosaženo odsíření 54 %, zatímco u taveb dmýchaných propanem 64 %.

Vícenásobnou regresní analýzou všech taveb bylo zjištěno, že účinnost odsíření nezávisí na obsahu sody v odsiřující směsi, ani na hmotnosti tavby. Statisticky významně ovlivňuje účinnost odsíření pouze počáteční a konečný obsah síry. Se zvýšením počátečního obsahu síry účinnost odsíření roste. K vícenásobné regresi byly použity pouze tavby, kde v odsiřující směsi byl použit uhlíkat sodný a vápno, případně ředidlo. Celkem soubor obsahoval 38 taveb.

Výsledky laboratorních, poloprovozních a provozních taveb (zejména kap. 5.3 – 5.6) ukazují, že u žádné alternativy zvoleného složení odsiřující strusky nebylo dosaženo požadovaného extrémně nízkého obsahu síry 0,002 %. K docílení tak nízkého obsahu S při injektáži nehořčikových reagentů (CaO, Na₂CO₃ atd.) by bylo nutno po injektáži alespoň částečně stáhnout strusku a provést další injektáž. To však nelze uskutečnit, neboť by to znamenalo prodloužení doby mimopecního zpracování SŽ, nabourání provozního cyklu na KKO, pokles teploty SŽ a s tím spojené vyšší ztráty SŽ a další negativní dopady na provoz.

Nejvyšších účinností odsíření s průměrnou hodnotou 88 % a nejvyšším odsířením u jedné tavby 92 % bylo dosaženo při zavedení nehořčikové strusky ve formě karbidu vápníku (kap. 5.5, tab. 4) v množství

1 hm.% tekutého kovu, kdy bylo dosaženo snížení obsahu síry na průměrnou hodnotu 0,0089 %, s nejnižší hodnotou 0,006 %. Nepřekvapuje to, protože CaC_2 má větší odsiřovací schopnost než CaO či Na_2CO_3 . Na dosažení tak vysokých hodnot odsíření se však v tomto případě podílela také vyšší teplota SŽ (1450 °C), kdy svou roli sehrála i kinetika odsiřující reakce.

Chceme-li se dostat k požadovanému snížení obsahu síry o hodnotě 0,002 %, tak bez hořčíku to asi nepůjde. Doporučujeme provádět injektáž karbidem vápníku (čistota min. 93 %) s obsahem cca 10 % Mg, resp. nižším obsahem (čistota min. 97 %). Přesné množství zmíněné odsiřující směsi pro injektáž bude nutno experimentálně verifikovat. Jako výchozí množství pro začátek provozní verifikace se doporučuje 0,8 hm. % tekutého kovu, které se bude postupně optimalizovat.

Další alternativou, o něco méně účinnou, se jeví injektáž odsiřující směsí o složení 65 % CaO + 25 % Na_2CO_3 + 10 % Mg v množství min. 1 hm. % tekutého kovu (kap. 5.2 a 5.3.). Také toto doporučené složení bude vyžadovat provedení provozní verifikace s cílem především minimalizovat spotřebu Mg.

Po ověření doporučovaných alternativ složení odsiřujících strusek bude možno nahradit z uvedených množství část hořčíku hliníkem (cca 3 %), resp. VMHK (cca 5 %), jak je zmíněno v kap. 3.1. a 3.2.

Jako jedna z dalších možností se k verifikaci dále nabízí injektáž 95 % CaC_2 a 5 % VMHK, příp. směsí 88 % CaO + 5 % Mg + 5 % VMHK s cca 2 % tavidla.

Závěr

Aby bylo dosaženo maximální účinnosti odsíření během injektáže a zároveň minimalizace spotřeby Mg a struskotvorných přísad, je nutno respektovat doporučená opatření pro maximální využití odsiřujících přísad a vytvoření podmínek v komplexním pojetí pro efektivní produkci oceli v KK.

- Jak bylo uvedeno výše, Mg je prvek s vysokou tenzí par. Je proto nutné provádět injektáž dostatečně dlouhou tryskou, aby reakce s taveninou proběhla pokud možno až v blízkosti dna pánve.
- Protože spotřeba hořčíku závisí na zrnitosti částic Mg, nedoporučuje se používat pro injektáž větší částice než 1,4 mm.
- Doporučuje se při injektáži dodržovat množství odsiřující směsi v nosném plynu v rozmezí 40 – 70 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Aby se nemusela zajišťovat potřebná bazicita odsiřující strusky zvyšováním množství jejich bazických komponent, doporučuje se stáhnout vysokopecní strusku před injektáží.
- Je správné nahodit koagulátor na strusku k jejímu účinnému a efektivnímu stažení v co nejkratším čase, avšak až po provedené injektáži. Je-li koagulátor

nahozen na hladinu před injektáží, jak se zatím někdy nesprávně provádí, jeho kyselý charakter (70 % SiO_2) snižuje bazicitu strusky a účinnost odsíření.

- Nepředpokládá se, že sulfidická kapacita odsiřující strusky na hladině SŽ je po injektáži vyčerpána. Proto se doporučuje po jejím ukončení ještě pokračovat v míchání SŽ se struskou (cca 10 minut) dmýcháním proudu plynu porézní tvárnici, resp. tryskou (případně pro hluboké odsíření ji obohatit novou dávkou odsiřující strusky). K dosažení potřebné intenzity míchání taveniny se struskou ve velkoobjemové pánvi (cca 150 t a více) jedna porézní tvárnice nestačí, takže vyžaduje instalaci alespoň dvou dmyšů. Tento návrh však rovněž vyžaduje provozní verifikaci.
- Zejména pro injektáž směsi Mg s CaC_2 se doporučuje napouštět pánev jen ověřeným množstvím SŽ (nepřepřítovat pánev), aby nedocházelo k rozstříku SŽ a rafinační strusky, zapříčiněnému vysokou tenzí par Mg, a nemusela se tak omezovat výtoková rychlost nosného plynu a injektované směsi. Každé omezení výtokové rychlosti injektovaného média snižuje intenzitu míchání SŽ se struskou, což se projeví snížením účinnosti odsíření. Kromě toho se prodlouží doba injektáže, která je spojena s poklesem teploty SŽ. Snížení teploty SŽ představuje kromě zvýšení viskozity rafinační strusky, provázené nepříznivým snížením účinnosti odsíření, také vyšší ztráty SŽ.
- V případě zastavení nebo drastického omezení importu hořčíku z Číny a proběhnou-li úspěšně ověřovací testy, provádět injektáž směsí 95 % CaC_2 + 5 % VMHK. V opačném případě přejít na původní metalurgii vysokopecního procesu s odsířením SŽ ve vysoké peci na obsah max. 0,03 % S, aby bylo možno s jistotou provádět mimopecní desulfuraci SŽ v pánvi pouze nehořčíkovými reagenty.

Literatura

- LOVECKÝ, J., PĚCHULOVÁ, M. Význam odsiřování surového železa. In *Možnosti odsiřování surových želez a litin*, sborník přednášek, KR ČSVTS Sm. kraje, Malá Morávka, červen 1977, s. A1-A9.
- ŠLAJS, R. Vývoj cen a dostupnost surovin pro litiny v současné době. In *Zasedání COKEK*, METOS Chrudim, listopad 2021.
- ADOLF, Z. *Teorie procesů při výrobě železa a oceli*. (Učební text) Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2014.
- MYSLIVEC, T. *Fyzikálně chemické základy ocelářství*. Praha: SNTL, 1971, s. 258, obr. 93, tab. 29.
- HERMAN, R., FARUZEL, P., MAHR, V., HOŘA, M., CIESLAR, M., PYSZKO, B., KRET, J. Trendy a praktické postupy při mimopecním odsíření surového železa v TŽ. *Hutnické listy*, 67 (2014) 2, 29-33.
- HARIBABU, J., SHAKHAWAT, V.S., RANJAN, S., MUKHERJEE, A., DAS, D., PATHAK, S. Switching from Carbide to Lime in HM Pre-treatment. In *The 14th International symposium on the desulfurization of hot metal and steel*, Athens, Greece, 2016.
- VIERTAUER, A., DOTT, K.H., KNEIS, L., KOHLER, S., SKALA, K. Efficient Hot Metal Desulphurization Ladle. In *The 14th International symposium on the desulfurization of hot metal and steel*, Athens, Greece, 2016.

- [8] LINDSRTOM, D. A Study on Desulfurization of Hot Metal Using Different Agents. (Doctoral thesis) Royal Institute of Technology, Sweden. ISBN 978-91-7595-041-9.
- [9] BRAMMING, M., MAGNELOV, M., GUSTAVSSON, L., AHMAD, Y., KARASEV, A. Rate Phenomena in Hot Metal Desulphurization. In *The 15th International Symposium on the Desulphurization of Hot Metal*, Lulea, Sweden, 2018.
- [10] VARNÍK, P. *Mimopeční odsiřování surového železa v TŽ a.s.* (Diplomová práce) Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 56 s.
- [11] PĚLUCHA, B., LOVECKÝ, J., MAGNUSEK, J. Mimopeční úprava surových želez a litin. (Závěrečná zpráva oborového výzkumného úkolu X-214-72/415, 2. etapa) Dobrá: VÚHŽ, 1979.
- [12] HAMPL, J., MACHOVČÁK, P., KLEPEK, P., BAŘINA, P. Odfosfoření a odsiřování surového železa pro odlitky. In *54. slévárenské dny*, sborník přednášek, sekce metalurgie litin, s. 53-58, Česká slévárenská společnost a Společnost sléváren ČR, Brno, 7-8.11.2017.
- [13] PĚLUCHA, B., LOVECKÝ, J., MAGNUSEK, J. *Vytvoření surovinové báze pro výrobu speciálních litin.* (Průběžná zpráva oborového výzkumného úkolu X-214-72/415, 2. etapa) Dobrá: VÚHŽ, 1978.
- [14] PĚLUCHA, B., PAVLÍNA, J., MORÁVEK, M., LOVECKÝ, J. Odsiřování způsobem GAZAL. In *Možnosti odsiřování surových želez a litin*, sborník přednášek, sekce metalurgie litin, Malá Morávka, červen 1977, KR ČSVTS Sm. kraje, 1977, s. F1-F13, obr. 14, tab. 5.
- [15] HUNA, B. Osobní konzultace k problematice mimopečního odsiřování surového železa. Almamet GmbH., Ainring, Německo, 22.6.2020.

Společnost VÍTKOVICE STEEL mění vedení

www.vitkovicesteel.cz, tisková zpráva z 21.12.2021

Dozorčí rada společnosti rozhodla o novém složení tříčlenného představenstva. Novým předsedou představenstva a generálním ředitelem společnosti VÍTKOVICE STEEL bude od 1. ledna 2022 dosavadní člen představenstva (od ledna 2019) a finanční ředitel společnosti Radek Strouhal.

Dosavadnímu předsedovi představenstva a generálnímu řediteli Dmitriji Ščukovi končí funkční období a tím i jeho více než desetileté působení ve firmě. Nový generální ředitel poděkoval Dmitriji Ščukovi za velice profesionální přístup a výrazný osobní přínos pro VÍTKOVICE STEEL i český průmysl.

Představenstvo v nadcházejících dnech oznámí kompletní složení statutárního orgánu společnosti.

Ceny uhlí důlní firmě přály, rok 2021 zakončí OKD se ziskem

MLADÁ FRONTA DNES MSK, 30.12.2021, s. 17-18 (D. Štalmach)

Letos ukončily na Karvinsku svou těžbu dvě šachty – Darkov a ČSA. Předposlední úplný těžební rok 2021 uzavírá společnost OKD s kladným hospodářským výsledkem. Celková produkce dosáhla více než 2,5 mil. tun uhlí a původní plán tak byl překročen o více než 370 tisíc tun uhlí. O téměř 20 procent byla překročena i provozní metráž, která dosáhla až deseti kilometrů.

Celosvětové ceny uhlí těžební společnosti přály a hlavně díky jim byl původní plán tržeb překročen o více než 40 procent. Konkrétní číslo společnost OKD nezveřejnila.

Rok 2022 by měl být pro firmu posledním, kdy bude těžit po celý rok, následovat má útlum posledních dvou šachet. Vedení firmy ale nevylučuje, že by se mohly možné dostupné zásoby uhlí dotěžovat i na začátku roku 2023.

Nové poruby už kvůli plánovanému konci OKD nepřipravuje, těžba v roce 2022 by se měla pohybovat okolo 1,3 milionu tun uhlí. OKD v současnosti těží v posledních dvou šachtách Dolu ČSM, Sever a Jih. Firma zaměstnává 2700 zaměstnanců a 800 agenturních pracovníků.

Studium možností snižování obsahu zinku v hutních kalcích pomocí termického zpracování

Study of the Possibilities of Reducing Zinc Content in Metallurgical Sludge by Thermal Treatment

Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.; Ing. Ondřej Kotásek; Ing. Roman Noga

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

Článek se zabývá možnostmi zpracování vysokopecních a ocelářských kalů pomocí termického zpracování v rotační peci typu Waelz-kiln. Pozornost je zaměřena na možnost snížení obsahu zinku z kalů v závislosti na jejich termickém zpracování, použití redukčních činidel a neutrální atmosféry či atmosféry tvořené vzduchem. Díky vysokému obsahu železa (48 %) mohou být takto zpracované kaly následně využity např. jako kovonosná vsázka ve vysoké peci. Termické zpracování kalu v neutrální atmosféře a vysoký obsah redukčního činidla grafitu nebo koksářského výhozu v kombinaci s vysokou teplotou 1200 °C dokáží snížit obsah Zn v kalu na hodnotu 0,08 %. Výrazného snížení obsahu Zn na 0,082 % však dochází již při teplotě 1100 °C.

Klíčová slova: vysokopecní kaly; ocelářské kaly; karbotermická redukce; proces Waelz-kiln; zinek; oxid zinečnatý

From a global perspective, the largest sources of waste are industrial activities (50 %) and energy (40%). Waste from the municipal sphere and agriculture then makes up approx. 10 %. Industrial waste is of various types, from tailings, through metallic and non-metallic wastes to very toxic or otherwise dangerous substances. We classify metallurgical waste into the group of hazardous waste. It comprises mainly blast furnace and steel dust sludges and sludges, oily scale sludges, sludges from final wastewater treatment plants, waste from pickling and surface treatment. The presented article is focused on the sludge that arose during the production of steel and pig iron. Blast furnace and steelmaking sludges are a by-product of the production of pig iron, or steel in blast furnaces and oxygen converters. In the past, these sludges were considered waste and landfilled, today production companies try to process and recycle these sludges by various technical means. In general, the processes of recovering precious metals from dust can be divided into dry and wet processing. Dry includes the Waelz method and the plasma method. Electrolytic wet processing involves a method of using an alkaline leach solution and an acid leach solution. The dominant component of blast furnace sludge is reduced iron, carbon and blast furnace slag components, such as calcium or magnesium oxide. Zinc occurs here in the form of oxide. The article deals with the possibilities of processing blast furnace and steelmaking sludge using thermal treatment in rotary kiln of the Waelz-kiln type. The article focuses on the possibilities of reducing the zinc content of sludge depending on its thermal treatment, the use of reducing agents and a neutral atmosphere or atmosphere created by air. Due to the high iron content (48%), the sludge treated in this way can then be used, for example, as a metal-bearing charge in a blast furnace. Thermal treatment of sludge in a neutral atmosphere and high content of reducing agent graphite or coke oven effluent in combination with a high temperature of 1200°C, can reduce the content of Zn in the sludge to 0.08%. A significant reduction in the Zn content to 0.082% already occurs at temperatures of 1100°C.

Key words: blast furnace sludge; steel sludge; carbon-thermal reduction; Waelz-kiln process; zinc; zinc oxide

Z globálního pohledu patří k největším zdrojům odpadů průmyslová činnost (50 %) a energetika (40 %). Odpady z komunální sféry a zemědělství tvoří asi 10 %. Průmyslové odpady jsou různého druhu: od hlušiny, přes kovové a nekovové odpady až po látky velmi toxické či jinak nebezpečné.

Do skupiny nebezpečných odpadů zařazujeme odpady z hutí. Jedná se především o vysokopecní a ocelářské odprašky a kaly, zaolejované okujové kaly, kaly z koncových čistíren odpadních vod, odpady z moření a povrchových úprav. Odpady hutní výroby lze také rozdělit na základě skupenství, ve kterém se vyskytují:

pevné (strusky, úlety, okuje, vratný ocelový odpad apod.), tekuté (kaly, vody, olej, louhy apod.), plynné (spaliny, exhalace). Dále můžeme kaly dělit podle využitelnosti na přímo vratné (materiály, které je možno vracet bez úpravy do hutního cyklu, např. ocelový odpad), vratné po úpravě (kovonosné substráty, které je zapotřebí před zpětným zpracováním fyzikálně-chemicky upravit, např. kaly, úlety), hutnicky nevratné (suroviny, které jsou užitečné v jiných průmyslových odvětvích, např. vysokopecní strusky), nevratné (materiály většinou pomíchané, dosud nevyužitelné, např. zbytky textilu, gumy, vyzdívek, olejů). Dále se odpady člení na kovové, kovonosné a nekovové.

Kovonosné odpady se vyskytují v plynné a kondenzované formě. S tím souvisí i způsoby jejich zachycování a možnosti dalšího zpracování. Do této skupiny odpadů zahrnujeme tyto materiály: kaly a úlety z aglomerace a vysokých pecí, okuje a okujové kaly, ocelářské úlety a kaly, kovonosné podíly z přepracování ocelářských strusek, mořirské kaly. [1]

Předložený článek je zaměřen právě na kaly, které vznikly při výrobě oceli a surového železa. Ocelářské kaly vznikají během výroby oceli ze železného šrotu v elektrické obloukové peci, kdy se z každé tuny oceli vyprodukuje 10 – 11 kg kalu [3]. Vysokopecní kaly a prach jsou zachytávány na některých z typů odlučovačů v procesu čištění vysokopecního plynu suchou či mokrou cestou [8, 9]. V minulosti byly tyto kaly považovány za odpad a skládkovány, v dnešní době se výrobní podniky snaží tyto kaly zpracovat a recyklovat různými technickými prostředky. Obecně můžeme procesy získávání kovů z prachu rozdělit na suché a mokré zpracování.

Suché zpracování zahrnuje Waelzovu metodu plazmovou metodu. Elektrolytické mokré zpracování zahrnuje způsob použití alkalického louhovacího roztoku a kyselého louhovacího roztoku [4]. Některé prvky, které tyto kaly obsahují (Cr, Pb, Cd, Zn, Na, K), se označují jako škodlivé, a to jak pro životní prostředí, tak i pro vlastní technologii. V případě technologických problémů mohou způsobovat zejména akumulaci zinku na vyzdívce vysoké pece, saturaci v roztaveném kovu a následnou expanzi objemu žárovzdorné hmoty, která ničí vyzdívku [2].

Dominantní složkou vysokopecního kalu je vyredukované železo, uhlík a složky vysokopecní strusky, jako je oxid vápenatý nebo oxid hořečnatý. Zinek se zde vyskytuje ve formě oxidu. V tab. 1 je uveden příklad chemického složení vysokopecního kalu [16]. V tab. 2 jsou uvedeny příklady chemického složení ocelářských kalů. Data byla naměřena v různých provozech a zpracována uvedenými autory.

Tab. 1 Chemické složení vysokopecních kalů (hm. %) [16]

Tab. 1 Chemical composition of blast furnaces sludge (wt. %) [16]

Fe	ZnO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Pb	LOI
33,94	3,57	16,30	5,54	1,90	6,52	2,82	1,64	0,92	0,29	13,04

Tab. 2 Chemické složení ocelářských kalů (hm. %)

Tab. 2 Chemical composition of steelmaking sludge (wt. %)

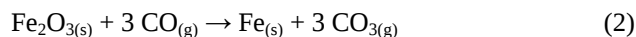
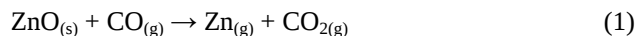
Zdroj / Prvek	Ca	Fe	Mg	Mn	Pb	Zn	Autor
Dofasco Hamilton	-	61,0	-	-	-	1,59	Kelebek [10]
Dofasco Hamilton	-	50,16	-	-	-	2,4	Goetz [11]
Tata Steel Port	-	-	-	-	-	4,8	Steer [12]
Tata Steel Port	3,0	50,0-80,0	0,20-5,0	0,40-2,20	0,20-1,80	1,7-6,5	Heinrich [13]
ArcelorMittal	4,18	50,65	1,49	-	0,07	4,37	Cantarino [14]
U.S. Steel Košice	5,5	49,87	2,68	-	0,24	9,37	Vereš [15]

Kaly obsahující zinkovou složku v současné době nelze aglomerovat. Je proto snaha zinek z kalů odstraňovat a využít jej jako druhotnou surovinu [8, 9].

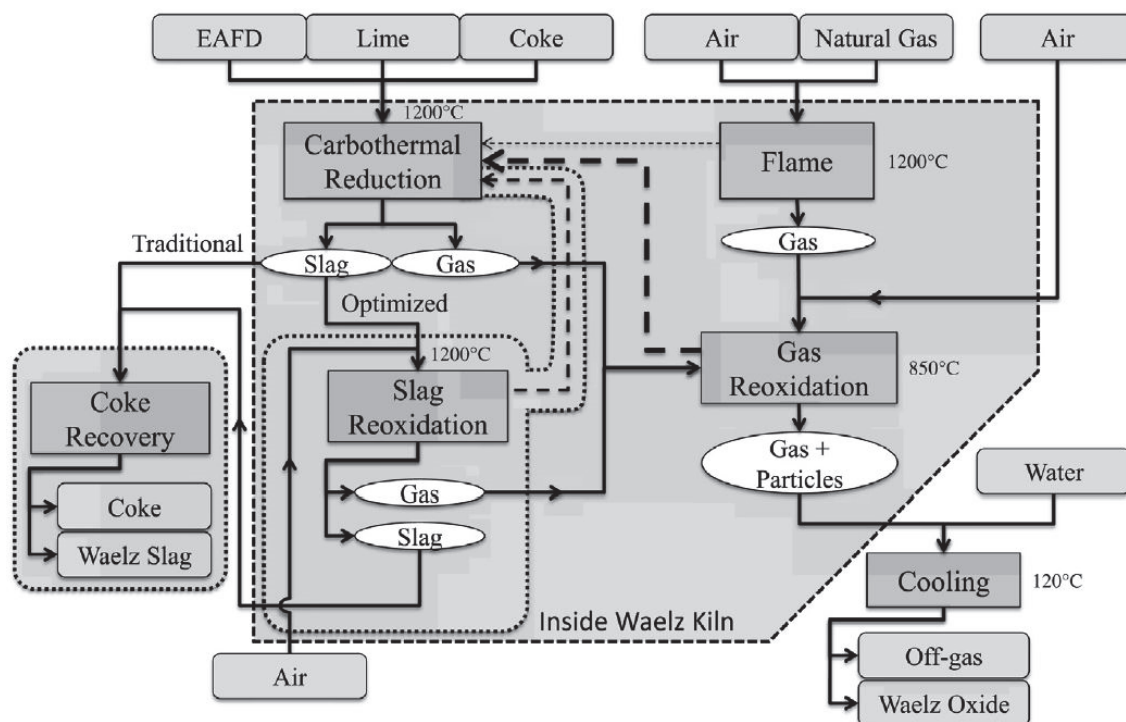
Zinek vystupuje jako nebezpečný prvek napříč zařízeními v hutním průmyslu a zároveň je nežádoucí i jeho výskyt v oceli. Za rok 2020 se celosvětově vytěžilo 12 000 kt zinku a z tohoto množství přibližně 30 % pochází z recyklovaného nebo druhotného zinku. Mezi zdroje recyklovaného zinku patří odpad z pozinkované oceli a v poslední době také zinek z vysokopecních a ocelářských kalů [1].

Podle [5] se dnes při recyklaci těchto kalů přibližně z 80 % využívá proces v rotační peci Waelz-kiln. Proto mají výzkumy recyklování materiálu v těchto pecích environmetální a ekonomický přínos. V lednu 2022 byla tržní cena zinku přibližně 3600 USD/t [6]. Waelzův proces je metoda získávání Zn a dalších kovů s relativně

nízkým bodem varu z hutního odpadu (typicky odprašků z elektrické obloukové pece) v rotační peci [7]. Proces je založen na karbotermické redukci oxidů Zn a Fe, která je popsána v řadě publikací, z nichž ji např. autor [18] popisuje následujícími rovnicemi (1) až (4).



Tyto děje probíhají v rotační peci při teplotách přibližně 1200 °C. Kaly se smíchají s uhlíkem, popřípadě se struskotvorným činidlem a vloží do pece. Uhlík snižuje prašnost a nutí těkavé prvky, jako Zn, Pb a Cd, spolu s halogenidy k odpařování. [3]



Obr. 1 Waelzův proces [3]

Fig. 1 Waelz process [3]

Schéma procesu Waelzovy pece (obr. 1) zobrazuje jak tradiční, tak optimalizovaný provoz. Šedé zaoblené obdélníky představují vstupní a výstupní toky, zatímco vnitřní toky procesu jsou znázorněny bílými elipsami. U optimalizovaného provozu se proud strusky nejprve zpracovává v reakci reoxidace strusky a teprve poté prochází úpravou pro zpětné získávání koksu, zatímco u tradičního provozu se struska zpracovává pouze zpětným získáváním koksu. Přerušované šipky na tomto obrázku označují tepelný tok v procesu [3].

Zpracování kalů se řídí ekonomickými aspekty. Proto je velmi důležitá také rychlost probíhajících reakcí. Autoři [17] provedli experiment, ve kterém měřili účinnost karbotermické redukce ZnO s přísadami CaCO_3 , Fe_2O_3 a železných okujů za různých teplot. Čistota použitých látek byla v případě Fe_2O_3 , ZnO a CaCO_3 99,9 hm. % a v případě grafitu 99,99 hm. %. Chemické složení železných okujů bylo 59,20 hm. % FeO a 39,03 hm. % Fe_2O_3 . Reakce probíhala v horizontální trubkové peci s dusíkovou atmosférou. Autoři [19] našli optimální poměr ZnO : Fe_2O_3 ve výši 1:0,05 a stanovili, že se vzrůstající teplotou roste redukce Zn z kalu. Lepších výsledků bylo dosaženo při použití železných okujů obsahujících 59,20 hm. % FeO a 39,03 hm. % Fe_2O_3 . Nejlepších výsledků bylo dosaženo použitím poměru 1:0,10 pro složky ZnO : železné okuje. Nejvyšší rychlosti redukce bylo dosaženo použitím CaCO_3 . Autoři [19] předpokládají, že příčinou zrychlení reakce po přísadě CaCO_3 je rozklad CaCO_3 na CaO a CO_2 , který se účastní Boudouardovy reakce. Ideální poměr ZnO:CaCO₃ je zde 1:0,10.

Jako efektivní redukční činidlo pro redukci zinku může kromě samotného uhlíku sloužit např. metan. [22]

Redukční schopnost metanu lze využít při odstraňování zinkových sloučenin z metalurgického odpadu. Hlavním zdrojem zinku je oxid zinečnatý, jehož odstranění probíhá dle rov. (5) [20]:



Autor [21] provedl experiment, v němž odprašky ze slévárenské pece s vysokým obsahem zinku ohříval rychlostí $10 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ s výdrží 90 min. na teplotě $900 \text{ }^\circ\text{C}$ a s následným ochlazováním rychlostí $10 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ za stálého přísunu CH_4 a inertního plynu (Ar , N_2). K ohřevu byla využita jednoduchá pec čtvercového průřezu plněná shora s možností přívodu a odvodu plynu. Samotná reakce popsaná rov. (5) probíhá při teplotě $900 \text{ }^\circ\text{C}$, přičemž okamžitě dochází k odpařování vyredukovaného zinku, jehož teplota varu je $907 \text{ }^\circ\text{C}$. Výhodou redukce metanem je nižší redukční teplota, která se pohybuje okolo teploty varu Zn. Nevýhodou je nutnost zavádět metan do prostředí pece v plynném stavu a s tím spojené náklady a možná bezpečnostní rizika. Nelze předpovídat, zdali by metoda byla účinná i při zpracování ocelářských a vysokopecních kalů s obsahem Zn mnohonásobně nižším, než použil autor ve svém experimentu [20].

Z ekologického, surovinového a ekonomického hlediska je velmi důležité zajistit, aby odpady z výrobních podniků byly následně přeměněny na použitelné suroviny, a to buďto již v daném podniku, nebo v jiných odvětvích. Vzhledem k současnému malému využívání kalů je tato práce zaměřena na nalezení vhodné metody k redukci, či minimalizaci obsahu Zn v hutních kalcích na obsahy, které dovolují jejich využití jakožto druhotné suroviny.

Průběh experimentů

Experimenty snižování obsahu Zn z hutních kalů byly realizovány v laboratorní rotační peci (obr. 2). Experimenty odstraňování Zn byly nejprve prováděny na kalu pocházejícím z výroby oceli v elektrických tavicích pecích (dále jen SS), o chemickém složení dle tab. 3. Poté následovaly experimenty snižování obsahu Zn ze směsi ocelářského a vysokopecního kalu (dále jen SS+BFS) o chemickém složení uvedeném ve stejné tabulce. Během experimentů byly využívány plyny vzduch a dusík (99,99 % N), dále vysoce čistý jemný grafitový prach o zrnitosti < 50 μm (min. 99,5 %) a koksářský výhoz (dále jen COD) s chemickým složením uvedeným rovněž v tab. 3.



Obr. 2 Laboratorní rotační pec

Fig. 2 Laboratory rotary kiln

Tab. 3 Chemické složení ocelářského kalu, směsi ocelářského a vysokopecního kalu a koksářského prachu (hm. %)

Tab. 3 Chemical composition of steelmaking sludge, a mixture of steelmaking sludge and blast furnace sludge and coking dust (wt. %)

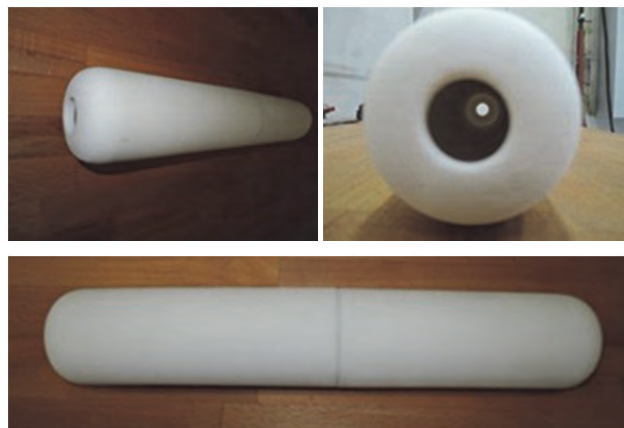
	C	S	Fe _{kov}	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{celkové}	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Cr ₂ O ₃
Ocelářský kal (SS)	4,3	0,11	0,21	11,65	55,63	48,17	0,880	1,800	2,200	0,230
Ocelářský a VP kal (SS+BFS)	2,34	0,1	0,01	14,58	55,19	2,37	0,319	1,430	1,805	0,255
Koksářský výhoz (COD)	15,60	x	x	x	5,80	x	18,06	2,88	28,59	0,03
	MgO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	V ₂ O ₅	BaO	CdO	CuO	PbO	ZnO
Ocelářský kal (SS)	1,650	1,120	0,230	0,030	0,010	<0,01	<0,01	0,100	0,430	13,900
Ocelářský a VP kal (SS+BFS)	1,091	0,975	0,265	0,004	0,017	0,008	0,000	0,137	0,408	9,670
Koksářský výhoz (COD)	3,02	0,07	0,36	0,48	0,03	0,10	0,00	0,00	0,00	0,07

Hmotnosti v jedné experimentální dávce byly následující:

- SS+N – 50 g ocelářského kalu (SS) zpracovávaného v atmosféře dusíku (N),
- SS+air – 50 g ocelářského kalu (SS) zpracovávaného v atmosféře vzduchu (air),
- SS+N+graphite – 50 g ocelářského kalu (SS) s přídavkem 50 g grafitu (graphite) zpracovávaného v atmosféře dusíku (N),
- SS+BFS+air – 50 g směsi ocelářského (SS) a vysokopecního kalu (BFS) zpracovávaného v atmosféře vzduchu (air),
- SS+BFS+air+COD – 50 g směsi ocelářského (SS) a vysokopecního kalu (BFS) s přídavkem 50 g koksářského výhozu zpracovávaného v atmosféře vzduchu (air),
- SS+BFS+air+graphite – 50 g směsi ocelářského (SS) a vysokopecního kalu (BFS) s přídavkem 25 g grafitu (graphite) zpracovávaného v atmosféře vzduchu (air),

Experimentální dávka byla přesypána do keramického pouzdra z materiálu Al₂O₃ uvedeného na obr. 3. Celé pouzdro bylo následně vloženo do rotační keramické trubky Ø 90/80 × 1200 mm z Al₂O₃, umístěné v rotační peci. V rotační peci jsou umístěny hmotnostní průtokoměry pro vstupní médium s možností přepínání a míchání

plynů CO, CO₂, O₂, vzduch, N₂, Ar s průtokem 10 – 500 ml·min⁻¹. V našem případě byl do pece vháněn dusík nebo vzduch s průtokem 150 ml·min⁻¹. Zařízení je vybaveno rotačním mechanismem pohánějícím vloženou trubici s možností nastavení otáček v rozsahu 0,1 – 20 min⁻¹. U vlastních experimentů byly zvoleny otáčky 1,0 ot·min⁻¹. Rotační tec má možnost regulace teploty po 1 °C od 400 do 1650 °C. Při experimentech byly zvoleny teploty v rozmezí 700 – 1200 °C a rychlost ohřevu a ochlazování 200 °C·hod⁻¹.



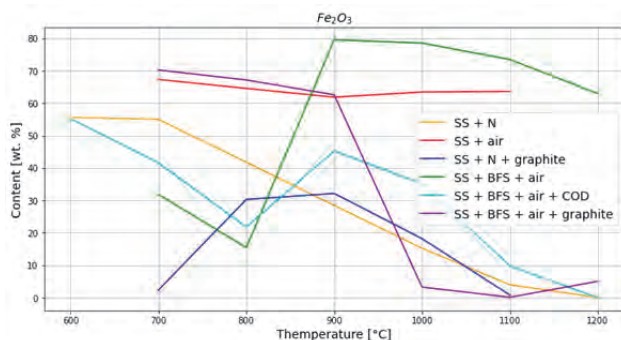
Obr. 3 Keramické pouzdro

Fig. 3 Ceramic container

Vyhodnocení experimentů

Termicky zpracovávané kaly byly hodnoceny především z pohledu změny obsahu Zn, ale během zpracování docházelo také ke změně obsahu Fe_2O_3 , FeO, kovového Fe a C. Vzorky byly analyzovány na obsahy Zn, vzhledem k tomu, že se Zn vyskytuje v kalu v oxidické formě, jsou obsahy Zn uváděny jako ZnO. ZnO představuje tedy veškerý obsah zinku v kalu.

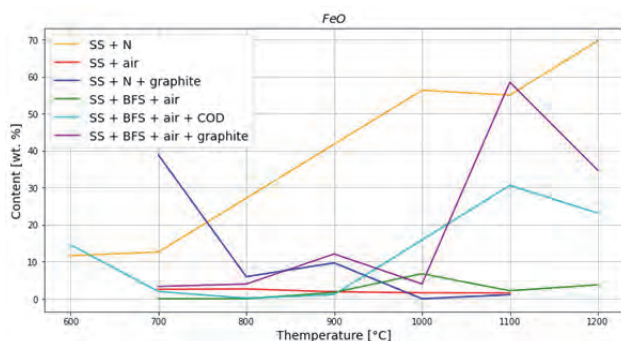
U experimentálních dávek, které obsahovaly redukční činidlo grafit, COD, nebo byly prováděny v neutrální atmosféře dusíku, dochází ke snižování obsahu Fe_2O_3 (obr. 4). Z obr. 4 je patrné, že ke snižování obsahu Fe_2O_3 dochází již při teplotách nad 900 °C a nejvýraznější je snížení jeho obsahu při teplotě 1100 °C a výše. U experimentálních dávek, které byly termicky zpracovávány v oxidačním prostředí vzduchu a nebylo u nich užito redukčního činidla grafitu ani COD, obsah Fe_2O_3 rostl.



Obr. 4 Průběh obsahu Fe_2O_3 v kalcích v závislosti na teplotě, atmosféře a redukčním prvku

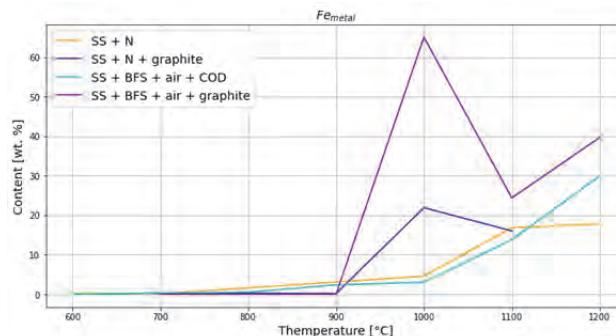
Fig. 4 Evolution of the content of Fe_2O_3 in sludge in dependence on temperature, atmosphere and reduction element

Snižování obsahu Fe_2O_3 , tedy redukce železa, v jednotlivých dávkách probíhala za současného zvyšování obsahu FeO (obr. 5) a hlavně také za současného zvyšování obsahu kovového Fe (obr. 6). Při termickém zpracování kalů dochází tedy k sekundárnímu efektu, tedy redukci železa. Nejvyšší redukce železa byla dosažena u vsázky SS+BFS+air+graphite, při teplotě 1000 °C, kdy bylo dosaženo zvýšení obsahu kovového Fe na 65 %.



Obr. 5 Průběh obsahu FeO v kalcích v závislosti na teplotě, atmosféře a redukčním prvku

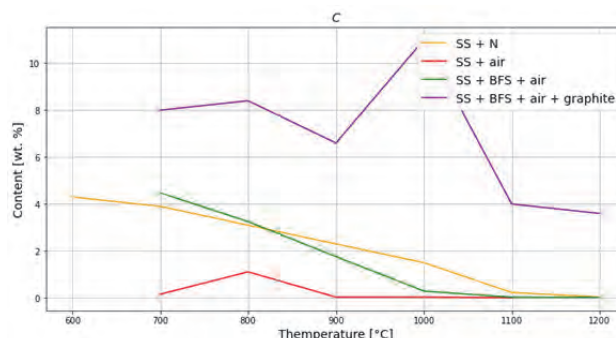
Fig. 5 Evolution of the content of FeO in sludge in dependence on temperature, atmosphere and reduction element



Obr. 6 Průběh obsahu kovového Fe v kalcích v závislosti na teplotě, atmosféře a redukčním prvku

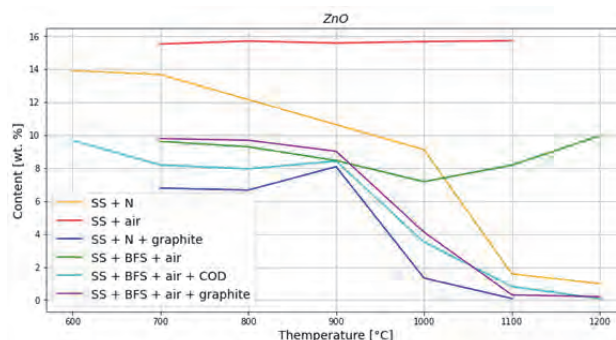
Fig. 6 Evolution of the content of metal Fe in sludge in dependence on temperature, atmosphere and reduction element

Na redukci kyslíku z kalu byl využit také C obsažený v kalcích, jehož obsah se po termickém zpracování snížil (obr. 7). Obsah uhlíku klesl na nulovou hodnotu v případě použití dávky bez dodatečné redukční přísady a za současného působení vzdušné atmosféry. Naopak u dávky s redukční přísadou grafitu a za působení vzduchu zůstalo v kalu po termickém zpracování 3,6 % C.



Obr. 7 Průběh obsahu C v kalcích v závislosti na teplotě, atmosféře a redukčním prvku

Fig. 7 Evolution of the content of C in sludge in dependence on temperature, atmosphere and reduction element



Obr. 8 Průběh obsahu ZnO v kalcích v závislosti na teplotě, atmosféře a redukčním prvku

Fig. 8 Evolution of the content of ZnO in sludge in dependence on temperature, atmosphere and reduction element

Snižování obsahu zinku se dařilo termicky dosáhnout ve stejných dávkách, ve kterých docházelo ke zvýšení kovového Fe, tedy u dávek s přísadkou grafitu, COD

a popř. použití neutrální atmosféry. Snižování Zn začíná stejně u všech těchto dávek, a to nad teplotou 900 °C, (obr. 8). Jedná se o dávky označené: SS+N+graphite, SS+N, SS+BFS+air+COD a SS+BFS+air+graphite. Nejnižšího obsahu 0,08 % Zn bylo dosaženo u dávky SS+BFS+air+COD při teplotě 1200 °C. Na druhou stranu v případě zpracovávání dávky bez redukčního činidla v atmosféře vzduchu nedocházelo skoro k žádnému snížení obsahu Zn, jak je vidět u dávky SS+air a SS+BFS+air na obr. 8.

Závěr

V úvodu této práce byl popsán původ ocelářských a vysokopecních kalů, jejich odstranění ze spalin hutnických agregátů a chemické složení těchto kalů. Následně byla popsána metoda odstranění podílu zinku z těchto kalů procesem ve Waelzově peci (Waelz-kiln).

Experimenty termického zpracování kalů z hutního průmyslu ukázaly, že snížení obsahu zinku v těchto kálech je možné. Snižování obsahu zinku v kálech závisí na použité atmosféře a také na použití redukčního prvku. Neutrální atmosféra a vysoký obsah redukčního činidla grafitu nebo koksářského výhozu v kombinaci s vysokou teplotou dokáží snížit obsah Zn v kalu na hodnotu 0,08 % při teplotě 1200 °C. Výrazného snížení obsahu Zn na 0,082 % však dochází již při teplotě 1100 °C.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci čerpání a užití institucionální podpory na Dlouhodobý a koncepční rozvoj výzkumné organizace v roce 2021, poskytovatel Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky.

Literatura

- [1] STANOVSKÁ, B. *Úpravy kovonosných odpadů pro potřeby hutního podniku* (Bakalářská práce). Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, FMMI, 2010, 48 s.
- [2] <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/zinc-facts/20534#L6>
- [3] WANG, Y. J., NING, X. J., ZHANG, J. L., JIAO, K. X., WANG, C. Effect of Harmful Elements on the Coke Ratio of Blast Furnace. *Iron & Steelmaking*, 46 (2019) 3, 253-258, DOI: 10.1080/03019233.2017.1368955
- [4] SUETENDS, T., KLAASEN, B., ACKER, K. V., BLANPAIN, B. Comparison of Electric Arc Furnace Dust Treatment Technologies Using Exergy Efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 65 (2014) 152-167, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.053>, ISSN 0959-6526.
- [5] WANG, Y. J., NING, X. J., ZHANG, J. L., JIAO, K. X., WANG, C. Effect of Harmful Elements on the Coke Ratio of Blast Furnace. *Iron & Steelmaking*, 46 (2019) 3, 253-258. <https://doi.org/10.1080/03019233.2017.1368955>.
- [6] WANG, J., ZHANG, Y., CUI, K., FU, T., GAO, J., HUSSAIN, S., ALGARNI, T. S. Pyrometallurgical Recovery of Zinc and Valuable Metals from Electric Arc Furnace Dust – A Review. *Journal of Cleaner Production*, 298 (2021), ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126788>.
- [7] https://www.westmetall.com/en/markdaten.php?action=averages&field=LME_Zn_cash
- [8] MANTOVANI, M. C., TAKANO, C., BÜCHLER, P. M. Electric Arc Furnace Dust-coal Composite Pellet: Effects of Pellet Size, Dust Composition and Additives on Swelling and Zinc Removal. *Ironmaking & Steelmaking*, 29 (2002) 4, 257-265, DOI: 10.1179/030192302225004494
- [9] BARTUSEK, J. *Vliv ukládání vysokopecních a ocelářských kalů na životní prostředí*. (Diplomová práce) Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 2010, 67 s.
- [10] STEWART, D. J. C., BARRON, A. R. Pyrometallurgical Removal of Zinc from Basic Oxygen Steelmaking Dust – A Review of Best Available Technology. *Resources, Conservation and Recycling*, 157 (2020), ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104746>.
- [11] KELEBEK, S., YÖRÜK, S., DAVIS, B. Characterization of Basic Oxygen Furnace Dust and Zinc Removal by Acid Leaching. *Miner. Eng.*, 17 (2004) 2, 285-291. DOI:10.1016/j.mineng.2003.10.030.
- [12] GOETZ, F. The Mechanism of B.O.F. Fume Formation. (Thesis MEng) McMaster University, Toronto, 1980, 199 p.
- [13] STEER, J., GRIFFITHS, A., HEINRICH, T., THOMAAS, A., BARENS, C. Correlation of BOS Process Variables with Dust Mass Formation and Zinc Content. *Iron and Steelmaking*, 41 (2014) 7, 554-560 DOI:10.1179/1743281213Y.0000000152
- [14] HEINRICH, T. Reducing Zinc Contamination in Basic Oxygen Steelmaking Dust (Thesis PhD.) Cardiff: Cardiff University, 2015, 239 p.
- [15] CANTARINO, M. V., De CARVALHO FILHO, C., BORGES MANSUR, M. 2012. Selective Removal of Zinc from Basic Oxygen Furnace Sludges. *Hydrometallurgy*, 1 (2012) 111-112, 124-128. DOI:10.1016/j.hydromet.2011.11.004.
- [16] VEREŠ, J., ŠEPELÁK, V., HREDZÁK, S. 2015. Chemical, Mineralogical and Morphological Characterisation of Basic Oxygen Furnace Dust. *Miner. Process. Extr. Metall.*, 124 (2015) 1, 1-8. DOI: 10.1179/1743285514Y.0000000069.
- [17] Steelmaking Dust - A Review of Best Available Technology. *Resources, Conservation & Recycling*, 157 (2020) 51 p.
- [18] BYUNG-SU K., JAE-MIN Y., PARK, J. T., JAE-CHUN, L. A Kinetic Study of the Carbothermic Reduction of Zinc Oxide with Various Additives. *Materials Transactions*, 47 (2006) 2421-2426. 10.2320/matertrans.47.2421.
- [19] XING, L. L., ZHENG-JIAN, L., JIAN-LIANG, Z., XIANG-DONG, X. Recovery of Iron and Zinc from Blast Furnace Dust Using Iron-Bath Reduction. *High Temperature Materials and Processes*, 38 (2019), s. 767-772.
- [20] KURKA, V., PINDOR, J., VLČEK, J., JONŠTA, P. Reduction of Unwanted Zinc Content in Metallurgical Wastes and Design of Rotary Kiln. In *Metal 2019*, Brno, 6 p., ISBN 978-80-87294-92-5, DOI: 10.37904/metal.2019.677
- [21] KIM, B. S., YOO, J. M., PARK, J. T., LEE, J. Ch. A Kinetic Study of the Carbothermic Reduction of Zinc Oxide with Various Additives. *Materials Transactions*, 47 (2006) 6.
- [22] WANG, J. P. A Study on the Reduction of Zinc Dust using Methane Gas. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 12 (2019) 3 p.

Zprávy z Ocelářské unie a.s.

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2021 a 2022

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	Únor	Březen	Leden-březen	Únor		Březen		Leden-březen	
	2022	2022	2022	2021	2022/2021	2021	2022/2021	2022	2022/2021
	(tis. t)			(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)
KOKS									
ČR	148,95	146,32	595,97	156,62	95,10	157,55	92,87	609,50	97,78
AGLOMERÁT									
ČR	355,03	435,81	1704,41	504,42	70,38	457,11	95,34	1885,65	90,39
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	296,27	317,61	1250,71	366,42	80,85	336,40	94,42	1381,52	90,53
SUROVÁ OCEL									
ČR	383,88	402,38	1595,61	451,33	85,06	419,56	95,91	1724,41	92,53
KONTISLITKY									
ČR	361,43	384,08	1518,01	426,97	84,65	396,71	96,82	1630,00	93,13
BLOKOVNY									
ČR	41,74	42,61	172,20	52,93	78,86	48,67	87,55	209,46	82,21
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	399,79	378,15	1572,89	437,24	91,44	420,22	89,99	1 694,86	92,80
TRUBKY									
ČR	36,50	30,04	129,53	35,51	102,79	34,88	86,10	132,63	97,67
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	20,41	14,40	69,42	21,74	93,88	18,31	78,64	78,42	88,52
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,31	1,29	5,16	1,51	86,60	1,12	115,34	5,03	102,71

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

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



Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2021 a 2022

	Výroba *)			Výroba	Index	Výroba	Index	Výroba	Index
	Březen	Duben	Leden-duben	Březen		Duben		Leden-duben	
	2022	2022	2022	2021	2022/2021	2021	2022/2021	2022	2022/2021
	(tis. t)			(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)	(tis. t)	(%)
KOKS									
ČR	142,90	148,95	449,65	141,37	101,08	156,62	95,10	451,95	99,49
AGLOMERÁT									
ČR	450,09	355,03	1268,60	424,70	105,98	504,42	70,38	1428,55	88,80
SUROVÉ ŽELEZO									
ČR	296,84	296,27	933,10	317,23	93,57	366,42	80,85	1045,12	89,28
SUROVÁ OCEL									
ČR	375,28	383,88	1193,23	395,38	94,92	451,33	85,06	1304,85	91,45
KONTISLITKY									
ČR	357,28	361,43	1133,93	372,07	96,02	426,97	84,65	1233,29	91,94
BLOKOVNY									
ČR	43,62	41,74	129,58	51,82	84,18	52,93	78,86	160,78	80,60
VÁLCOVANÝ MATERIÁL									
ČR	390,87	399,79	1194,74	403,12	96,96	437,24	91,44	1274,64	93,73
TRUBKY									
ČR	31,66	36,49	99,49	32,10	98,64	35,51	102,78	97,74	101,79
TAŽENÁ, LOUPANÁ, BROUŠENÁ OCEL									
ČR	16,85	20,41	55,02	18,16	92,83	21,74	93,88	60,11	91,53
STUDENÁ PÁSKA KLASICKÁ									
ČR	1,26	1,31	3,87	1,16	108,17	1,51	86,60	3,91	99,08

POZNÁMKA: *) Za poslední měsíc jsou údaje předběžné.

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



EUROPEAN GREEN DEAL

Nový střešní systém nevyrábí solární elektřinu, ale letecké palivo

Důmyslný systém s koncentrátorem slunečního záření dokáže přeměnit vodu a oxid uhličitý ze vzduchu nejprve na syntetický plyn a pak na syntetické palivo, které je tím pádem uhlíkově neutrální. Technologie funguje, ale vysoké vstupní náklady prozatím komplikují praktické využití.

Solární reaktor nového systému. Kredit: ETH Zürich.

Solární panely na střeše dnes už nejsou nic moc zvláštního. Představte si ale, že máte na střeše podobné zařízení, které z pouhého slunečního záření a vzduchu vyrábí letecké palivo. Právě takový systém vyvinuli odborníci švýcarské techniky ETH Zürich. Zařízení při umístění na Slunci těží ze vzduchu oxid uhličitý a vodu, které pomocí energie slunečního záření zpracovává na syntetický plyn (syngas), tedy směs vodíku, oxidu uhelnatého a případně oxidu uhličitého. Z něj pak zařízení vyrábí letecké palivo, které je uhlíkově neutrální. Při jeho spalení se uvolní jen tolik uhlíku, kolik bylo použito při jeho výrobě.

Syntetická paliva představují zajímavé řešení při přechodu na méně fosilní ekonomiku. Napodobují konvenční paliva z kapalných uhlovodíků, a přitom jsou vyráběna z obnovitelných zdrojů, jako je biomasa, odpad nebo třeba ze vzduchu. Podstatnou výhodou syntetických paliv, že mohou nahrazovat či doplňovat stávající fosilní paliva, takže je lze používat v již existujících motorech a infrastruktuře.

Logo. Kredit: ETH Zürich.

Švýcarský systém tvoří tři jednotky. První z nich lapá potřebné molekuly ze vzduchu. Pomocí absorpce získává vodu a oxid uhličitý, které posílá druhé jednotce. Tou je solární reaktor, který využívá sluneční záření k pohánění chemických reakcí. Součástí této jednotky je parabolický koncentrátor, který soustředí sluneční záření do reaktoru a vytvoří v něm teplotu 1500 °C. V reaktoru je umístěna struktura z oxidu ceru, která absorbuje kyslík z přicházejícího oxidu uhličitého a z vody. Tím vzniká směs vodíku a oxidu uhelnatého, čili syntetický plyn.

Crescent Dunes Solar Energy Project. Kredit: Amble / Wikimedia Commons.

Syntetický plyn může být využit sám o sobě anebo přechází do třetí jednotky zmíněného systému, kde se z něj stane letecké palivo kerosin nebo třeba metanol. Švýcarský tým již otestoval malou verzi systému o výkonu 5 kW, kterou umístili na střeše budovy, jako nějaký solární panel. Systém byl přerušovaně ozářen Sluncem 7 hodin denně, přičemž každý den vyrobil 32 mililitrů metanolu.

Není to mnoho, ale podle tvůrců je hlavní, že systém funguje. Technologii je možné používat v mnohem větším měřítku a pak pochopitelně vyrobí mnohem více paliva. Mohly by vzniknout solární továrny na palivo, které budou do jisté míry připomínat solární termální elektrárny, rovněž vybavené koncentratory slunečního záření. Badatelé spočítali, že 10 modulů tohoto zařízení, každý schopný koncentrovat 100 MW solární energie, by mohlo dohromady vyrobit 95 tisíc litrů kerosinu denně. To je na jeden let Airbusu A350 z Londýna do New Yorku a zpět.

Aby tato technologie dodávala veškeré potřebné letecké palivo, tak by musela pokrýt plochu o rozloze asi 45 tisíc kilometrů čtverečních. Zásadní problém je s vysokými vstupními náklady, díky kterým je takto vyráběné palivo dražší než soudobá fosilní paliva, která by mělo nahradit. To se ovšem může změnit, situace se neustále vyvíjí.

ZDROJ: <https://www.osel.cz/...tml>

Stane se uhlí ekologickým zdrojem energie? Nová technologie ukazuje, že možná ano

Stane se v budoucnu uhlí ekologickým zdrojem energie? Nová technologie ukazuje, že je to možné. Australská organizace pro nízkoemisní zdroje si tak nechá vypracovat studii proveditelnosti. Díky uhlí by se snadno vyrobil vodík a zbylé emise by se trvale uložily pod zem.

Když se řekne uhlí, většina lidí si nejspíš představí černý dým z komínů, které jsou hlavně na vesnicích dlouhá léta standardem zimního období. Uhlí tak rozhodně není považováno za zdroj čisté energie a v budoucnu už s ním v energetickém mixu mnoha zemí světa počítá málokdo. To by se ale možná mohlo změnit, podle australské organizace je totiž v zásadě možné uhlí energeticky využívat, a přitom neprodukovat další emise skleníkových plynů.

Důležitý bude způsob ukládání CO₂

Klíčem k využití uhlí jako čistého energetického zdroje je technologie zvaná Allam-Fetvedtův cyklus, která při využívání uhlí **produkuje vodík** jako vedlejší produkt a zároveň **zachycuje všechny vypouštěné emise CO₂**. A právě to nyní zaujalo organizaci Low Emission Technology Australia (LETA), která si na využití technologie rovnou zadala studii proveditelnosti.

Pokud by technologii bylo možné v budoucnu využít, mohlo by to podle organizace přinést velké příjmy do rozpočtu Austrálie, která by se tak mohla stát jedním z velkých světových producentů vodíku.

Allamův cyklus funguje vlastně vcelku jednoduchým způsobem, kdy k pohonu turbíny vyrábějící elektrickou energii nedochází za pomoci vodní páry ale přímo pomocí CO₂, které je uhlím produkováno. Technologie zároveň dokáže při využívání vyrábět vodík. Oxid uhličitý, kterým je turbína poháněna je následně zachycen a **trvale uložen**. To je sice v současnosti největší problém technologie, díky tomu, že mnoho firem s trvalým ukládáním CO₂ experimentuje, není tato možnost vůbec nereálná.

Uhlí je pro Austrálii stále klíčové

„Tato studie proveditelnosti je přesvědčivým důvodem pro pokračování ve vývoji nízkoemisních technologií, které jsou zásadní pro budoucnost s nulovými emisemi uhlíku, energetickou spolehlivost a prosperitu Austrálie,“ řekl Mark McCallum, generální ředitel LETA australskému serveru Australian Mining.

Při využití Allamova cyklu by tak bylo možné vyrábět vodík i **za cenu menší jak 2 dolary** (cca 32 korun) na kilogram. Potencionálně by tak mohla jen Austrálie **exportovat vodík** až za 35 miliard dolarů, což by výrazně přispělo i místní ekonomice. Velký příspěvek by ale praktické využití mělo i pro snižování emisí této země. Austrálie má v současnosti stále velké zásoby uhlí a patří tak i mezi deset zemí s největší těžbou tohoto fosilního paliva na světě.

Martin Bárta 28. 11. 2021

První ocel bez fosilních paliv na světě je ze Švédska

Společnost SSAB dokázala svému zákazníkovi vyrobit první ocel na světě bez použití fosilních paliv. Zkušební dodávka je důležitým krokem na cestě ke zcela bezfosilnímu řetězci výroby železa a oceli a milníkem v partnerství mezi společnostmi SSAB, LKAB a Vattenfall.

Stalo se to už. v červenci, kdy SSAB Oxelösund s dobrými výsledky vyvíjela první ocel vyrobenou technologií HYBRIT, kde se namísto tradičního uhlí a koksu využívá jako redukční činidlo vodík a uhelnou vysokou pec nahrazuje pecí, kterou pohání „zelená“ elektřina. Aby toho nebylo málo, podle společnosti Volvo i železná ruda, použitá k výrobě zmíněné oceli, pochází z „bezfosilní“ těžby. Ocel se nyní dodává prvnímu zákazníkovi, společnosti Volvo Group.

„První bezfosilní ocel na světě je nejen průlomem pro společnost SSAB, ale představuje i důkaz, že je možné přejít na novou technologii a výrazně snížit globální uhlíkovou stopu ocelářského průmyslu. Doufáme, že to bude inspirací pro ostatní, kteří také chtějí urychlit ekologický přechod,“ *říká Martin Lindqvist, prezident a generální ředitel společnosti SSAB.*

„Průmysl, a zejména ocelářství, vytváří velké množství emisí, ale je také důležitou součástí řešení. Abychom mohli tento přechod urychlit a stát se prvním státem na světě bez fosilních paliv, je klíčová spolupráce mezi podniky, univerzitami a veřejným sektorem. Práce vykonaná společnostmi SSAB, LKAB a Vattenfall v rámci projektu HYBRIT pohání rozvoj celého průmyslu a je mezinárodním vzorem,“ *říká švédský ministr obchodu a průmyslu Ibrahim Baylan.*

„Je velmi potěšující, že partnerství v rámci technologie HYBRIT opět učinilo důležitý krok vpřed a je dobře, že společnost SSAB nyní může vyrábět první ocel bez fosilních paliv a dodávat ji zákazníkům. To ukazuje, jak partnerství a spolupráce mohou přispět ke snižování emisí a budování konkurenceschopnosti průmyslu. Elektrifikace přispívá k tomu, že život bez fosilních paliv bude možný již během jedné generace,“ *říká Anna Borg, prezidentka a generální ředitelka společnosti Vattenfall.*

ZDROJ: <https://www.volty.cz/...etu>

Materiál zachycující uhlík by mohl pomoci průmyslu snížit emise a náklady

CO₂, nové materiály

Slibný materiál zachycující uhlík, který vyvinuli a testovali výzkumníci v Albertě v USA, nyní testuje průmyslový partner společnost Svante z B.C. v průmyslovém měřítku v cementárně, píše portál techxplore.com.

Světová proslulost Alberty v oblasti zachycování a sekvence uhlíku má získat další přírůstek díky slibnému materiálu, který nabízí účinný způsob, jak vytáhnout oxid uhličitý z průmyslových emisí.

Tým z Fakulty inženýrství Albertské univerzity charakterizoval mikroporézní materiál zachycující CO₂, který vyvinula skupina vedená Georgem Shimizuem z Univerzity v Calgary a který přitahuje molekuly plynu a ulpívá je na svém povrchu. Materiál nazvaný Calgary framework-20 (CALF-20) patří do skupiny mikroporézních pevných látek nazývaných metal-organické rámce (MOFy). V případě CALF-20 má jediný gram povrch o rozloze více než 500 metrů čtverečních. Tyto materiály mohou být zabaleny do sloupce, podobně jako katalyzátor, a v podstatě připevněny na konec komína. „Když poskytnete teplo, uvolní se CO₂ a my ho můžeme začít sbírat v koncentrovanější formě, než jakou jste poslali,“ uvádí vědci.

Řešení praktických problémů

Problémem těchto materiálů však je, že zatímco v kontrolovaných podmínkách laboratoře často fungují, v přítomnosti vody nebo jiných nečistot nefungují.

„Inovace tohoto materiálu spočívá v tom, že si dokáže dobře poradit s vodou. To znamená, že před filtrací plynu přes tento materiál jej nemusíte sušit, což snižuje potřebu celé řady energie,“ řekl Arvind Rajendran, který výzkum vede.

„Další výzvou pro materiály zachycující uhlík je, že i nepatrné množství vedlejších produktů emisí, jako je oxid siřičitý a oxid dusný, může zničit schopnost těchto materiálů zachycovat CO₂,“ vysvětlil Rajendran.

„Velkou výhodou CALF-20 je, že funguje v praktických podmínkách po tisíce hodin, což téměř všechny ostatní předchozí vývoje nedokázaly,“ řekl.

Jakmile je CO₂ koncentrován, je buď stlačen a uložen v geologických formacích, zatlačen zpět do starých vrtů pro zvýšenou těžbu ropy nebo přeměněn zpět na palivo, například metanol, který se použije při výrobě dalších produktů.

Snížení emisí a nákladů

„V Albertě zachycujeme téměř dva až tři miliony tun CO₂ ročně a stali jsme se světovou jedničkou v této technologii, protože máme jedny z největších demonstračních zařízení na celém světě,“ poznamenal Rajendran. „Schopnost vyvíjet nové materiály, související procesy a rozšiřování pro průmyslové demonstrace potvrzuje pozici Alberty jako světového lídra v oblasti zachycování a ukládání uhlíku,“ uzavřel vědec.

ZDROJ: techxplore.com

Náhoda, nebo ne? Elon Musk bude přeměňovat skleníkové plyny na raketové palivo

Proč by to vlastně měla být náhoda? Protože skleníkové plyny jsou oxid uhličitý a toho je na Marsu doslova halda. Úplně náhodou tam tvoří 95 procent atmosféry. A na Mars se Elon Musk rozhodně chystá.

CO₂ tvoří až 80 procent emisí skleníkových plynů na Zemi. A Musk ví, jak nás jich zbavit. Udělá z nich raketové palivo, jak nedávno oznámila jeho společnost Space X. Jak napsal sám Musk, přípravy už začaly a Space X zahájila program odstraňování CO₂, tedy oxidu uhličitého, z naší atmosféry.

Chytrý nápad, jak doletět na Mars a zase zpátky

Vzhledem k tomu, že atmosféra na Marsu je tvořena z 95 procent oxidem uhličitým, je pravděpodobné, že Musk si tento projekt vymyslel, aby se připravil na dlouhou zpáteční cestu z Marsu. Ale tento proces by mohl být také dobrou zprávou pro Zemi, pokud by Musk skutečně dokázal část emisí přeměnit na palivo.

Musk není první, kdo měl tento nápad. V New Yorku už v tomto oboru podniká jedna firma. Jakmile totiž existuje zdroj oxidu uhličitého, tajemstvím úspěchu je jeho elektrifikace, aby se znovu spojily jeho molekuly. CO₂ jako takový totiž jako palivo použít nelze. Ale prostřednictvím elektrokatalýzy nebo katalýzy vodou lze CO₂ přeměnit na uhlovodíky, jako je ethanol nebo petrolej, a to spojením atomů uhlíku v CO₂ a atomů vodíku ve vodě.

A to přesně už newyorská firma umí. Ta vyvinula dokonce účinnější katalyzátor i nový proces pro jeho použití k výrobě směsi raketového paliva RP-1. Společnost dále využívá 100 procent CO₂, které zpracovává prostřednictvím reaktoru a elektrolyzéru, což snižuje kontraproduktivní, odvětrávaný odpadní plyn.

S novým palivem na Mars jako na výlet

Pokud chce Elon Musk skutečně na Mars a zase zpátky, jde o skvělý nápad použití katalýzy CO₂ k vytvoření použitelného raketového paliva. Vzhledem k hmotnosti a dalším omezením pro dlouhou a náročnou cestu domů se první astronauti, kteří navštíví rudou planetu, možná budou muset spolehnout právě na tento druh technologie, zvláště pokud má Musk úspěch ve své vizi dlouhodobého osídlení Marsu.

A nejde jen o cesty do vesmíru. Pokud by se skutečně začalo z CO₂ vyrábět palivo ve velkém, budeme mít tady na Zemi poměrně brzy po problémech s emisemi.

A co se týče cestování na Mars, inženýři poukazují také na to, že tato technologie by mohla umožnit astronautům ve vesmíru na dlouhých cestách recyklovat vlastní CO₂ v reálném čase.

ZDROJ: [PopularMechanics](https://tech.instory.cz/...etu), <https://tech.instory.cz/...etu>

Ostravsko je blíž jedinečnému projektu gravitačního úložiště energie. Díky evropské podpoře

Skotský startup Gravitricity pracuje na využití gravitace pro ukládání energie. Vhodným místem jsou pro podobný projekt hlubinné šachty bývalých uhelných dolů. Proto je v hledáčku Skotů oblast černouhelných dolů na Ostravsku. Nyní právě pro pilotní projekt ve Slezsku získali podporu od Evropské investiční banky.

Princip ukládání a čerpání energie pomocí vytahování a spouštění závaží je jednoduchý: pokud je v síti levná energie, může se využít pro vytažení závaží nahoru. Když naopak elektřina v síti chybí, lze závaží spustit. Roztočí se dynamo, které vyrobí potřebnou energii. Aby však podobný projekt dával smysl, je třeba najít dostatečnou dráhu pro závaží. Stavět kvůli tomu vysoké věže se nevyplatí. Proto se pozornost vývojářů zaměřuje na bývalé hlubinné doly, které mohou nabídnout prostor pro dráhu o délce stovek až tisíců metrů.

Nová role pro šachty ve Slezsku

Je možné, že vhodnou lokalitu najdou na Ostravsku. Během loňského října navštívil tým společnosti Gravitricity zakonzervovaný důl Staříč v Moravskoslezském kraji s cílem prozkoumat jeho použitelnost pro první gravitační úložiště energie. Nyní pro realizaci svého záměru získali podporu od Evropské investiční banky (EIB). Ta se podle sdělení Gravitricity, která má redakce k dispozici, zavázala dát 120 dní poradenského času na podporu projektu a také nezávisle ověřit návrhy společnosti Gravitricity.

Při posuzování využijí experti z EIB výsledky testů demonstračního zařízení Gravitricity, které stojí od loňského léta v Edinburghu. Pokusné zařízení má výkon 250 kilowattů a může fungovat pouhých 11 sekund. Ovšem pokud by byla k dispozici šachta o délce 800 metrů s možností umístění 24 závaží o váze 12 tisíc tun, dokázalo by takové zařízení vyrobit energii pro 63 tisíc domácností po celou hodinu. Práce EIB naváže na analýzu české energetické společnosti Nano Energies, která se zaměřila na posouzení ekonomické stránky projektu.

„Nano Energies pro Gravitricity analyzovalo technologický a finanční potenciál jejich nové technologie pro ukládání elektrické energie. Zaměřili jsme se na využití elektrické flexibility, kterou jejich přelomové skladovací technologie mají, a na to, jak ji lze uplatnit na spotových trzích s elektřinou i na trzích s tzv. podpůrnými službami, které od letoška poskytujeme pro provozovatele elektrizačních soustav jako je například ČEPS,“ říká Jan Novák, který v Nano Energies vede mezinárodní rozvoj divize s agregátorem flexibility DES.

Ostravský projekt by dokázal nabídnout kapacitu úložiště 4 – 8 megawattů a dráhu kolem tisíce metrů. Zařízení s jedním závažím by poskytlo kapacitu až 2 megawatthodiny, do budoucna lze uvažovat při více závažích až o 25 megawatthodinách.

Během loňského průzkumu vhodnosti využití šachty konzultovali možnosti využití dolu s vlastníky důlního díla státní společností Diamo i vedením Moravskoslezského kraje.

Zájem o novou technologii akumulace energie má i vedení státního podniku Diamo. „Vítáme zájem o využití důlních šachet pro akumulaci energie. Tento projekt může přinést výhody celému regionu. Společnosti Gravitricity jsme už předali veškeré technické podklady,“ uvedl Ludvík Kašpar, generální ředitel společnosti Diamo pro server Ground Engineering. Právě společnost Diamo spravuje bývalé důlní prostory a hledá koncepci pro jejich další využití.

Projekty z oblasti moderní energetiky jsou pro lokality, ve kterých postupně dojde k útlumu těžby uhlí, klíčové i podle Svazu moderní energetiky. „Oblast dolů po OKD má šanci stát se hubem pro nové solární elektrárny. Čistou energii lze mimo přímé dodávky do sítě využít pro výrobu zeleného vodíku. Ten má výhodu v tom, že uloženou energii lze využít i za delší čas. Možnost gravitační akumulace pak může doplnit potřebu okamžité regulace sítě,“ dodává Martin Sedlák, programový ředitel Svazu moderní energetiky.

14 tisíc příležitostí pro úložiště

Tým Gravitricity však zkoumá také další vhodné lokality po Evropě s tím, že chce během začátku letošního roku určit užší seznam vhodných míst pro další zkoumání nasazení gravitačního úložiště. Gravitricity sází na to, že zájem o úložiště energie poroste spolu se zvyšujícím se podílem obnovitelných zdrojů energie. Zejména pak s rozvojem solárních a větrných elektráren, u kterých se předpokládá, že budou moci ve špičkách své výroby nabídnout levnou energii pro její akumulaci. Naopak podobná úložiště jsou schopna dodat okamžitě potřebnou energii, pokud v síti chybí.

Společnost Gravitricity odhaduje, že na celém světě existuje přibližně 14 tisíc dolů, které by mohly být vhodné pro gravitační skladování energie. Vedle možností využití šachty ve Slezsku zkoumá také prototypovou šachtu ve Velké Británii. V tamním případě by bylo možné gravitační skladování kombinovat s ukládáním vodíku a mezisezónním skladováním tepla.

„Využitím bývalých uhelných dolů jako masivních zásob energie můžeme najít nové využití pro stávající infrastrukturu a pomoci zmírnit sociální dopady na těžbařské komunity,“ uvádí k možnostem unikátního systému akumulace energie v dolech manažer rozvoje projektu Gravitricity Chris Yendell.

ZDROJ: <https://www.obnovitelne.cz/...etu>

Kapalný kov rychle mění oxid uhličitý na pevný uhlík

Když kapalnou slitinou EGaIn, zahřátou na 100-120 °C, probubláváte plyný oxid uhličitý, molekuly skleníkového plynu se rozpadají a vznikají vločky pevného uhlíku. Ty pak jen stačí sesbírat z hladiny kapalného kovu, pohřbít pod zem do zapomenutí anebo z nich vyrobit něco užitečného. Tekutá past na oxid uhličitý. Kredit: RMIT.

Ať chceme či nikoliv, vyšší hladina oxidu uhličitého představuje problém, který bychom měli řešit. A neměli bychom to moc přehnat, pokud nechceme přivolat další dobu ledovou. Tak daleko ale zatím nejsme. Momentálně hledáme šikovné technologie, které by nám mohly pomoci srovnat oxid uhličitý do latě. V tomto směru se úsilí soustředí na metody, které zachytávají oxid uhličitý hned v místě jeho emisí. V současné době se vyvíjejí technologie, které zahrnují magnetické houby, bublinové membrány, zeolitové pěny či materiály vyrobené z jílů, případně z kávové sedliny.

Výzkumný tým australské techniky RMIT University vyvinul zbrusu novou technologii pro rychlou konverzi oxidu uhličitého na pevný uhlík. Ten může být relativně snadno skladován nebo použit k výrobě užitečných produktů. Nová technologie je založená na kapalném kovu, kterým je eutektická (tuhnoucí jako jednotná fáze při určité teplotě) slitina EGaIn (Eutectic Gallium-Indium), zahřátá na teplotu mezi 100 a 120 °C. Kapalným kovem se prohání oxid uhličitý. Jak probublává, jeho molekuly se štěpí a vznikají vločky pevného uhlíku. Tyto vločky plavou na povrchu a lze je snadno sesbírat.

Vedoucí týmu Torben Daeneke a jeho kolegové jsou přesvědčeni, že novou technologii lze relativně snadno instalovat v místě vypouštění emisí a také používat v různém měřítku. Ke zmíněné reakci dochází rychle, je účinná a vyžaduje relativně nízkou teplotu. To vše je výsledkem výzkumu Daenekeho týmu, který technologii důkladně vyladil.

Asi největší výhodou tohoto postupu je, že vytváří pevný uhlík. Produktem dosavadních metod zachycování oxidu uhličitého je obvykle plyný oxid uhličitý, s nímž je těžké pořízení. Je náročné ho transportovat i skladovat. Kromě toho má nepříjemný zlovyk unikat zpátky do atmosféry. Objevují se pokusy pumpovat oxid uhličitý pod zem, kde by se za pár let mohl přeměnit na horninu. Tyto metody mají ale své problémy, včetně toho, že nemalá část oxidu uhličitého zůstává v plyném skupenství a ráda uniká pryč.

Pevný uhlík má mnohé přednosti. Lze ho skladovat po víceméně neomezenou dobu. Nikam neuteče. Je možné ho zahrabat a ponechat jeho osudu. Nicméně, z pevného uhlíku se rovněž dá leccos vyrobit. Třeba beton. Tým RMIT už pracuje na praktické aplikaci a připravuje prototyp systému, zhruba o velikosti přepravního kontejneru.

ZDROJ: <https://www.osel.cz/...tml>

„Nositelný“ termoelektrický generátor vyrábí elektřinu na horké trubce

Všude kolem nás jsou horké trubky. Energie, která v nich proudí, často zmizí jen tak, bez užtku. Pozoruhodný nositelný modulární termoelektrický generátor lze navléknout na prakticky jakoukoliv horkou trubku a potrubí, kde poté velmi efektivně těží elektřinu z rozdílu teplot.

„Nositelný“ termoelektrický generátor. Kredit: Penn State.

Naše civilizace je protkaná trubkami, kterými proudí horko. Nese spoustu energie, která často jen tak vyšumí. Byl by hřích ji nevyužít. O to se snaží nové termoelektrické zařízení, které jednoduše obepne horkou trubku a pak z ní těží elektřinu.

Pozoruhodná termoelektrická technologie vznikla díky spolupráci mezi americkou Pennsylvania State University a laboratořemi National Renewable Energy Laboratory. Toto zařízení tvoří ploché moduly čtvercovitého tvaru, které je možné umístit na horké trubky.

Díky modulární povaze a použití ohebné kovové folie jako substrátu je možné nové zařízení umístit kolem různých typů horkých trubek, například trubek s horkou vodou v domácnostech nebo třeba v průmyslových provozech. Předešlá zařízení tohoto typu přitom nebyla příliš ohebná, což omezovalo možnosti jejich využití.

Nový termoelektrický generátor má slušné parametry. Kredit: Li et al. (2021), ACS Publications.

Podobně jako u jiných termoelektrických zařízení, i v tomto případě vzniká elektrický proud v důsledku pohybu elektronů od teplejší strany modulu k jeho chladnější straně. Čím větší je rozdíl teplot mezi těmito stranami, tím silnější je výsledný elektrický proud. Vyrobená elektřina může být využita běžným způsobem, například k nabíjení baterií nebo třeba posílána do rozvodné sítě.

Když badatelé umístili nové zařízení na odvodní trubky s horkým plynem, tak jejich prototyp údajně dosáhl doposud nejvyššího výkonu ze srovnatelných termoelektrických generátorů. Modul o velikosti 76 čtverečních milimetrů, který využíval rozdíl teplot 570 °C, zvládl výkon 56,6 wattů.

Jak říká vedoucí výzkumného týmu Shashank Priya, pokud jde o energii skrytou v horku, například továrny či elektrárny, kde mají velké množství horkých trubek a potrubí, nabízejí ohromující možnosti. Když se většinu z nich podaří ovinout nositelným termoelektrickým generátorem, bude možné těžit kilowatty energie z odpadního tepla, které by jinak zmizelo bez užtku.

ZDROJ: <https://www.osel.cz/...tml>

Přeměna oxidu uhličitého na palivo pomocí sluneční energie

Sluneční světlo je nejlepším zdrojem energie. Množství energie ze Slunce, které dopadne na zemský povrch za hodinu, je větší než celosvětová spotřeba energie za rok. Celosvětové emise oxidu uhličitého související s energetikou se rovněž zvyšují, informuje portál InceptiveMind.

Mezinárodní tým vědců pod vedením Lundské univerzity ve Švédsku nyní učinil průlom v technologii zachycování uhlíku, která využívá sluneční energii k přeměně oxidu uhličitého na palivo nebo jinou užitečnou chemickou látku. Tým použil kombinaci pokročilých materiálů, které absorbují sluneční světlo a využívají jeho energii k přeměně oxidu uhličitého, a ultrarychlé laserové spektroskopie, která slouží k přesnému mapování toho, co se v tomto procesu děje.

Pro svůj experiment se vědci zaměřili na porézní organický materiál zvaný COF – kovalentní organický rámec, který je známý tím, že velmi účinně absorbuje sluneční světlo. Přidáním takzvaného katalytického komplexu do COF se jim podařilo přeměnit oxid uhličitý na oxid uhelnatý bez jakékoli další energie.

„K přeměně na oxid uhelnatý jsou zapotřebí dva elektrony. Když jsme zjistili, že fotony s modrým světlem vytvářejí dlouho žijící elektrony s vysokou energetickou hladinou, mohli jsme COF jednoduše nabít elektrony a reakci dokončit,“ říká Kaibo Zheng, výzkumný pracovník v oblasti chemie na univerzitě v Lundu.

Vědci doufají, že v budoucnu bude možné tento objev využít k vývoji větších jednotek, které by se daly využít na globální úrovni a s pomocí Slunce pohlcovat oxid uhličitý z atmosféry a přeměňovat jej na palivo nebo chemické látky. Podle jejich slov je potřeba ještě hodně práce, i když první kroky jsou povzbudivé.

„Dokončili jsme dva počáteční kroky se dvěma elektrony. Než budeme moci začít uvažovat o konvertoru oxidu uhličitého, je třeba udělat ještě mnoho dalších kroků a pravděpodobně i naše první dva je třeba zdokonalit. Určili jsme však velmi slibný směr, kterým se můžeme vydat,“ uzavírá Tönu Pullerits, výzkumný pracovník v oblasti chemie na univerzitě v Lundu.

Tento průlomový objev by mohl být důležitým dílem skládačky při snižování množství skleníkových plynů v atmosféře v budoucnu. V provozu je několik zařízení na zachycování oxidu uhličitého, včetně zařízení na přímé zachycování a ukládání oxidu uhličitého do vzduchu Orca společnosti Climeworks, které trvale odstraňuje miliony tun CO₂ z ovzduší, jak jsme psali zde. Vědci vyvinuli novou metodu zachycování 99 % oxidu uhličitého ze vzduchu pomocí nového elektrochemického systému poháněného vodíkem. To by mohlo být jedno z mnoha řešení, jak překonat klimatickou krizi, které čelíme.

ZDROJ: <https://techsvet.cz/...etu>

Nejhlubší vrt na světě může uvolnit téměř neomezený zdroj energie

Společnost Quaise se chystá do povrchu Země s pomocí pokročilé technologie, která je součástí fúzních projektů, vyvrtat nejhlubší vrt v historii lidstva, aby získala přístup k téměř neomezenému zdroji geotermální energie. Tento zdroj může vyřešit energetickou krizi vzniklou v době pandemie a války na Ukrajině. Napsal o tom deník Express.

V posledních letech svět vzhlíží k zelené energii. Do této kategorie spadá solární, větrná a jaderná energie. Společnost Quaise, spin-off Massachusettského technologického institutu (MIT) se sídlem v americkém městě Cambridge, však upozorňuje, že pod nohama máme jiný, téměř neomezený zdroj.

Geotermální energie je tepelná energie uvnitř naší planety. Vysoká teplota jádra přizívuje rozpad radioaktivních prvků. Tam, kde je dostupné horko, je možné získat energii. Pokud bychom využili 0,1 procenta geotermální energie, pokryli bychom potřebu celého světa na 20 milionů let.

Kvůli technologickému omezení však nebylo možné se k tomuto zdroji provrtat. V blízkosti zemského povrchu je k dispozici malé množství této energie. Jsou zapotřebí mnohem hlubší vrty. Lidstvu se podařilo vyhloubit vrt do maximální hloubky 12 289 metrů. Projekt ze 70. let Kola Superdeep Borehole však nebyl úspěšný. Práce zastavily příliš vysoké teploty v těchto hloubkách a nedostatek financí.

Společnost Quaise založená v roce 2020 spustila ambiciózní projekt, v němž chce vrtat do hloubky 20 kilometrů. Podle informací deníku Express pro tyto účely získala celkem 63 milionů dolarů.

Nejhlubší vrt k největšímu energetickému bohatství

Řešení nabízí vrtání pomocí směřované energie, konkrétně gyrotronu, technologie odvozené z fúzního výzkumu. Gyrotron je druh maseru, tedy zařízení zesilujícího v tomto případě milimetrové elektromagnetické vlny s pomocí simulované emise záření. Jedná se o vynález z 60. let, který se od 70. let používá k zahřívání plazmatu pro fúzní reaktory. Dnes už ale existují gyrotrony generující megawattové paprsky, s nimiž se dá vrtat do Země efektivněji než s lasery.

ZDROJ: <https://techsvet.cz/...etu>



Energetika a průmysl jsou nejvýznamnějším zdrojem emisí

Je všeobecně známo, že největší vliv na znečišťování životního prostředí má průmysl. O rozhovor na toto téma jsme požádali Ing. Bohuslava Čížka, Ph.D., MBA, ředitele sekce hospodářské politiky Svazu průmyslu a dopravy České republiky.

Pane řediteli, byla v minulosti zpracována studie, která by poukázala na největší znečišťovatele ovzduší? Hovoří se zejména o automobilovém a hutním průmyslu a spalovnách uhlí.

Ministerstvo životního prostředí každý rok zpracovává Zprávu o životním prostředí České republiky. Poslední zpráva ukazuje za rok 2019 zdroje emisí znečišťujících látek-NO_x, VOC, SO₂, NH₃, PM_x, CO s podíly po jednotlivých sektorech. Nejvýznamnějším zdrojem emisí SO₂ a významným zdrojem NO_x je energetika a průmysl, ale nejvýznamnějším emitentem je doprava. Ve srovnání s rokem 1990 klesly v těchto třech sektorech emise SO₂ o 96 % a v případě NO_x o 78 %, a to zejména díky investicím do modernizace technologií a ekologizace. Ve znečišťujících látkách PM_x, VOC a CO jsou dlouhodobě nejvýznamnějším emitentem domácnosti.

V předcházejícím rozhovoru jste hovořil o plánované studii dopadů uplatnění „Zelené dohody“ v České republice na ekonomiku, konkurenceschopnost a sociální oblast. Byla tato studie již zpracována a jaké jsou její výsledky a dopady?

Stále upozorňujeme, že vyšší cíl snížení emisí skleníkových plynů v roce 2030 na 55 % musí zachovat dlouhodobou konkurenceschopnost evropského a českého průmyslu a respektovat technologickou neutralitu. Tento princip je potřeba uplatnit při revizi veškeré návazné legislativy. Otázka nákladů a dopadů je zásadní. Proto intenzivně komunikujeme s ministerstvem průmyslu a obchodu o zpracování studie dopadů pro naši republiku, kterou je třeba využít pro vyjednávání v Evropské unii o možnostech České republiky a získání prostředků, například navýšením Modernizačního fondu. Se zástupci vlády jsme konzultovali i rámcové základní pozice. Dopady zelené dohody ani Fit for 55 na ČR a její sektory neznáme. Na podnět a urgence svazu stát se značným zpožděním zadal studii dopadů, která se nyní zpracovává.

Nové technologie budou o to více potřebovat elektrickou energii a plyn. Nejsou zvyšující se ceny energií důsledkem EGD?

První fázi implementace EGD je legislativní balíček Fit for 55, o kterém se teprve vyjednává. Růst ceny elektřiny a zemního plynu tak nemůže být hlavním důsledkem EGD. Očekávané dopady regulace EGD ale ovlivňují cenu emisní povolenky.

Ve stejném duchu se dá tedy hovořit i o emisních povolenkách? Jejich cena v posledním období prudce vzrostla a velmi výrazně zatěžuje průmyslové podniky.

Cena emisní povolenky je dostatečná, aby motivovala k úsporám emisí skleníkových plynů. V posledním roce dokonce příliš skokový růst její ceny ubírá i prostředky na potřebné investice. Úpravy směrnice o emisním obchodování by tak měly být pouze kosmetické a neměly by vést k dalšímu růstu ceny emisní povolenky. Prosazujeme, aby byl upraven výpočet celkového množství povolenek v oběhu tak, aby zohledňoval povolenky dlouhodobě v držení subjektů mimo EU ETS, jako jsou například investiční fondy. Jak ukázal začátek války na Ukrajině, vliv těchto subjektů má velký dopad na cenu emisní povolenky.

Hovořil jste o podpoře projektu VaV pro „Zelené technologie“. Jak se daří svazu průmyslu a dopravy toto prosazovat?

Důležité v této oblasti budou jistě výsledky podpořené z programu Národní centra kompetence, kde se i díky svazu po řadě odkladů podařilo prosadit vyhlášení soutěže koncem minulého roku. Také další soutěž v programu TREND oproti těm minulým více akcentuje oblast „zelených technologií“. Mezi další programy lze řadit program THÉTA a další implementované Technologickou agenturou ČR, nový Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost nebo rámcový program EU Horizont Evropa. U národních programů bývá největší problém nedostatek finančních prostředků, kde celkově podpora aplikovaného průmyslového výzkumu přes řadu vládních slibů



v posledních letech klesala. Doufáme, že nová vláda uvidí tuto podporu jako nezbytnou pro zajištění konkurenceschopnosti ČR.

Jak pracujete s dokumentem Vodíkové strategie a jak zapadá do „Zelené dohody“ z pohledu svazu průmyslu?

Vodíkovou strategii jako takovou oceňujeme. Materiál by se měl ale dopracovat, aby vznikla skutečně účinná strategie s jasnými nástroji a autokorekčními mechanismy. Jedna z našich zásadních připomínek směřovala právě k tomu, že materiál neřeší využití vodíku v kontextu celkové dekarbonizační strategie ČR. Ve strategii jsou sice dobře popsány například různé způsoby výroby a skladování vodíku, ale není z ní jasné, kterými směry bude nejlépe se vydat pro dosažení uhlíkové neutrality v podmínkách ČR. Sice tedy uvádí, kolik vodíku vyrobit a spotřebovat, ale měla by explicitně akcentovat, že se jedná o výrobu pro dekarbonizaci.

A jsou nějaké další novinky v oblasti EGD?

EGD musí více akcentovat otázku energetické bezpečnosti, a to na úrovni členských států. Pro zajištění energetické bezpečnosti ČR a umožnění rychlé transformace energetiky i průmyslu je zásadní výstavba nových jaderných bloků, jak předpokládá státní energetická koncepce, rozvoj obnovitelných zdrojů energie včetně obnovitelných a dekarbonizovaných plynů, zajištění notifikace provozních podpor a zajištění investičních podpor z národních a evropských finančních zdrojů, jako je Modernizační fond a Národní plán obnovy. V této věci Svaz průmyslu a dopravy vyzval vládu a ministerstvo průmyslu a obchodu, aby provedlo konkrétní kroky pro úspěšnou transformaci a vytvořilo předpoklady pro zajištění energetické bezpečnosti ČR s ohledem na nová rizika energetické transformace. Otázka to není jednoduchá, je třeba se jí vážně zabývat. Úkolem vlády je zajistit bezpečné zásobování energií zákazníky v naší republice za přijatelné ceny.

Jakým způsobem podle vás ovlivní současná situace na Ukrajině proces EGD?

Naše stanovisko k EGD je nadále platné, transformovat energetiku a průmysl je stále potřeba. EGD musí s touto novou zkušeností více akcentovat otázku energetické bezpečnosti na úrovni členských států při zajištění cenové dostupnosti energie. Nemyslíme si, že válka na Ukrajině bude znamenat odložení EGD. Doufáme ale, že nastartuje větší diskuzi na evropské úrovni, jak nastavit správnou trajektorii dosažení daných cílů. Představitelé EU musí vzít v potaz národní specifika a dostupnost tuzemských zdrojů, abychom zajistili bezpečnost a jistotu dodávek energie a neohrozili konkurenceschopnost evropského průmyslu. Více než dříve je třeba řešit kritickou situaci s rostoucí cenou energie a připravit konkrétní opatření pro průmysl i domácnosti. To považujeme za prioritu, kterou musí vláda ČR řešit.

Jaroslav Pindor

Do čela tří fakult VŠB-Technické univerzity Ostrava byly jmenovány ženy

www.vsb.cz, Tisková zpráva z 21.3.2022

Rektor VŠB-Technické univerzity Ostrava prof. Václav Snášel jmenoval na březnovém slavnostním zasedání Vědecké rady univerzity, při příležitosti Dne učitelů, tři nové děkanky.

Do čela jedné ze zakládajících fakult VŠB-TUO, Hornicko-geologické, usedla v únoru prof. Hana Staňková, nejvyšší představitelkou druhé zakládající fakulty, Fakulty materiálůvě-technologické, je prof. Kamila Janovská a do vedení Fakulty stavební, která letos oslavila 25 let od svého založení, nastoupila na začátku února prof. Martina Peřínková.

Zastoupení žen ve vedení největší univerzity v Moravskoslezském kraji ocenil její rektor s tím, že věří, že větší diverzita ve vedení univerzity pomůže lépe čelit výzvám, snadněji rozhodovat a nacházet nová řešení.

Rektor dále dodal, že ho těší velmi kladné hodnocení genderového auditu (audit rovných příležitostí), který na VŠB-Technické univerzitě Ostrava proběhl loni a týkal se například personální politiky, vyváženosti osobního a pracovního života, anebo kultury organizace.

Kromě inaugurací tří děkanek proběhlo na slavnostní vědecké radě také předání pamětních medailí Georgie Agricoly dvěma oceněným z Fakulty elektrotechniky a informatiky, představení nových docentů a předání jmenovacích dekretů absolventům doktorského studia.

Ze života škol

Nové vedení Fakulty materiálově-technologické v čele s děkankou prof. Ing. Kamilou Janovskou, Ph.D.

Od února tohoto roku má Fakulta materiálově-technologická (FMT) VŠB-TUO novou děkanku – stala se jí prof. Ing. Kamila Janovská, Ph.D., která doposud působila na fakultě jako proděkanka pro pedagogickou činnost. Kamila Janovskou zvolil Akademický senát FMT 12. 10. 2021 jednomyslně, do funkce ji následně jmenoval rektor univerzity prof. RNDr. Václav Snášel, CSc. Prof. Janovská vystřídala v čele fakulty dosavadní děkanku prof. Ing. Janu Dobrovskou, CSc., které v roce 2022 skončilo již druhé volební období.

Nové vedení fakulty má několik vytyčených cílů jak v oblasti pedagogiky, tak vědecké a výzkumné činnosti. *„Ráda bych stabilizovala počty studentů na fakultě, rozvíjela kreativní podoby výuky a prohloubila zapojení odborníků z praxe. Ve vědecko-výzkumné oblasti chci podpořit kvalitní publikační i nepublikační výstupy vědy a výzkumu jednotlivců, ale i vědecko-výzkumných týmů. Mým cílem je vytvářet motivační prostředí pro rozvoj vědecko-výzkumných týmů na fakultě a podporovat jejich aktivní zapojení do výzkumné, vývojové a inovační činnosti v rámci univerzity, národních i mezinárodních vědecko-výzkumných pracovišť.“* říká nová děkanka Kamila Janovská. Velmi důležité je také podle prof. Janovské podporovat potenciál fakulty v oblasti přenosu výsledků výzkumné, vývojové a inovační činnosti do praxe užším napojením na aplikační sféru. A v neposlední řadě vytvářet kvalitní podmínky pro realizaci národních, a především mezinárodních projektů.



Ve vedení fakulty nyní po boku děkanky Janovské stojí dvě proděkanky a dva proděkani. Proděkankou pro strategii a rozvoj je doc. Ing. Lenka Kulhánková, Ph.D. a proděkankou pro studium se stala doc. Ing. Kateřina Skotnicová, Ph.D. Místo proděkana pro vědu a výzkum zaujímá prof. Ing. Bohumír Strnadel, DrSc. a proděkanem pro spolupráci s průmyslem je nově prof. Ing. Jozef Vlček, Ph.D.

K 1. dubnu 2022 došlo na FMT v rámci některých kateder rovněž k významným organizačním změnám. Splnutím Katedry ochrany životního prostředí v průmyslu, Katedry chemie a Katedry fyzikální chemie a teorie technologických procesů vznikla nová Katedra chemie a fyzikálně-chemických procesů. Jejím vedením je pověřen prof. Ing. Bedřich Smetana, Ph.D. Splnutím Katedry metalurgie a slévárnictví a Katedry tváření materiálů vznikla nově Katedra metalurgických technologií, jejímž vedením je v současné době pověřena prof. Ing. Markéta Tkadlecková, Ph.D. Splnutím Katedry materiálového inženýrství a Katedry neželezných kovů, rafinace a recyklace vznikla Katedra materiálového inženýrství a recyklace, vedením je nyní pověřena doc. Ing. Petra Váňová, Ph.D. Poslední nová katedra - Katedra řízení průmyslových systémů, jejímž vedením je pověřena doc. Ing. Šárka Vilamová, Ph.D., - vznikla splnutím Katedry ekonomiky a managementu v průmyslu a Katedry automatizace a počítačové techniky v průmyslu.

FMT, která je svým zaměřením jedinečnou fakultou v rámci celé ČR, má v současné době 800 studentů a poskytuje všechny stupně vysokoškolského vzdělání. FMT je moderní vzdělávací institucí spojující atraktivní výuku a špičkový výzkum v materiálových, metalurgických, chemických, ekonomických a ekologických studijních programech se zaměřením na: technologie přípravy, zpracování a recyklace materiálů; materiálové inženýrství; nanomateriály a nanotechnologie; biomateriály a biomechaniku; chemické a environmentální technologie; management kvality; automatizaci v průmyslu; ekonomiku a management v průmyslu; tepelnou energetiku.

Medailonek prof. Kamily Janovské

Prof. Ing. Kamila Janovská, Ph.D. je absolventkou VŠB - Technické univerzity Ostrava, Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství (FMMI). Na FMT (dříve FMMI) působí jako zaměstnanec od roku 2001, nejdříve na pozici odborného asistenta, poté docenta a následně profesora (profesorské řízení v oboru Řízení průmyslových systémů v r. 2019) na Katedře ekonomiky a managementu v průmyslu. Od roku 2014 po dobu dvou funkčních období působila na FMT jako proděkanka pro pedagogickou činnost. V rámci vlastní pedagogické činnosti se věnuje výuce předmětů ekonomiky průmyslového podniku a manažerské ekonomiky. Její odborná činnost je zaměřena na oblast řízení průmyslových systémů.

Z odborných společností

Česká slévárenská společnost, z.s. (vznik, vývoj, současnost, budoucnost) část druhá: období od roku 1990

Ing. Ludvík Martínek, Ph.D. – ŽĐAS, a.s., a předseda ČSS, z.s.

Bc. Jarmila Malá – člen ČSS, z.s.

Mgr. František Urbánek – tajemník ČSS, z.s.

V této druhé části (první byla publikována v Hutnických listech v roce 2021) navazujeme na předcházející informace a pokračujeme přelomem let 1989–1990, označovaných jako Sametová revoluce. Tedy obdobím, ve kterém do našeho dění opět, tak, jako již mnohokrát v minulosti, zasáhla politika. Jsme sice již od data založení apolitickou organizací, ovšem poměrně „divoké“ dvacáté století mělo na Českou slévárenskou společnost (dále jen ČSS) markantní vliv, ostatně jako na celou naši zemi.

22. února 1990 byl do Brna svolán ustavující sjezd ČSS a novým předsedou byl zvolen doc. Ing. Igor Macášek, CSc. Místopředsedy se stali doc. Ing. Stanislav Hanzl, CSc. z ČVUT v Praze a Ing. Mikuláš Morávek ze ZŤS – UTAR v Košicích. Tajemníkem ČSS byla zvolena paní Jaroslava Kühnelová, která tak pokračovala ve své dosavadní práci.

Sluší se zde připomenout, že předsedou jedné z nově ustanovených odborných skupin pro terminologii byl zvolen náš současný tajemník Mgr. František Urbánek ze SVÚM – VSL v Brně, který 1. ledna 1996 nastoupil do funkce tajemníka po Jaroslavě Kühnelové.

Před rokem 1990, přesněji pak v období let 1978 – 1989, byla celá řada našich členů v ČSS pouze formálně a po roce 1989 mnoho z nich přestalo mít zájem o práci v naší společnosti. Pro ilustraci si pak dovolíme pouze několik málo údajů. Na jaře roku 1989 měla ČSS 6 604 členů a např. v roce 1993, po rozdělení našeho státu na Českou a Slovenskou republiku, bylo v ČSS evidováno 633 členů.

3. února 1993 proběhly v Praze bezprostředně po sobě dva sjezdy, protože byla potřeba ukončit činnost federálně uspořádané Slévárenské společnosti a ustavit dnešní ČSS. Na tomto ustavujícím sjezdu byl zvolen předsedou ČSS prof. Ing. Stanislav Hanzl, CSc. (* 17. 12. 1938 – † 14. 6. 1996), rektor ČVUT Praha.

Prof. Hanzl byl v roce 1991 jmenován profesorem pro obor strojírenské technologie. V lednu 1990 byl poprvé zvolen rektorem ČVUT, znovu pak v prosinci téhož roku a následně i v roce 1993. Tuto funkci zastával až do své předčasné smrti. Začátkem 90. let byl také předsedou České konference rektorů. Prof. Hanzl zemřel 14. června 1996 v Praze. Na jeho počest byla roku 1997 zřízena

Nadace profesora Stanislava Hanzla (v roce 1999 byla přejmenována na Nadační fond ČVUT Stanislava Hanzla), která podporuje české vysokoškolské studenty technických oborů. V roce 2016 bylo prof. Hanzlovi uděleno in memoriam Čestné občanství Prahy 6.

Na ustavujícím sjezdu 3. února 1993 proběhla také volba místopředsedů. Stali se jimi doc. Ing. Igor Macášek, CSc., a Ing. Tomáš Elbel, CSc., z Tatry Kopřivnice, a.s. Prof. Hanzl odstoupil z funkce předsedy naší společnosti v srpnu 1994, a to ze zdravotních důvodů. Novým předsedou se stal tehdejší místopředseda Ing. Tomáš Elbel, CSc. (* 11. 10. 1944). Stalo se tak na zasedání výkonného výboru 26. září 1994. Zvolením do této funkce ho pak potvrdila valná hromada ČSS 8. března 1995 v Brně.

Nově zvolený předseda naší společnosti ukončil studium v roce 1967 na Katedře slévárenství Hutnické fakulty VŠB v Ostravě a celý svůj odborný růst věnoval slévárenské branži. Působil ve slévárně Tatra, a.s., Kopřivnice, kde postupně zastával pozice od výzkumného pracovníka až po funkci generálního ředitele, tak i na dnešní VŠB-TU Ostrava, kde postupně habilitoval v řízení na docenta a později i na profesora, přičemž v roce 2002 se zde stal vedoucím Katedry slévárenství. Prof. Ing. Tomáš Elbel, CSc., byl předsedou naší společnosti od roku 1994 až do roku 2005. Ve funkci předsedy ČSS tak působil více než 10 let, a to až do volební valné hromady 10. března 2005 v Technickém muzeu v Brně, kde již na funkci předsedy nekandidoval.

Na této volební valné hromadě byl novým předsedou zvolen Ing. Jan Šlajs (* 27. 4. 1947). Studium na VUT v Brně ukončil v roce 1974. Po absolvování základní vojenské služby pracoval v podniku LIAZ, kde zastával funkci vedoucího TPV. V roce 1984 nastoupil do n.p. TRANSPORTA Chrudim do funkce hlavního metalurga a od roku 1989 pak vedoucího provozu. V roce 1990 založil soukromou firmu METOS (metalurgický technicko-obchodní servis, Chrudim) a tuto společnost společně se synem vede dodnes.

Prvním místopředsedou byl zvolen prof. Ing. Milan Horáček, CSc. (VUT v Brně, FSI, odbor slévárenství), druhým místopředsedou pak Ing. Jan Andres (ČKD Kutná Hora, a.s.) a členem předsednictva byl zvolen Ing. Václav

Krňávek (SIEMENS Elektromotory, s.r.o., závod Mohelnice).

Ing. Jan Šlajs byl předsedou naší společnosti až do roku 2013. Po jeho odstoupení z pracovních důvodů byl na volební valné hromadě novým a zatím posledním předsedou zvolen Ing. Ludvík Martínek, Ph.D.

Ing. Ludvík Martínek, Ph.D. (* 9. 9. 1953) ukončil inženýrské studium v roce 1984 a v roce 2005 pak doktorské studium na VŠB-TU Ostrava. V letech 1971 – 1975 pracoval jako tavič na EOP v SONP Kladno a roku 1975 byl zaměstnancem firmy ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou. Od 1. února 1990 pracoval v této firmě na pozici vedoucího provozu Elektroocelárna a ingotárna.

V příštím roce, tedy přesněji 23. ledna 2023, bude naše společnost slavit sté výročí od svého založení. Za tuto velmi dlouhou dobu prošla celou řadou „zlomových“ událostí úzce spjatých s osudy naší země. V průběhu těchto 100 let se na práci v naší ČSS podílela dlouhá řada renomovaných specialistů ve slévárenské branži. Velmi jsme zvažovali, jak toto období popsat, aniž bychom nevědomky nezapomněli na jména i osudy našich předních odborníků, kteří věnovali část svého pracovního života pro rozvoj naší společnosti. Nejsou to pouze předsedové ČSS, případně jejich zástupci i tajemníci, nejsou to pouze předsedové odborných komisí a oblastních organizací, je to skutečně nepřehledná řada příznivců našeho řemesla, která mnohdy za krajně nepříznivých okolností pracovala bez nároku na honoráře proto, aby naše společnost měla dobrý zvuk i patřičný kredit nejenom v naší zemi, ale i ve světové slévárenské organizaci WFO. O tom ostatně svědčí, jak již bylo dříve popsáno, i předsednictví našich zástupců ve WFO. Pouze připomínáme, že jimi byli jak pan prof. Dr. Mont. Ing. František Pišek, DrSc., tak i pánové prof. Ing. Karel Rusín, DrSc., a prof. Ing. Milan Horáček, CSc.

Prof. Pišek byl zvolen předsedou CIATF (dnešní WFO) poprvé na 9. mezinárodním sjezdu, který se uskutečnil ve dnech 9. – 16. září 1933 v Praze pro rok 1934. Podruhé pak na 24. mezinárodním sjezdu ve dnech 30. září – 2. října 1949 v Turčianském Sv. Martině a v Trenčianských Teplicích pro rok 1950.

Za připomenutí pak stojí skutečnost, že při první volbě našeho zástupce předsedou CIATF byli delegáti sjezdu přijati prezidentem republiky T. G. Masarykem, tak také to, že po druhé volbě prof. Piška předsedou – prezidentem – byla naše organizace v roce 1951 na doporučení tehdejšího ROH zrušena.

Prof. Rusín byl pak zvolen prezidentem WFO na 58. světovém slévárenském kongresu ve dnech 15. – 19. září 1991 v Krakově pro rok 1992, přičemž dále pracuje ve WFO jako past-prezident.

Prof. Horáček byl zvolen na 68. světovém slévárenském kongresu ve dnech 7. – 10. února 2008 v indickém Chennai prezidentem WFO pro rok 2009, přičemž také on dál pracuje ve Světové slévárenské organizaci jako past-prezident.

Prosíme o pochopení, že jak v první, tak i v druhé části informací o České slévárenské společnosti, z.s., zmiňujeme pouze naše čelní představitele. K úvaze pak dáváme možnost našim následovníkům vypracovat alespoň jmenný seznam všech členů – předsedů a jejich zástupců v jednotlivých komisích i oblastních organizacích od založení až do současnosti. Půjde o úkol náročný, a to jak časově, tak i obsahově. Pro rok 2022 platí následující aktuální seznamy:

Výkonný výbor

Ing. Ludvík Martínek, Ph.D., ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou – předseda

Ing. Vladimír Krutiš, Ph.D., VUT v Brně, FSI, Odbor slévárenství – 1. místopředseda

Ing. Martin Balcar, Ph.D., ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou – 2. místopředseda

Ing. Ivana Kroupová, Ph.D., VŠB – TU Ostrava, FMT – hospodárka

Ing. Bc. Barbora Bryksí Stunová, Ph.D., ČVUT Praha, FS, Ústav strojírenské technologie – členka předsednictva

Členové pléna

Ing. Jan Čech, Ph.D. – ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou

Ing. Pavel Fila, Ph.D. – ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou

Ing. Josef Havrda – Slévárna s.r.o., Nové Město nad Metují

Ing. Ivo Lána, Ph.D. – Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o.

doc. Ing. Petr Lichý, Ph.D. – VŠB – TU Ostrava, FMT

Ing. Milan Luňák – BENEŠ a LÁT a.s. Poříčany

doc. Ing. Antonín Mores, CSc. AGMA Praha, a.s.

Petr Rohrer – FORMSERVIS, spol. s.r.o. Brno

Ing. Jan Šlajs – METOS v.o.s. Chrudim

doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D. – VUT v Brně, FSI, Odbor slévárenství

Dozorčí rada

Ing. Zdeněk Ondráček, důchodce – předseda

Ing. Jan Kocian, UXA spol. s.r.o. Brno – místopředseda

Ing. Vítězslav Pernica, Ph.D. – VUT v Brně, FSI, odbor slévárenství – člen

Oblastní organizace středních Čech

doc. Ing. Milan Němec, CSc. – předseda

Oblastní organizace východočeského regionu

Ing. Ivo Lána, Ph.D. – předseda

Oblastní organizace severní Moravy a Slezska

doc. Ing. Petr Lichý, Ph.D. – předseda

Odborné komise

- 01 – OK pro formovací materiály
Ing. Jiří Pazderka – předseda
- 02 – OK pro litinu s lupínkovým grafitem
Ing. Marco Kyncl – předseda
- 03 – OK pro litinu s kuličkovým grafitem
doc. Ing. Antonín Mores, CSc. – předseda
- 04 – OK Výroba oceli na ingoty a odlitky
Ing. Martin Balcar, Ph.D. – předseda
- 05 – OK technologická
Ing. Vladimír Krutiš, Ph.D. – předseda
- 06 – OK pro lití pod tlakem
Ing. Václav Krňávek – předseda
- 07 – OK pro neželezné kovy
doc. Ing. Petr Lichý, Ph.D. – předseda
- 10 – OK pro životní prostředí
Ing. Vladimír Bláha – předseda
- 13 – OK pro historii a umělecké lití
Ing. Martin Mrázek, Ph.D. – předseda
- 14 – OK ekonomická
doc. Ing. Václav Kafka, CSc. – předseda
- 15 – OK pro informatiku a automatizaci
doc. Ing. Ivo Špička, Ph.D. – předseda

Rada starších sléváčů

doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc. – předseda

Jen tyto seznamy obsahují téměř 30 členů vedení naší společnosti, přičemž jednotlivé odborné komise jsou početně, pokud se týká jejich členů, značně rozdílné. V průměru v každé z nich pracuje 30 – 40 členů a mezi nimi je pak celá řada skutečně velmi renomovaných uznávaných specialistů ve slévárenské branži. Tyto informace pak jen dokreslují obtížnost úkolu, který čeká naše následovníky.

Současný stav i struktura ČSS již ani zdaleka nezahrnuje tisíce členů, tak jako před rokem 1990. Aktuálně máme zhruba 400 členů, ovšem jedná se o skutečné fandky našeho řemesla, tedy nikoliv pouze (tak jako v období od roku 1970 do roku 1993) o ty, kteří vidí svůj osobní prospěch v „členství“ u nás.

Výkonný výbor ČSS je oprávněn oceňovat práci členů (i nečlenů) společnosti v kategoriích:

1. Čestné členství
2. Medaile akademika Františka Píška
3. Medaile profesora Josefa Přibyla
4. Cena profesora Zdeňka Bůžka
5. Čestné uznání I. stupně
6. Čestné uznání II. stupně

7. Diplom

8. Děkovaný list

Tato ocenění mohou získat jak jednotlivci, tak i kolektivy.

V průběhu předcházejících takřka sta let prošla ČSS celou řadou změn, jistě je lze očekávat i v letech budoucích, ovšem je realitou, že máme na co navazovat. Jde především o odkaz našich předků, mnohdy pracujících v ilegalitě, a to nejenom v období od roku 1939 do roku 1945. Branže výroby tekuté fáze i následného odlévání, čistírenské operace včetně opracování byla, je i bude vždy ku prospěchu, a to nejenom majitelům firem.

S postupující robotizací i automatizací, uplatněním 3D tisku forem a jader, vazbou na umělou inteligenci, neuronové sítě i „nedostatek sléváčů“, nárůstem cen vstupních komodit včetně energií a podobně může být pro celou řadu producentů tekuté fáze i finálních odlitků likvidační anebo také příležitostí, jak uspět na velmi náročných trzích odlitků. I v naší branži platí klasické rčení: „Když chvíli stál – již stojí opodál“ anebo také: „Když některé slévárny chtějí spát – nechme je spát“. Osobně jsme přesvědčeni, že naše branže má celou řadu skutečně čelních specialistů v oboru, pracujících i v naší společnosti. To nám dává záruky pro léta budoucí. Naším cílem není „hrát“ si na vzájemnou konkurenci v zemi, naopak jako ČSS se snažíme podporovat a rozvíjet vzájemnou spolupráci výrobních firem s vysokými školami a výzkumnými organizacemi. To, že někteří producenti tekuté fáze i odlitků dnes již nejsou přítomni na trhu s tímto zbožím, není ani tak v důsledku špatné práce našich členů, je to takřka vždy otázka negativního rozhodnutí majitelů, případně i vrcholového vedení těchto firem. Vzpomeňme pouze příklady ČKD Praha, kladenských, plzeňských či ostravských producentů tekutého kovu i odlitků.

Za zdůraznění také stojí skutečnost, že naše společnost včetně odborných komisí a oblastních organizací pořádá každoročně celou řadu konferencí, seminářů, či „pouze“ pracovních jednání svých členů. Rozhodně nejznámější a zároveň nejdůležitější konferencí jsou Slévárenské dny, uskutečňované většinou v listopadu v Brně. Pouze připomínáme, že 1. slévárenské dny proběhly ve dnech 8. – 10. listopadu roku 1961 a zorganizoval je náš první předseda prof. Píšek. Ty prozatím poslední byly realizovány v roce 2021, a to také v Brně ve dnech 9. – 10. listopadu. Odborným garantem této naší největší konference je od roku 2011 doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc., a garantem organizačním doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

Velmi obtížně se nám hledá a určuje „pořadí“ nejdůležitějších konferencí, které pořádá ČSS a jejich odborné komise. Rozhodně nechceme v tomto polemizovat, a to s plným vědomím, že těchto konferencí je ročně organizována celá řada. Zřejmě nejznámější z nich ale bude Holečkova konference, kterou pořádáme každý druhý rok už od roku 2003. Konference je zaměřena na hliníkové slitiny a slévárenství těchto slitin. Pro rok 2022 připravujeme její 9. ročník.

Doc. Ing. Stanislav Holeček, CSc., se narodil 9. 7. 1937 v Letovech u Horažďovic. Po studiu na Vojenské technické akademii v Brně absolvoval v roce 1960 Vysokou školu chemicko-technologickou v Praze a zde pak pracoval jako odborný asistent na Katedře chemické technologie kovů. V roce 1968 získal vědeckou hodnost kandidáta technických věd v oboru chemická metalurgie a v roce 1984 byl jmenován docentem pro obor Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálů. Stal se renomovaným a vyhledávaným odborníkem v oblasti hliníkových slitin a jeho činnost v ČSS je nezapomenutelná.

Za zdůraznění pak stojí ještě jedna skutečnost. Nejdéle – nepřetržitě, tedy naprosto kontinuálně, pracuje jedna z našich odborných komisí 04 Výroba oceli na ingoty a odlitky, která se schází pravidelně 4× ročně. Jejím prvním (mnohdy i celé roky neoficiálně) předsedou byl doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc. První ustavující zasedání této OK 04 bylo ve Žďárských strojárnách a slévárnách (ŽĐAS) v srpnu roku 1968 a spolupředsedatelem byl metalurg ŽĐASu Ing. Radoslav Žabka.

V předcházejících pasážích, především ale pak v první části informací o ČSS publikovaných v loňském roce, byly zmíněny také informace o odborném časopise jako o hlavním zdroji informací o dění v naší branži. Pouze připomínáme, že náš první časopis pod názvem „Slévárenské zprávy“ začal vycházet pod vedením prof. Píška v roce 1938. V současné době získávají naši členové informace v publikaci, která zatím vychází pod názvem INFORMÁTOR. Tento titul bude s největší pravděpodobností od roku 2022 vydáván pod novým názvem „Slévárenské listy“, a to nejenom proto, že u mnoha čtenářů může slůvko „informátor“ vyvolávat celou řadu asociací, spojených například s velmi populární literární postavou naší knižní i filmové tvorby.

Pro roky následující je vhodné poohlédnout se alespoň na chvilku zpět. O to jsme se snažili právě touto formou, tedy první i druhou částí našich „několika vět“ s plným

vědomím, že naše minulost, tedy minulost takřka stoletá, je podpořena nejenom prací našich techniků, ale také odbornou i pracovní činností našich tavičů – operátorů – metalurgů, modelářů, písařů, formířů, zaměstnanců „cídíren“ odlitků i kovoobráběčů. Všem pak patří naše poděkování i přání, ať ve své činnosti pokračují, a to bez ohledu na politické dění v naší zemi, ostatně tak jako doposud. Ne vždy byla naše branže v „růžových dnech“, ovšem vždy našla cestu jak jít dál. Ano, je to cesta vzájemné úzké spolupráce s vysokými školami a výzkumnými ústavy, je to postupná, někdy rychlejší, jindy pomalejší reakce na změny v naší branži, využívání prvků inovací, modernizací, ale především je to snaha všech (nejenom členů naší ČSS) o její rozvoj. Jistě, můžeme kritizovat „turbulentní“ pohyb cen energií i surovin, nedostatek zaměstnanců, celosvětovou krizi finanční, energetickou i kovidovou, ovšem na toto se náš trh odlitků neptá. Nadarmo se neříká, že „Šťěstí přejí připraveným“. Držme se tohoto rčení, připomínejme si osudy i minulost našich členů a naší slévárenské společnosti, i to, jakým způsobem se také oni dokázali vypořádat za těch takřka sto let s nejednou krizí, mnohdy větší, než je ta současná. Věřme, že jsme schopni i tuto „turbulentní“ dobu úspěšně zvládnout a dál se rozvíjet.

Do let budoucích přejeme všem „naším slévačům“ stále a pevné zdraví, velkou míru optimizmu i přesvědčení, že je to pouze na nás, jakým směrem se budeme dále ubírat a v jakém stavu budeme předávat naši slévárenskou branži našim následovníkům.

Literatura

- [1] Kolektiv autorů: Almanach k 75. výročí založení Československého odborného slévárenského spolku, Česká slévárenská společnost, 1998
- [2] Původní příspěvek Ing. Jana Hučky z Almanachu k 75. výročí založení Československého odborného slévárenského spolku (1998) upravil a doplnil Mgr. František Urbánek

Firmám se daří

MLADÁ FRONTA DNES MS, 21.2.2022, s. 11

Rekordní rok, po dlouhé době ziskový, loni zaznamenali ve společnosti Vítkovice Steel.

„Máme za sebou úspěšný rok, přestože jeho závěr negativně ovlivnily vysoké ceny energií,“ komentoval hospodářský výsledek Radek Strouhal, generální ředitel Vítkovice Steel. „Provozní hospodářský výsledek EBITDA překročil 125 milionů korun. Pomohlo nám oživení poptávky i zefektivnění výrobních procesů.“ K rekordním platil loňský rok také v ostravské huti Liberty. Firma ale svůj hospodářský rok uzavře až v březnu. „V roce 2021 jsme dosáhli výroby 2,3 milionů tun oceli, což byl oproti covidovému roku 2020 nárůst o 600 tisíc tun,“ konstatovala mluvčí Liberty Barbora Černá Dvořáková.

Výstavy, veletrhy, konference

36. ročník tradičního jarního setkání ocelářů se uskutečnil v podhůří Beskyd.

Konference OCELÁŘI 2022 - Teorie a praxe výroby a zpracování oceli

Ve dnech 5. a 6. května 2022 se konal v Rožnově pod Radhoštěm v Hotelu Horal už 36. ročník odborné konference OCELÁŘI 2022 - Teorie a praxe výroby a zpracování oceli. Předchozí setkání se uskutečnilo v roce 2019, následná dvouletá přestávka byla způsobena opatřeními kvůli Covidu 19. Tematicky byla konference zaměřena na okruhy:

- Teoretické základy metalurgických procesů • Technologie výroby oceli v primárních agregátech • Zpracování oceli na zařízeních sekundární metalurgie • Problematika zvyšování čistoty oceli • Fyzikální a numerické modelování metalurgických pochodů • Odlévání oceli do kokil a na zařízení plynulého odlévání • Žárovzdorné materiály a vyzdívky metalurgických agregátů • Řešení ekonomických a ekologických problémů při výrobě oceli
- Možnosti zpracování druhotných surovin vznikajících při výrobě oceli • Průmysl 4.0

Konference se zúčastnilo 99 odborníků ze 41 firem a vysokých škol z České republiky, Slovenska, Polska a Itálie.



„Tradiční jarní setkání ocelářů se uskutečnilo opět v Rožnově pod Radhoštěm, v podhůří Beskyd. Účastníci si mohli vyslechnout 19 odborných přednášek, sdílet odborné znalosti a v přátelské atmosféře společně debatovat a relaxovat v rámci společenského večera,“ říká Ing. Tasilo Prnka z pořádatelství společnosti TANGER spol. s r.o.

Letošní konference se uskutečnila už bohužel bez účasti doc. Ing. Václava Kafky, CSc., který odešel v dubnu ve věku nedožitých osmdesát let. Na konferenci mu byla věnována vzpomínka a minuta ticha.

Došlo také ke změně odborného garanta konference. Po mnoho let jím byl prof. Ing. Jiří Bažan, CSc., který se rozhodl činnost ukončit a předat ji mladým, perspektivním odborníkům. Hlavní garantkou konference se od letošního ročníku stala prof. Ing. Markéta Tkadlecká, Ph.D. z Fakulty materiálů-technologické VŠB-TU Ostrava. Prof. Ing. Jiřímu Bažanovi, CSc. účastníci konference poděkovali za dlouholetou spolupráci a odborné znalosti, kterými ocelářská setkání dlouhá léta obohacoval.



Poděkování patří také autorům přednášek, účastníkům konference a samozřejmě také všem sponzorům a vystavovatelům: ŽDAS, a.s., HOBRA-Školník s.r.o., Carl Zeiss spol. s r.o., TRITEM s.r.o., Advanced Carbon Technology s.r.o., Promat s.r.o., 4dot Mechatronic Systems s.r.o.

Text: Tasilo Prnka, Jaroslav Pindor -



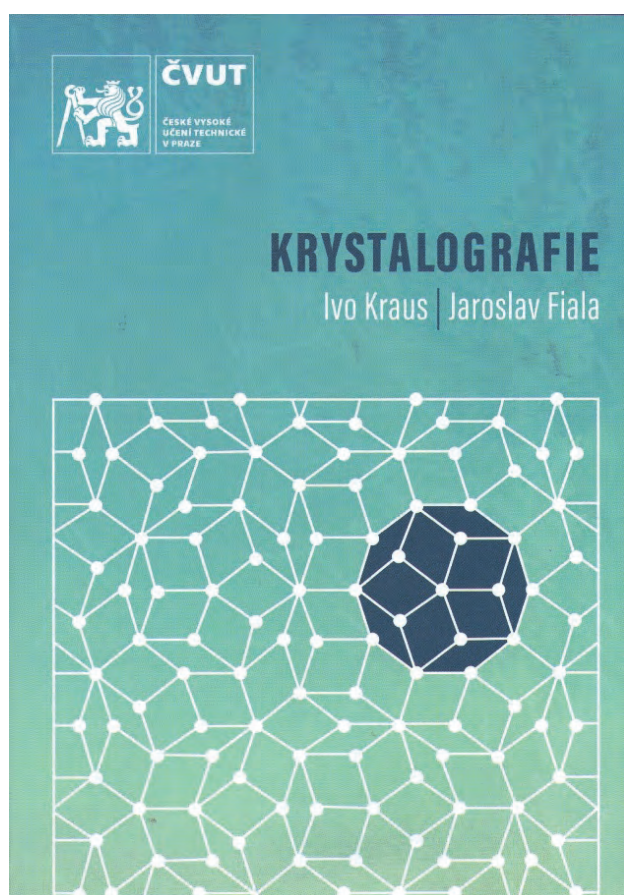
foto: archiv

Nová literatura

Ivo Kraus, Jaroslav Fiala

Krystalografie

(Recenze prof. Ing. Petr Louda, CSc.)



Monografie „Krystalografie“ autorů prof. RNDr. Ivo Krause, DrSc., FEng., dr.h.c. a prof. RNDr. Jaroslava Fialy, CSc., FEng. dává čtenáři nahlédnout do nanosvětla fyziky pevné fáze. Publikaci, která má rozsah 392 stran, vydalo nakladatelství ČVUT v Praze – Česká technika v roce 2021 (ISBN 978-80-01-06868-7).

Krystalografie se zabývá uspořádáním atomů v pevných látkách. Jen díky tomuto uspořádání můžeme totiž o kondenzovaném agregátu 10^{23} entit něco říci. Většina

krystalických látek je polykrystalickým agregátem, složeným z mnoha různě velkých a různě vzájemně orientovaných krystalitů.

Autoři ve své knize prezentují čtenářské obci náhled do atomárního uspořádání světa kolem nás. Krystalografie je představena jako jedna ze základních věd materiálového inženýrství. Na 390 stranách nám monografie popisuje zákonitosti stavby ideálních krystalů i jejich reálných forem. Uspořádání atomů v pevné fázi je základním prvkem chování materiálů v makrořezích, a tudíž pochopení jeho zákonitostí a procesů stavby je nezbytnou podmínkou pro ovlivňování fyzikálních, mechanických, chemických a biologických vlastností pevných látek.

Kniha srozumitelnou a čtivou formou seznamuje se základními pojmy v oboru krystalografie, jako jsou např. prvky souměrnosti, krystalové tvary, bodové a prostorové grupy, krystalové mřížky aj. Publikace také popisuje difrakční experimentální metody, které jsou důležitým experimentálním nástrojem studia fyziky pevné fáze. Představeny jsou také méně známé oblasti krystalografie, jako jsou parakrystaly, kapalně krystaly nebo kvazikrystaly.

Kniha má tři hlavní části. První z nich pojednává o dokonalém uspořádání krystalů. Je to však pouze ideál. V reálném materiálu něco takového neexistuje. Takovou situaci lze pojímat jen exaktně. V další části jsou popsány reálné pevné látky, které určitý pořádek ve struktuře sice mají, ale není to uspořádání dokonalé. Ve třetí části kniha představuje osobnosti, které se o poznání světa krystalů nejvíce zasloužily. Tato část je věnována dějinám krystalografie, životním osudům přírodovědců a filozofů, kteří tento vědní obor budovali, a přehledu Nobelových cen udělených za práce, v nichž věda o krystalech hrála rozhodující roli. Zde lze připomenout snad jednu z prvních prací orientovaných na mineralogii – traktát „Peri lithón“ od řeckého autora athénské filozofické školy Theofrastose z doby 372 – 287 př. Kr.

Společenská kronika

Opustil nás doc. Ing. Václav Kafka, CSc.

Dne 26. 4. 2022 zemřel doc. Ing. Václav Kafka, CSc. Hutnická komunita tak ztratila zapáleného odborníka v oboru ekonomiky a řízení procesů v hutnictví a slévárenství.

Doc. Kafka se narodil dne 14. 10. 1942. Pochází s Českomoravské vrchoviny, kde ve městě Velké Meziříčí absolvoval středoškolské studium ukončené maturitní zkouškou. Vysokoškolské studium absolvoval na Hutnické fakultě Vysoké školy báňské v Ostravě. Zde studoval obor černé metalurgie a současně i obor organizace a řízení hutnictví a toto studium ukončil v roce 1965. V té době totiž byla na Hutnické fakultě vytvořena ve studijních ročnících skupina zaměřená na souběžné technologické i ekonomické studium. Při vzpomínkách na studijní léta doc. Kafka nikdy neopominul zdůraznit význam prof. Zdeňka Bůžka, který se ujal vedení takové skupiny, do níž doc. Kafka patřil, přičemž vždy vyzdvihl vzácný osobní příklad a vzor, kterým prof. Bůžek působil na všechny svěřené studenty. Na poctivém postoji doc. Kafky ke studiu a seznamování s oborovými novinkami, k odborné práci, aplikaci teoretických poznatků do praxe a nakonec i k vedení studentů a doktorandů, kteří později byli svěřeni pod jeho odborné vedení, byl vidět dobrý vliv prof. Bůžka. Doc. Kafka ukončil vědeckou aspiranturu na VŠB v Ostravě v roce 1969. Avšak z politických důvodů, které byly podle vládnoucí garnitury v té době neslučitelné s osobním růstem nadaných techniků, nebyl připuštěn k obhajobě. Svou disertační práci obhájil až v roce 1990. Následně se na stejné škole habilitoval a dosáhl titulu docent.

Doc. Kafka většinu svého pracovního života věnoval Vítkovickým železárnám. Zde v roce 1969 nastoupil do Technického odboru, kde se věnoval problematice rozvoje oceláren a se zvláštním zájmem se věnoval problematice elektrických obloukových pecí ve Staré ocelárně. V té době měl velké štěstí na spolupracovníky, mezi něž patřil vzpomínaný prof. Bůžek, který z politických důvodů musel odejít z VŠB. Ve Staré ocelárně se pod vedením osvědčeného vedoucího provozu Ing. Josefa Brábníka vytvořil skvělý pracovní kolektiv



složený z vítkovických i externích pracovníků, kam doc. Kafka rovněž patřil. Cenné zkušenosti získané v této etapě zaměstnání zúročil doc. Kafka i dále v době svého samostatného působení ve výchově a výcviku studentů a doktorandů. V roce 1990 přešel ve Vítkovických železárnách na funkci finančního ředitele ve Výzkumném ústavu metalurgickém. Od roku 1998 pracoval již samostatně a věnoval se technicko-ekonomické problematice oceláren a sléváren, a to především se zaměřením na řešení nákladových modelů a jejich dopadů na efektivitu technologických procesů a racionalizaci pracovních postupů. Výsledky těchto svých prací prezentoval asi v 500 publikacích různého rozsahu a v přednáškách na konferencích

a seminářích. Počátkem 90. let minulého století byl členem týmu, který připravoval podklady v oblasti hutnictví pro vstup ČR do EU.

Doc. Kafka by zapálený hutnický odborník. Do vědomostního hutnického koše přispíval kromě prezentace svých výsledků i organizátorskými aktivitami. Po dobu 20 let byl předsedou odborné komise ekonomické České slévárenské společnosti. V této funkci přispěl ke konání pravidelných setkání odborníků z oceláren a sléváren, kdy tato setkání byla příležitostí k tomu, aby se vyměňovaly zkušenosti a vědomosti výzkumníků, vědeckých pracovníků, techniků i pracovníků z provozu vč. mistrů. Neopominutelnou zásluhu měl také na tom, že v rámci řešení různých praktických projektů vedl několik doktorandů, kteří tak měli možnost vstoupit zprostředkovaně do praxe.

Jestliže člověk v sobě nachází energii k angažovanosti ve svém oboru, dovede se jako uvědomělý občan také angažovat společensky. To byl také případ doc. Kafky. Více než 50 let se v místě bydliště, ve městě Orlová, věnoval spolkové činnosti. Od Sametové revoluce pracoval v místní samosprávě jako zastupitel a dokonce i v radě města. Téměř do posledních dnů svého života se angažoval do pravidelných společenských setkání svého bývalého studijního ročníku z VŠB. Pro letošní rok připravoval

val jubilejní ročníkový sraz ve znamení 80 let věku většiny spolužáků. Tuto přípravu však již, bohužel, nedokončil. Zajisté mu budou vděční ti jeho spolužáci, kterým pomáhal na jejich zahradách svými zahradnickými dovednostmi.

Autor této vzpomínky na doc. Kafku velmi oceňuje jeho časté přispívání do obsahu Hutnických listů. Doc. Kafka zde publikoval nejen několik odborných článků, ale také četné zprávy z činnosti České slévárenské společnosti nebo odborné komise ekonomické, kterou vedl. V Hutnických listech také inicioval publikace z bankovní sféry nebo ze vzpomínek významných zahraničních

manažerů, jejichž studijní počátky se vážou k VŠB v Ostravě.

Drahý Václave, budou na Tebe vzpomínat Tví spolupracovníci, přátelé a kamarádi, spolužáci, studenti, které jsi vedl i redakce Hutnických listů.

Čest Tvé památce. Zdař Bůh!

*Ing. Jan Počta, CSc.
technický redaktor Hutnických listů*

Odešel náš spolupracovník Oldřich Němec



Ve věku 63 let nás 1. února 2022 opustil náš redakční kolega Oldřich Němec. Spolupracoval s naším časopisem od roku 2018, kdy jsme reorganizovali webové stránky a pan Němec nám s jejich novou tváří nesmírně pomohl. Bylo vidět, že ho práce na našem webu skutečně bavila a naplňovala, ostatně, měl s tvorbou webových stran své dlouholeté zkušenosti, tvořil je nejen pro nás, ale také mimo jiné pro obec Lubojaty, kde bydlel, pro Pekárnu Illík a pro další subjekty. Vážil si této kreativní činnosti o to více, že byl od roku 1997 po vážném úrazu na kole ochrnutý a upoután na invalidní vozík. Přesto byl pohyblivější a zdatnější než kdejaký zdravý člověk. Pokud mu to počasí dovolilo, denně vyjížděl na svém ručním kole, které místo nohou popoháněl jen svými rukama, desítky kilometrů. Třeba i do vzdálenějších cílů v Beskydech. Nejčastěji jste ho však mohli potkat v okolí Bílovce, jak šlape se svým „ručním“ pohonem do místních kopců. Jeho vůle a vitalita byla vskutku obdivuhodná. Do poslední chvíle věřil, že na svém kole zase vyjede. Závažná nemoc však byla silnější, a tak se tentokrát Oldřich Němec vydal na úplně jinou cestu, ze které už není návratu. Ale jeho odkaz a vzpomínka na obdivuhodného silného člověka tady zůstává...

Čest jeho památce!

Kolektiv redakce Hutnických listů

Představujeme vám ...

„Ani světská moc, ani bohatství – jen žezlo vědy překoná věky,“

říká Prof. Ing. František Kavička, CSc., pro kterého se citát Tycho de Brahe stal celoživotním pracovním krédem.

Jméno profesora Františka Kavičky neodmyslitelně patří k časopisu Hutnické listy. A jak by také ne, vždyť první materiál do našeho časopisu napsal už před čtyřiceti lety. A posléze přibýly desítky dalších článků a recenzí, které jsou vždy zárukou výzkumné a vědecké profesionality. Dnešní příspěvek je však úplně jiný, není od profesora Kavičky, ale o něm. O jeho cestě k technickému vzdělání, o výzkumné činnosti, o pedagogických zkušenostech, ale také o jeho lidských názorech a zálibách. Zkrátka, představujeme Vám jednoho z našich nejvýznamnějších spolupracovníků...

Pane profesore, co ovlivnilo vaše rozhodnutí studovat právě technický obor?

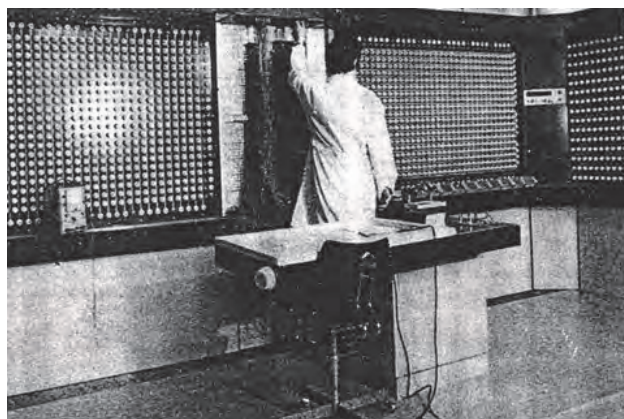
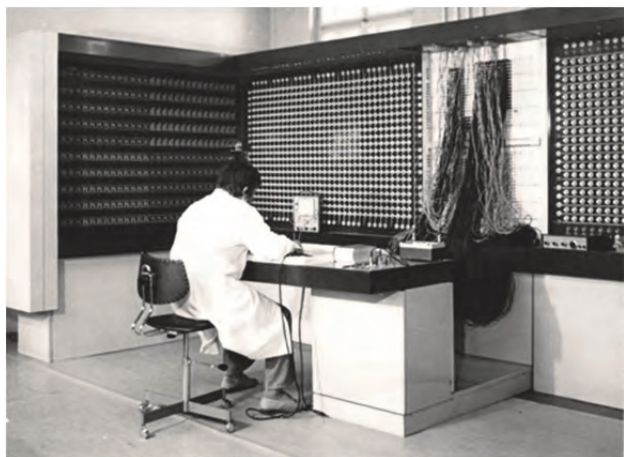
„Má cesta k technickému vzdělání byla za komunistického režimu velmi komplikovaná. Povinnou školní docházku jsem totiž končil ve zvláště represivním roce 1953 jako žák 3. třídy měšťanské školy, alias jako žák 8. třídy právě uzákoněné jednotné základní školy. I když jsem měl výborný prospěch, studovat střední školu nebo vyučit se v jakémkoliv učebním oboru mi bylo úředně zakázáno, a to nejen kvůli tomu, že otec byl advokát, ale především kvůli mému staršímu bratrovi, který byl jako středoškolák označen za jednoho z hlavních organizátorů protikomunistické demonstrace na náměstí v Prostějově v dubnu 1953 po nočním tajném odstranění sochy TGM a byl vyloučen ze všech škol. Jen proto, že nebyl plnoletý, nebyl uvězněn. A mě čekalo dvouleté období stavebního dělníka, a to kopání kanálů. Ve čtrnácti letech jsem nechápal oficiální zdůvodnění, proč se jako syn z „buržoazní a k režimu nepřátelské rodiny“ musím před nástupem na střední školu napřed sžít s dělnickou třídou. Vnímám to jako nesmírné příkoří. Po těchto dvou ztracených letech jsem se s velkou dávkou štěstí dostal na Jedenáctiletou střední školu v Brně, takže v jiném kraji, kam pověst rodiny nesahala. Ředitel školy mě po jejím absolvování mohl s mým kádrovým profilem, byť jako výborného maturanta, doporučit jen na vysokou školu technického směru. Mým snem totiž tehdy bylo studium na lékařské fakultě. Vzhledem k mé, i když jen manuální praxi ve stavebnictví, jsem si podal přihlášku na stavební fakultu. Tam jsem však s mým posudkem přijat nebyl. Mohl jsem však neprodleně nastoupit ke studiu na právě obnovenou fakultu strojní, která měla studentů nedostatek.



A to byl také začátek vaší cesty k výzkumné činnosti...

Dá se to tak říct. Od třetího ročníku jsem pracoval na katedře termomechaniky jako pomocná vědecká síla a s profesorem Hlouškem jsem se již jako student podílel na výzkumných projektech, které se řešily ve spolupráci se Státním výzkumným ústavem materiálu, pobočkou pro výzkum slévárenství. Studium fakulty strojní jsem ukončil s červeným diplomem jako absolvent teoretického oboru a bezprostředně poté jsem v roce 1963 nastoupil na strojní fakultu jako asistent na umístěnkou ministerstva školství. Opět z politických důvodů jsem však po čtyřech letech musel z fakulty odejít. Měl jsem to štěstí, že jsem mohl nastoupit do zmíněného výzkumného ústavu. Mým úkolem bylo vypracovat model gravitačního odlévání odlitků do kovových nebo pískových forem s cílem tyto procesy optimalizovat, respektive řídit. To se současně stalo tématem mé disertační práce, když jsem byl po přijímací zkoušce v roce 1967 přijat k externímu studiu aspirantury-dnešního doktorandského studia. Pustil jsem se do rozsáhlé literární rešerše a mimo jiné se seznámil

s pracemi Nikolaje Chvorinova, který po Říjnové revoluci v roce 1917 emigroval do Československa. Z provedené rešerše, shrnuté do práce k tzv. aspirantskému minimu, podané v roce 1968, vyplynulo doporučit vedení ústavu postavit elektrický Liebmannův analogon. Při tehdejší naprosté nedostupnosti digitálních počítačů to byla jediná cesta, jak zadaný úkol vyřešit.



Liebmannův analogon R-R

A podařilo se?

V roce 1970 byla stavba analogonu R-R podle převzaté dokumentace dokončena. O rok později jsem již zveřejnil výsledky prvních modelování teplotních polí, ověřených experimenty, které se pod mým vedením prováděly ve slévárně výzkumného ústavu. Popis významné shody modelování a měření byl pak obsahem mé disertační práce *Příspěvek k řešení teplotního pole odlitku a formy při tuhnutí*, kterou jsem obhájil v roce 1972. Od té doby jsem se nepřetržitě systematicky věnoval a stále ještě věnuji prosazování nejprve analogových, později numerických metod řešení nestacionárních teplotních polí v technologických procesech včetně simulace skupenských tepel fázových nebo strukturálních přeměn, především v hutnictví a slévárenství kovových nebo keramických materiálů, a to při jejich tuhnutí, chladnutí, respektive ohřevu nebo tepelném zpracování. Jako první a jediný v republice jsem provedl simulaci technologických procesů analogovým modelem a jako první v republice

jsem uskutečnil tuto simulaci i numerickým modelem. Jakmile se totiž naskytla možnost získat digitální počítač, vybudoval jsem v roce 1977 ve výzkumném ústavu na tehdejší dobu moderní výpočetní středisko vybavené interaktivní grafickou stanicí IGS 4720, která postupně nahrazovala laboratoř analogovou. Její součástí byl 16bitový digitální minipočítač ADT československé výroby. Výzkumný ústav byl tak ve své době jediným pracovištěm v republice, které řešilo modelování nestacionárních teplotních polí technologických procesů, a to dvourozměrně i třírozměrně. Tyto modely byly první svého druhu i z pohledu mezinárodního. Na stanici IGS 4720 jsem v r. 1980 mimo jiné sestavil první numerický model teplotního pole pro plynulé odlévání v ČSSR, a to ocelového předlitku profilu 200×200 mm pro Železiarne Podbrezová.

To musela být náročná práce, když všechny parametry elektrického pole se musely nastavovat ručně...

Ano, velkou nevýhodou analogonu byla zdoluhavost modelování. Analogová metoda mně však na druhé straně pomáhala pronikat do samé fyzikální podstaty přeměny fází a struktur, protože na analogonu jsem vlastně celé hodiny prováděl fyzikální pokus. Například uvolňování skupenských tepel strukturálních i fázových přeměn v kJ/kg se na analogonu simulovalo přívodem elektrického proudu v A/kg, stanoveného přepočtem. Díky tomu jsem tak například objevil *kritérium teplotní prodlevy*. Numerický model přeměny fází v tomto ohledu fyzikální model -analogon- nemůže nahradit. Při simulaci teplotního pole odlitku pro Žďárské strojírny analogon například avizoval, že některé již ztuhlé povrchové vrstvy se znovu natavily. Technolog strojíren upozornil, že tento můj poznatek vysvětluje, proč se ve stejných povrchových vrstvách tuhnoucího reálného odlitku vyskytují nežádoucí vady, nazvané továrním slangem „šlírý“. Tento detail by numerický model neodhalil. Numerický model je však rychlejší než analogový, v dnešní době díky moderním počítačům i rozvoji numerických metod může být i rychlejší než reálný děj. V roce 1977 rychlost procesoru minipočítače ve stanici IGS však byla ještě malá. Proto k analogovému a později numerickému řešení teplotních polí byly vybírány unikátní a zajímavé technologické procesy, objekty a soustavy odlitek-forma-okolí. Nebo objekty, jejichž životnost závisela na utváření jejich teplotního pole. Proto byl analogon výzkumného ústavu například použit na predikci teplotního pole celé řady ocelářských kokil ostravské aglomerace. Jejich konstruktéři bez této modelem podložené predikce již nevystačili pouze se svými konstrukčními zkušenostmi. Životnost kokil se žádala totiž stále vyšší vzhledem k naší pochybné světové prioritě v tunách vyrobené oceli na hlavu a byla v extrémních případech sledována i pracovníky státní bezpečnosti. Stejně tak byla například StB sledována úspěšnost odlévání ozubeného kola velké hmotnosti o průměru 3200 mm přímo do podlahy hutě Škody Plzeň, pro jejíž technology jsme předem vypočetli

průběh tuhnutí po navržených úpravách technologie. Kvalitní průběh tepelného zpracování tankové kopule, jejíž teplotní pole jsem při procesu tepelného zpracování vypočetl, byl střezěn navíc sovětským komisařem, který trvale sídlil přímo ve výrobním slovenském závodu v Martině, z jehož bran vyjížděly dokončené a komisařem kontrolované tanky. Za významné lze též považovat výpočtové posouzení dvou technologií výroby lopaty rotoru Kaplanovy turbíny velké hmotnosti pro Gabčíkovo, která byla odlévána také ve Škodě Plzeň.

A jakých výsledků jste si v té době nejvíce cenil vy osobně?

Nejvíce jsem si vážil výsledků řešení, které mohly pomoci mým kolegům technologům v provozu, aby si byli jistější v návrzích svých postupů a opatření, a tím jistější i před případnými represemi. S tímto cílem jsem se svými spolupracovníky modeloval utváření teplotního pole při nejrůznějších běžných ale i méně běžných technologických procesech, jako je například tlakové lití. Jedním z častých objednatelů řešení teplotních polí byla tedy Škoda Plzeň, která si naše řešení nechala svého času ověřit ve výpočetní laboratoři firmy HITACHI renomovaného profesora Niyamy v Japonsku, protože ověření na jiném pracovišti v tehdejší ČSSR nebylo možné. Výsledky obou simulací byly prakticky shodné, tím brněnský model získal především v tuzemsku vysokou prestiž. Naopak jsme při této konfrontaci dokázali, že tvar vnější staženiny při tuhnutí zvládneme naším modelem predikovat přesněji než japonští kolegové.

Ve výzkumné práci jste byl naplno vytížený a úspěšný, ale nechyběla Vám v té době pedagogická činnost?

Chyběla. Proto jsem již v roce 1975 předložil jako externí učitel habilitační práci, chtěl jsem se na fakultu vrátit. Z politických důvodů však bylo již zahájené habilitační řízení zastaveno. I když jsem nikdy nebyl politicky organizován, bezprostředním důvodem zásahu orgánu KSČ do habilitačního řízení byla emigrace mé sestry v roce 1969. Od té doby jsem byl systematicky sledován státní bezpečností a pravidelně předvoláván k výslechům. Bylo proto revidováno i mé dosavadní působení externího učitele na mé oblíbené Alma Mater a s okamžitou platností mi byla externí pedagogická činnost na čtrnáct let zakázána. V únoru 1990 jsem požádal etickou komisi FS o politickou rehabilitaci cestou obnovy habilitačního řízení z roku 1975 a po úspěšné habilitaci v roce 1990, během níž jsem předložil a obhájil habilitační práci „*Příspěvek k řešení sdílení tepla při tuhnutí ingotů v kovových formách*“, jsem v září téhož roku nastoupil na katedru termomechaniky VUT FS Brně jako docent.

V roce 1991 jsem obhájil před komisí VUT vědecký kvalifikační stupeň I titulu CSc. Po návratu na fakultu jsem se s plnou intenzitou vrátil i ke své oblíbené činnosti pedagogické. V roce 1993 jsem se stal vedoucím katedry

termomechaniky a jaderné energetiky. Stal jsem se též členem akademického senátu. V rámci reorganizace fakulty spojené se vznikem ústavů na FSI Brno, se katedra transformovala na odbor termomechaniky a techniky prostředí, když jsem v průběhu tohoto procesu navrhl a úspěšně obhájil před vědeckou radou fakulty vznik nového studijního oboru Technika prostředí. Zasloužil jsem se tak o akreditaci tohoto nového oboru magisterského studia, který náš odbor zajišťuje a o který je mezi studenty trvalý zájem.

Vaše badatelská i výzkumná činnost se stala současně i vaším celoživotním koníčkem...

Máte pravdu, organicky zasahovala a zasahuje i do mého života osobního. Je to paradoxní, že jsem se k této zajímavé tematice, která mě celého pohltila, netradičně dostal v důsledku politického pronásledování. Jsem tomu velice rád, to však ani v nejmenším nemůže zmírnit mou zásadní kritiku zvrácenosti minulého totalitního režimu.

Mé vědecko-výzkumné aktivity byly po návratu na fakultu ještě intenzivnější, protože obhajováním jejich výsledků jsem mohl navíc získat nejen zmíněný nejvyšší stupeň vědecké hodnosti, ale v roce 1995 i jmenování profesorem. Na fakultě jsem navíc mohl rychleji najít erudované spolupracovníky pro řešení mé oblíbené problematiky, což se také stalo. Vznikl pětičlenný řešitelský tým, který je stále aktivní, a který již několik posledních roků vede profesor Štětina. Toho jsem před léty ke spolupráci získal jako prvního, jeho disertace, habilitace i profesura byly zaměřeny především na teplotní pole plynule odlévaných předlitků pro různé tuzemské i zahraniční výrobce.

K řešení úloh základního výzkumu mě ve výzkumném ústavu i na fakultě přivedla spolupráce s ČSAV, Ústavem termomechaniky a Ústavem fyzikální metalurgie. Jejich ředitelé, profesori Píchal a Ryš, byli později shodou okolností členy komise hodnotící mé vědecké, odborné a pedagogické schopnosti při profesorské inauguraci. Jedním z teoretických zadání, která jsem řešil, byla analýza teplotního pole při krystalizaci čistého hliníku. Původním záměrem řešení bylo za pomoci výpočtu teplotního pole krystalizujícího hliníkového ingotu odlévaného do různě předehtřivané kokily předpovídat v součinnosti se simultánním experimentálním měřením charakter primární krystalizace. Objevil jsem však již zmíněné *kritérium teplotní prodlevy*, pomocí kterého lze lící makrostrukturu předvídat nebo řídit bez potřeby provést náročné experimenty. Poznatky získané při krystalizaci 99,99 % Al, navíc i při odlévání do nekovové formy, jsem chtěl ověřit i u jiných čistých kovů a ověření případně rozšířit na exponované slitiny tuhnoucí v intervalu teplot. Mám velké osobní přání, aby k tomuto ověření brzy došlo. Bylo to i velkým přáním profesora Stránského, kterého toto kritérium velice zaujalo. Jeho jméno mně připomnělo zmínit, že můj návrat z výzkumného ústavu na fakultu v roce 1990 byl totiž velice motivován také nadějí, že budu moci na fakultě s profesorem Stránským spolupracovat a že se mi tím

současné naskytne možnost aktivně spolupracovat s Vysokou školou báňskou, jmenovitě s profesorkou Dobrovskou, blízkou spolupracovnicí profesora Stránského. Ke spolupráci na problému shora zmíněné krystalizace bohužel nedošlo, avšak rozšíření dosavadního řešitelského týmu o oba jmenované se k mé velké radosti uskutečnilo. Vznikl tak tým s vysoce odborným, vědeckým i společenským potenciálem. A navíc, vzniklo mezi námi také silné přátelské pouto, kterého si nesmírně vážím.



S profesory Stránským a Dobrovskou v Brně, 2016

A čemu konkrétně se váš tým věnoval?

Především aktuálnímu požadavku na optimalizaci plynulého odlévání, kterému se po listopadu 89 začala u odborné veřejnosti právem věnovat zvýšená pozornost. Ve Vítkovických i Třineckých železárnách byla uvedena do provozu nová zařízení pro plynulé odlévání oceli. Já jsem se s původní výzkumnou skupinou soustředil na tvorbu a rozvoj numerického modelu teplotního pole plynulého odlévání předlitky, ve Vítkovicích obdélníkového profilu (bramy) a v Třinci čtvercového profilu (sochoru). Profesori Stránský a Dobrovská zase sestavili pro oba provozní model chemické heterogenity odlévaného předlitky, který se stal nadstavbou modelu teplotního. Oba modely pro oba profily byly po svém

experimentálním ověřením též velice úspěšné při aplikaci na modelování teplotního pole a pole heterogenity nejen pro potřeby obou ocelářských provozů, ale také při výrobě tehdy v republice jediného odlévaného keramického materiálu EUCOR. Byl jsem spoluautorem a koordinátorem souhrnných čtyř článků, které s tematikou plynulého odlévání ocelových bram vyšly před pěti lety ve speciálním vydání Hutnických listů a ve stejném ročníku vyšly také tři souhrnné články s tematikou plynulého odlévání ocelových sochorů. Tato řešení vykazovala vesměs nejen významný technický přínos, ale mnohé, a to především z hutní problematiky, výrazný přínos ekonomický úsporami materiálů a energií, a tím i sekundárně přínos ekologický, zvýšenou šetrností k okolí hutních a slévarenských provozů.

Jste autorem nebo spoluautorem čtyř ověřených technologií a jednoho patentu...

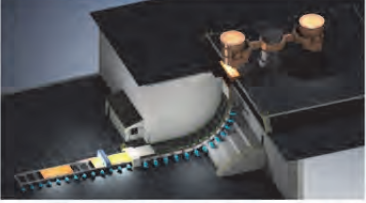
Konkrétně Dynamického modelu řízení technologie pro plynulé odlévání sochorů, On-line modelu pro řízení teplotního pole plynule odlévaných bram, Numerické optimalizace chlazení gravitačně litých hmotných odlitků z tvárné litiny a Numerické optimalizace lití keramického materiálu EUCOR. Patent se týkal nového způsobu umístění kokil na licím vozu.



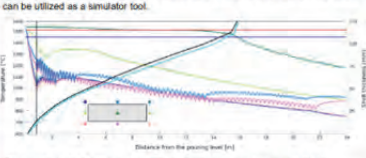
Brno Dynamic Solidification Models ®

Continuous casting process of steel cannot be in these days controlled without the use of mathematical models, computer simulations and advanced control and optimization methods. The proposed dynamic solidification model allows for real-time simulations of heat transfer and solidification of continuously cast steel slabs and billets. The model can also be coupled with optimization modules for the effective and appropriate control and regulation of casting.

SPECIFICATION AND USE



The proposed numerical model of temperature field for continuously cast strands provides a fully 3D prediction of the temperature distribution for slabs or billets of an arbitrary cross-section. The dynamic model iteratively solves transient heat transfer and solidification of the entire strand as it passes through the casting machine. The model is available in two versions: on-line version, which is usually integrated in the control system of steelworks and runs in real time, and off-line version, which can be utilized as a simulator tool.



Temperature (°C) vs. Distance from the pouring point (m)

• Temperature distribution and solidification parameters along a cast slab.

An integration of the model to the control system of steelworks allows for the casting parameters monitoring, data storage and their long-term analysis, parametric studies, etc. The use of the model can be extended by means of its coupling with the optimization module to determine optimal casting parameters, appropriate control reactions in case of breakdown situations, casting machine modifications, etc.

CONTACT

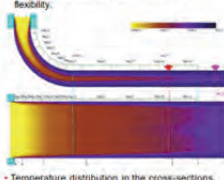
prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
Email: josef.stetina@vutbr.cz
Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology
Technická 2896/2, Brno 602 00, Czech Republic
www.continuouscasting.info

OFFERED SERVICES

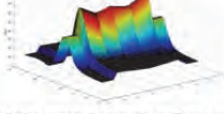
- Analyses and studies of the current state in steel works including operational measurements.
- Optimization of the control system for continuous steel casting with an emphasis to secondary cooling, optimization of cooling curves and cooling strategies, design of cooling system of the casting machine.
- Dynamic model implementation (on-line version), optimal cooling control.
- Development of quality and prediction systems.

OUTCOMES AND BENEFITS

- Reduction of an occurrence of defects due to reheating.
- Control of the surface temperature between 950 °C and 1050 °C in the area of unbending.
- Improvement of the structure of cast steel.
- Increase of the casting productivity and flexibility.



Temperature distribution in the cross-sections.



Cooling intensity (heat transfer coefficient, be reath) a cooling nozzle determined experimentally by means of the hot plate method.



OUTCOMES AND BENEFITS

- Increase of the casting productivity by means of maximization of the casting speed.
- Optimal control in case of dynamic changes of casting conditions.
- Achievement of high strand surface quality by means of precise of governing the surface temperature in specified ranges.
- Determination of optimal cooling curves (relationships between the casting speed, cooling intensity and pouring temperature).
- Reduction of an occurrence of interior defects by means of the control of metallurgical length.
- Real-time decision making in case of abrupt changes and breakdown situations.

VERY FAST SOLIDIFICATION MODEL RUNNING ON GPU

- Dynamic solidification model developed and implemented for parallel running on graphics processing units (GPU).
- Very fast computation owing to parallelism and computational performance of GPU.
- Suitable for real-time control and optimization tasks.
- Coupling with the model-based predictive control module.



GRAPHICAL USER INTERFACE



Advanced control and optimization of continuous steel casting by Brno Dynamic Solidification Models ®

Proper control and optimization of continuous casting process of steel is a complex industrial problem in steelmaking. Its solution requires the utilization of the dynamic solidification model and its coupling with appropriate optimization and control methods. We propose control and optimization systems for continuous steel casting based on advanced fuzzy logic regulation and model-based predictive control utilizing a very fast dynamic solidification model running on graphics processing units (GPU).

ADVANCED FUZZY LOGIC REGULATION

- Based on flexible fuzzy formulations, which are rated by a truth (probability) value.
- Better performance, robustness and stability than in case of PID controllers.
- Direct utilization of experience of caster operators.
- Optimal secondary cooling determined by means of fuzzy regulation. Left: Optimal cooling relationships for various cross-section slabs. Right: Optimal cooling dependency for cooling zones with various distances from the pouring level.



REFERENCES

- VITKOVICE STEEL, Czech Republic
Cooperation since 1998: Integration of the on-line dynamic solidification model to the control system of the steelworks and its coupling with the quality prediction system.
- TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, Czech Republic
Cooperation since 2003: Implementation of the on-line and off-line models for eight stream-filler casting. The on-line model integrated to the control system.
- ŽELEZARNE POBRZEŽOVÁ, Slovakia
2011: Analyses of continuous casting by means of the dynamic solidification model.
- ASM AUTOMATION, Czech Republic
Industry partner in the field of control systems in steelworks, integration of the numerical models to control systems in steelworks. See www.asmautomation.com.
- POSCO, South Korea
Research project in 2014: Off-line dynamic solidification model with fuzzy regulation.

BRNO TECHNOLOGY UNIVERSITY TRANSFER OF TECHNOLOGY OFFICE

www.continuouscasting.info

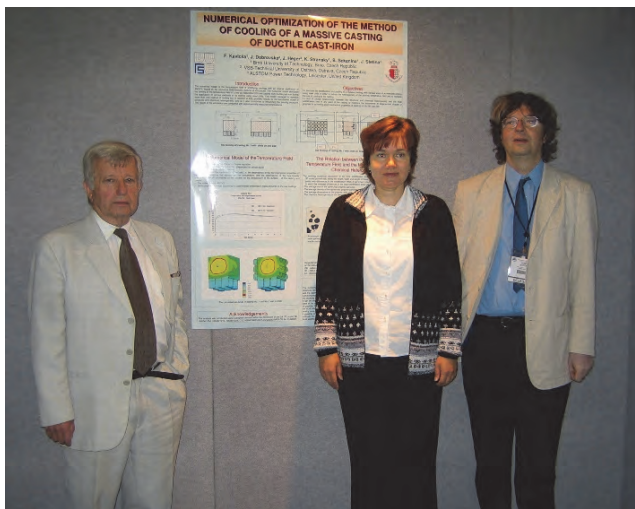
Rekapitulace vaší publikační a vědecké činnosti by vydala na samostatný článek. Nicméně k vašemu životu neodmyslitelně patří. Zmínil byste alespoň ty nejdůležitější?

Má publikační činnost se zaměřovala na zveřejňování výsledků výzkumu publikací přednášek v tuzemských, ale také mezinárodních sbornících. Účasti na mezinárodních konferencích se nám otevřely široké možnosti kontaktů

a spolupráce se zahraničními kolegy, uskutečnění stáží a studijních pobytů na univerzitách po celém světě. Využili jsme také příležitost účastnit se řešení tuzemských i mezinárodních projektů. Byl jsem například hlavním řešitelem projektu *Thermokinetics of Technology programu U.S. - Czechoslovak Science and Technology Program* (přímá spolupráce s USA) a také hlavním řešitelem nebo spoluřešitelem dalších 16 projektů, a to v rámci mezinárodních programů EÚ COST, EUREKA a KONTAKT, tuzemských projektů MPO, GAČR a TAČR. Při té příležitosti jsem byl v letech 1998 až 2005 členem Management Committee za Českou republiku v programu COST-Action No. P 3.20 a Action No. OC 526.10. Absolvoval jsem také řadu krátkodobých studijních a přednáškových pobytů, například na amerických univerzitách v Auburnu, Charlotte, San Diegu, Chicagu, Vancouveru, Bostonu, Halifaxu, Pohangu v Jižní Korei, Vicenze v Itálii, Krakově, Ljubljani, Cambridge, Helsinkách, Budapešti a jinde. A když jsem u té rekapitulace, jsem autorem 135 výzkumných zpráv, 32 kapitol v odborných knihách vydaných v ČR nebo v zahraničí, 880 článků v časopisech a sbornících konferencí, z toho 110 vyšlo v zahraničí. Absolvoval jsem 145 přednášek na konferencích, symposiích nebo kongresech tuzemských i světových, z toho 89 přednášek ve 25 zemích Evropy, Severní Ameriky, Asie, Austrálie, Nového Zélandu a Hawajských ostrovů. Za velkou čest jsem pokládal, že jsem mohl naši republiku reprezentovat svou přednáškou *Analysis of the effect of thermodynamic properties and boundary conditions on the calculation accuracy of solidification thermokinetics* na 62. světovém slévárenském kongresu ve Philadelphii v roce 1996. Jsem hlavním autorem a editorem anglicky psané knihy *Numerical Models of Solidification and their Application in Metal and Ceramic Technology*, vydané Brno University of Technology v roce 2016. Tato kniha byla na VUT Brno oceněna za zveřejnění kvalitních výsledků aplikačního charakteru v oboru hutnictví-kovové materiály.



S prof. Dobrovskou na The 2003 pressure vessels and piping conference, Cleveland, Ohio, USA, July 2003



S profesory Dobrovskou a Štětinou na The 13th International Heat Transfer Conference, Sydney, Australia, August, 2006



S prof. Dobrovskou na The 3rd International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking SCANMET III, Lulea, Sweden, June 2008

Pane profesore, když se ohlédnete zpátky, co považujete ve svých vskutku bohatých aktivitách za svůj největší pracovní úspěch?

Asi to, že má cílevědomá průkopnická snaha systematicky prosazovat pomocí progresivní metody řešení nestacionárních teplotních polí v technologických procesech slévárenských a hutních provozů, spojených se změnami fází, struktury a fyzikálně chemických parametrů zkoumaných soustav, byla úspěšná a našla i své následovníky. Za úspěch považuji i to, že jsem dokázal v tehdejších podmínkách vybudovat k aplikaci těchto metod nejprve laboratoř analogového a později numerického modelování. Mé originální modely se úspěšně uplatnily při modelování, řízení a optimalizaci technologií od masivních odlitků, gravitačně odlévaných ocelí, tvárných litin a speciálního keramického materiálu až po plynule lité předlitky. Brněnský pětičlenný již zmíněný řešitelský tým získal pro svůj současný několikanásobně zdokonalený originální model ochrannou známku EÚ BrDSM. V současné době naši nabídku zvažuje Jihokorejská firma POSCO. Mým pracovním krédem je citát od Tycho de Brahe: *Ani světská moc, ani bohatství – jen žezlo vědy překoná věky.*

A největší osobní úspěch?

Že jsem naplnění svého profesního života dosáhl “s rovnou páteří”, i když jeho nejproduktivnější část probíhala v době totality, a že jsem po sametové revoluci zmobilizoval všechny síly, abych během čtyř roků s nesmírným nasazením splnil všechna předepsaná kritéria a podmínky, abych mohl být v roce 1995 jmenován profesorem. Závěr hodnocení mé osoby příslušnou komisí pro profesorské řízení na VUT v Brně je pro mne ctí a velice si ho vážím. Stálo v něm: *Jedná se o vyzrálou a významnou tvůrčí vědeckou i pedagogickou osobnost v termomechanice a termokinetice, uznávanou u nás i v zahraničí. Odborné předpoklady jsou významně doplněny předpoklady morálními a lidskými.*

A souběžně za svůj druhý osobní úspěch považuji, že jsme s manželkou přes všechny potíže s atmosférou sledování StB vychovali děti s našim životním krédem a s našim pohledem na svět a ten že je dál předáván i našim vnukům. Nejstarší z nich právě dokončil s vyznamenáním lékařskou fakultu Karlovy university a nepochybuji, že je do života vybaven ideály shodnými s těmi našimi. Mým osobním krédem je *umět se o starost i radost vždycky podělit.*



S prof. Dobrovskou na mezinárodní konferenci 6th Word Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics, April 2005, Matsushima, Japan

Kdy jste začal spolupracovat s časopisem Hutnické listy?

S časopisy Hutnické listy a Slévárenství jsem se poprvé setkal při svém nástupu do výzkumného ústavu v Brně, když jsem se pustil do rozsáhlé literární rešerše, o které jsem se už zmínil. A právě oba tyto časopisy a další časopisy této odbornosti vedly mé první kroky a správně směřovaly k rozhodnutí usilovat o vybudování unikátní laboratoře. Získával jsem v nich neocenitelné informace a vědomosti, protože časopisy se zaměřovaly na provozy sléváren a hutí. Byly pro mě stejně tak důležité při publikaci mých prvních výsledků a zkušeností s modelováním teplotních polí v technologických procesech. A pomocí těchto časopisů jsem se také dozvídal, že mé výsledky nacházejí uplatnění. Vzpomínám si například, že byly v provozu využity mé výsledky modelování účinků izolace tehdy nového Plastizolu. Při odlévání pístu spalovacího motoru se využily výsledky mé výpočtové optimalizace úkosu vertikálně odlévané desky, o které jsem shodou okolností referoval v roce 2000 na *The Conference of the ASME* v Seattlu. Nesouhlasím s názory, že publikace prozrazují know-how a jsou proto nežádoucí. Vždyť se publikace může upravit tak, aby její obsah nebyl zneužitelný. Nejdůležitější přece je, aby ten jistý poznatek vešel ve známost k širšímu využití a současně reprezentoval

a upozornil na pracoviště, ve kterém vznikl. Nastupující generace by měla organicky navazovat na současné poznatky a zdokonalovat se v aplikaci nejmodernějších numerických metod a sledovat jejich rychlý rozvoj. Musí se však ve zvýšené míře věnovat i experimentálnímu výzkumu, který se v posledních letech podle mého názoru zanedbává a podceňuje. To znamená také sledovat rozvoj experimentálních metod a jejich možností a důsledně trvat na ověřování špičkových numerických modelů technologických procesů pokud je to jen trochu realizovatelné.

A našel jste si při své vsutku vytížené profesní činnosti i nějaký čas na relaxaci?

Ale ano. Byť práce pro mě byla koníčkem, našel jsem si chvílky na turistiku, kutilství, dobrou knihu, a také muzicírování, hraji na klavír, harmoniku i varhany. A co dost ovlivňovalo mou osobnost, byl vsutku velký smysl pro humor a chuť jej aktivně rozdávat. A to je podle mne velké štěstí, protože i v těch nejnáročnějších životních okamžicích jsem se uměl zasmát. A jít s úsměvem dále...

Mgr. Šárka Seidlerová
foto: archiv prof. František Kavička

Železářny loni recyklovaly přes milion tun materiálu

trz.cz, tisková zpráva 24.3.2022

O maximální možné využití vedlejších produktů hutní výroby recyklací už několik let usilují Třinecké železářny. Využití strusky a hutních plynů přináší také významné úspory CO₂. Naplňuje tak aktuálně prosazované podmínky udržitelné výroby. Huť v loňském roce využila ve výrobě bezmála 800 tisíc tun šrotu, a to včetně veškerého vlastního kovového odpadu vznikajícího při výrobě. Stejně tak ve vysokých pecích každoročně recykluje přes 100 tisíc tun vyseparovaných kovonosných podílů obsažených ve struskách. „Ty jsou využity jako náhrada přírodních železných rud,“ doplňuje výrobní ředitel hutě Česlav Marek.

Za největší přínos pro ochranu klimatu však považuje dodávky granulované vysokopecní strusky, která vzniká při výrobě surového železa. „Cementárnám jsme loni dodali téměř 600 000 tun materiálu. To znamená, že jsme tím ušetřili přibližně 550 000 tun CO₂, které by jinak při výrobě vznikly vypalováním vápence a jílu,“ podotýká výrobní ředitel.

Ve stavebnictví se pak loni ušetřilo téměř 250 tisíc tun přírodního kameniva. Nahradila je struska z třinecké hutě. A novinkou zaváděnou do praxe je využití ocelářských strusek a odpadních prachových částic oxidů železa vznikajících při výrobě železa, z nichž lze vyrábět speciální těžké betony.

Třinecká fabrika také využívá přes 90 % hutních plynů vznikajících při výrobě, a to vysokopecní, konvertorový a koksárenský. Nahrazuje tak spotřebu až 500 tisíc tun energetického uhlí či 450 milionů m³ zemního plynu. Energetické využití plynů díky jejich chemickému složení vytváří nižší uhlíkovou stopu než spalování tradičních fosilních paliv.

„Na principech udržitelného podnikání stavíme svou činnost dlouhodobě. Ovšem nyní se téma dostalo do centra pozornosti ve všech oborech. Hutnictví patří z hlediska spotřeby surovin a energií k těm nejnáročnějším. Proto usilujeme o maximální využití všech vedlejších produktů naší výroby,“ shrnuje Jan Czudek, generální ředitel Třineckých železáren.

Dodává, že firma patří v cirkulární ekonomice ke špičce ve srovnání s ostatními evropskými hutními podniky. I samotná ocel je nejuniverzálnějším průmyslovým materiálem na světě, neboť je 100% recyklovatelná, a proto je stavebním kamenem cyklické ekonomiky. I při výrobě oceli rudnou cestou se dál využívá vysoký podíl šrotu.

Aktuality v hutnictví

První vodíkové město se rodí v Ostravě

Solární novinky 2021

V Ostravě na bývalé uhelné haldě Hrabůvka vyrostě vodíkové město budoucnosti. Technologie založené na vodíku podporuje i Moravskoslezský kraj. Projekt se rodí v době, kdy pětice britských plynárenských firem představila plán na stavbu prvního stoprocentně vodíkového města. Jeho realizace se má stát pilířem Zelené průmyslové revoluce, kterou britský premiér Boris Johnson ohlásil v listopadu 2020.

Vodíková perspektiva

Společnosti, které v současnosti zásobují zemním plynem 85 procent domácností na britských ostrovech, hodlají do roku 2025 kompletně převést na vodík jednu větší vesnici, do roku 2030 velké město a do poloviny století chtějí úplně přejít na výrobu a distribuci vodíku. Jména obce a města, které se mají stát průkopníky vodíkové energetiky, ještě nebyla oznámena.

Na rozdíl od Britů chce japonská automobilka Toyota stavět na zelené louce, přesněji řečeno na pozemku o rozloze 175 akrů na úpatí hory Fudži. Jeden z lídrů vývoje aut na vodík plánuje zahájit budování svého vodíkového městečka už letos. Bude se jmenovat Woven City, což má připomínat, že Toyota původně vyráběla tkalcovské stavy.

Základním zdrojem energie pro několik tisíc jeho obyvatel budou vodíkové palivové články doplněné solárními panely na střechách budov, které mají být převážně ze dřeva, aby se minimalizovala uhlíková stopa. Toyota na projektu spolupracuje s dánským architektem Bjarkem Ingelsem, který se podílel například na stavbě nové budovy World Trade Center 2 v New Yorku nebo na projektu kancelářských budov společnosti Google v Silicon Valley a v Londýně.

Projekt počítá s hydroponií, robotikou a chytrými domácnostmi s umělou inteligencí. Dopravu budou ve Woven City obstarávat autonomní vodíková a elektrická auta s nulovými emisemi.

Ostrava se mění na vodíkové město

Stavbu vodíkové městské čtvrti oznámily společnosti Vítkovice, a.s. a česká průmyslová skupina Cylinders Holding, která je jedním z největších světových výrobců

bezešvých ocelových lahví na technické plyny. Vodíkové město H2 District má vzniknout na někdejší haldě v ostravské Hrabůvce.

Zdroj: Vítkovice a.s.

Halda na dohled od centra Ostravy o více než 100 hektarech prošla s pomocí státu rozsáhlou rekultivací. Díky tomu zahrnuje umělé jezero a její poloha nahrává využití slunečních a geotermálních procesů. Podle společnosti Vítkovice to má být místo přátelské ke všem novým, udržitelným technologiím – od vodíku po solární a BioCNG řešení.

První projekty by měly být hotovy během tří let. H2 District pak poroste po desetiletí. Počítá se s bytovými domy pro až 2800 lidí, stadionem, obchody a centrem výzkumu vodíku. Rychlost výstavby bude závislá na postupu vývoje vodíkových technologií a investorech.

Vodík se v Česku začíná uplatňovat také jako alternativní palivo pro městskou hromadnou dopravu. Výzkumu této cesty se věnuje společnost ÚJV Řež, která několik let provozovala první vodíkový autobus TriHyBus na pravidelné lince v středočeských Neratovicích. Nedávno ohlásil zájem o nasazení autobusů regionální dopravy s vodíkovým pohonem Moravskoslezský kraj. S vodíkovými autobusy počítá také město Ústí nad Labem.

Rychlý technologický vývoj

Podobných projektů, kterým se ve světě začíná říkat „vodíková údolí“, vzniká v současnosti v celkem 18 zemích nejméně 32. Mezi technicky nejzajímavější patří např. Advanced Clean Energy Storage v USA nebo Eyre Peninsula Gateway v Austrálii, v Evropě pak třeba Green Hysland na španělském ostrově Mallorca.

Analytická společnost Wood Mackenzie ve své zprávě „2050: The Hydrogen Possibility“ vydané letos v lednu tvrdí, že vývoj vodíkových technologií bude pravděpodobně probíhat rychleji, než kdokoli dosud předpovídal. Upozorňuje, že od října roku 2019 vzrostl objem vodíkových projektů devětkrát.

Do roku 2050 bude podle Wood Mackenzie nízkouhlíkový vodík představovat 7 % celosvětové konečné spotřeby energie a poptávka po něm vzroste ze současné téměř nulové hodnoty na 211 Mt.

H2automobilů, H2kol a koloběžek, nákupní centrum vodíkového spotřebního a sportovního zboží, projekční kanceláře apod.

- Zóna dopravy – unikátní plnicí stanice s nabídkou bezemisních a nízkoemisních paliv (H₂, BioCNG, LNG, elektro), MHD na vodík.
- Zóna vědy a inovací – výzkum skladování vodíku, technologie pro vodíkovou energetiku, výroba zeleného H₂, vývoj H₂ technologií a jejich produkce v soběstačných v halách.
- Zóna volného času – fotbalový stadion Baník, H₂ sport aréna, H₂ adrenalinový park a další sportovní centra, která využijí už existující velké jezero.

To vše doplní systémy H₂ smart city – IT dispečink pro řízení logistiky a servisu a efektivní nakládání s energiemi.

Steckel prochází rekonstrukcí za bezmála miliardu korun

LIBERTY Ostrava, Nová huť, leden 2022, ročník XII, číslo 01, str. 6.

LIBERTY Ostrava zahájila rozsáhlý dvouletý program modernizace tzv. Steckelovy válcovny pásů za přibližně 40 milionů eur (asi miliarda korun), který potrvá do konce roku 2023. Modernizace zvýší kvalitu výsledných ocelových pásů, jakož i spolehlivost a efektivitu válcovny, takže bude možné vyrábět více než 1 milion tun pásů ročně.

Rekonstrukce Steckelovy válcovny bude probíhat z důvodu dlouhých dodacích lhůt součástí a náhradních dílů v několika etapách. Po listopadové odstávce je už vyměněno 1400 zastaralých hydraulických prvků, které byly nahrazeny modernějšími. V květnu bude součástí dalších úprav instalování dvou rentgenových měřičů tloušťky plechů, výměna pecních navíječek a chladicích věží laminárního chlazení. Modernizovat se rovněž bude řídicí program, který zajišťuje modelové řízení tratě, včetně přesnější predikce válcovacích sil a teplot.

Následně se budou nahrazovat funkční bloky předohybu válců ve stolicích modernějšími komponenty, a to včetně hydraulické kapsle.

V dalších krocích se chystá zkvalitnění funkcí ostříků a fritů a chlazení válců. Neméně důležitou součástí bude také postupná výměna všech pomocných regulovaných pohonů na trati. Na jaře i na podzim roku 2023 si instalace nových technologických prvků vyžádají vždy minimálně dvoutýdenní odstávku trati.

Realizace řady těchto dílčích projektů zlepší mechanické vlastnosti válcovaného pásu, odstraní povrchové vady a zajistí přesné dodržení jeho geometrického tvaru. To umožní nabízet zákazníkům válcovaný pás ještě lepší kvality.

Válcovna pásů se stavěla v devadesátých letech jako zcela nový provoz včetně 200 metrů dlouhé haly. Ostravská huť

tehdy jako první v Evropě realizovala technologii výroby pásů z tekuté oceli. Na jednu stranu haly se přiváží v pánvích tekutá ocel přímo z ocelárny, na druhé straně se odvázejí už svinuté a svázané ocelové pásy. Výroba se odehrává na poměrně malém prostoru a celý proces trvá zhruba dvě hodiny. Výhodou Steckelovy válcovny ostravské huti je velká míra flexibility. Provoz je ekonomický i při nižším ročním objemu výroby, což podniku umožňuje pružně reagovat na požadavky trhu.

Mzdy zaměstnancům Třinecké hutě letos porostou

trz.cz, tisková zpráva 19.1.2022

Na zvýšení mezd v letošním roce se v kolektivní smlouvě dohodlo vedení firmy spolu s představiteli základních organizací Odborového svazu KOVO TŽ.

Díky dohodnutému základnímu růstu vzroste na konci roku 2022 průměrná mzda z loňských 38 353 korun na 39 710 korun. Pokud firma splní plánovaný hospodářský výsledek, díky mimořádným odměnám by pak průměrná mzda zaměstnance Třineckých železáren mohla překročit 40 000 korun.

„Základní růst představuje navýšení mzdy v průměru o 1700 korun, u směnových zaměstnanců až o 2500 korun. Valnou část navýšení jsme totiž směřovali do motivačních složek zejména zaměstnanců v nepřetržitém provozu,“ upřesnil ředitel pro personalistiku a vnější vztahy Ivo Žížka.

Huť se k navýšení mezd odhodlala i přesto, že ji v letošním roce čeká extrémní růst nákladů na energie, které přesáhnou 5,5 miliardy korun. Je to o 1,4 miliardy více než v loňském roce. Předpokládá se také růst dalších nákladů v souvislosti s připravovanými projekty ke snižování uhlíkové stopy dle Zelené dohody. Do hospodaření firmy vstupuje také masivní růst nákladů na emisní povolenky a vstupní suroviny.

„Přichází náročné období, které musíme ustát. S ohledem na zvyšování životních nákladů však nemůžeme zapomínat na zaměstnance,“ podotýká k vývoji generální ředitel hutě Jan Czudek. I letos proto apeluje na úspory, které bude firma hledat ve všech provozních činnostech, investicích i zaměstnanosti s cílem zvýšení efektivity výroby.

V kolektivní smlouvě je kromě jiného navýšeno finanční plnění v případě ztráty zdravotní způsobilosti. Vyšší budou také částky při pracovních a životních jubileích, které zaměstnavatel vyplácí dle určitého počtu let pracovního poměru. *„Například po pěti letech práce pro huť firma vyplatí jednorázovou odměnu 3000 korun, po 25 letech je to 12 000 korun a podobně. Jde o mimořádné poděkování loajálním dlouholetým zaměstnancům,“ upřesňuje personální ředitel.*

Za pozitivní zprávu pro zaměstnance kromě navýšení mezd a dalších výhod z podnikové kolektivní smlouvy považuje **předseda ZO OS KOVO TŽ Marcel Pielez** rovněž novinku v kolektivní smlouvě týkající se volitelných benefitů. „Zaměstnanci získají na celý rok benefit v jednotné výši 5000 korun, který si mohou rozdělit do různých nabízených aktivit zejména pro své zdraví,“ **podotýká.**

Kolektivní smlouvu podepsali představitelé hutě se zástupci odborů v úterý 18. ledna.

Australské uhlí bylo pro ostravskou huť

Právo, 25.1.2022, Pavel Karban

Po Labi připlulo v neděli do Děčína lodí společnosti EVD asi 1100 t černého uhlí z Austrálie, které si objednala huť LIBERTY Ostrava. Zde bylo přeloženo na vlak do Ostravy.

Uhlí se dosud vozilo z Nizozemska do Česka po železnici, ale ČD Cargo poprvé vyzkoušelo alternativně vodní cestu po Labi, protože se v úseku Bad Schandau – Děčín plánují výluky.

Podle mluvčí LIBERTY Ostrava potřebuje firma pro výrobu koksu až osm druhů koksovatelného uhlí, které se míchají na optimální vsázku pro vysoké pece.

Až dosud byla největším dodavatelem koksovatelného uhlí těžební společnost OKD. V současnosti už dodávky z OKD činí jen asi 15 procent z potřebného objemu. Doly se zavírají a tak se musí uhlí dovážet z Polska, USA, Kanady a Austrálie, aby se vytvořila potřebná zásoba.

Připravovaná transformace podniku sníží závislost podniku na dovážených surovinách. Modernizace ocelárny výstavbou dvou hybridních pecí, které nahradí současné tandemové pece, umožní využívat větší množství šrotu. Po připojení k síti velmi vysokého napětí bude možné vyrábět ocel až ze 100 procent ze šrotu či jiné kovonosné vsázky.

Nová fosfátovací linka přinesla rozšíření portfolia výrobků

trz.cz, tisková zpráva 23.2.2022

V plném provozu je od ledna letošního roku nová linka na tažení a fosfátování drátu. Třinecké železářny (TŽ) její instalaci reagovaly na rostoucí poptávku po taženém drátu určeném pro výrobu ložisek, šroubů a ostatních dílů především pro automobilový průmysl. Náklady na investici přesáhly 100 milionů korun.

Nová technologie je již druhým zařízením svého druhu, oproti první fosfátovací lince disponuje řídicím systémem s pokročilejším stupněm automatizace pro zjednodušení práce obsluhy. Obě zpracovávají drát z produkce TŽ.

„Nové zařízení přináší zlepšení kvality povrchu drátu kupříkladu dokonalejším otryskáním okují díky výkonnějšímu tryskacímu zařízení se čtyřmi turbínami,“ **upřesňuje investiční ředitel TŽ Radek Olszar.** Za další výhodu nové linky považuje automatickou analýzu chemických hodnot fosfátovací lázně, na níž navazuje automatické doplňování potřebných látek pro dosažení kvality fosfátové povrchové vrstvy, která zajišťuje kluzné vlastnosti při následném tváření drátu za studena a jeho ochranu před korozí.

Investice do druhé fosfátovací linky přinesla možnost rozšíření portfolia. Na první tažné lince je možné zpracovávat drát v rozměrech 8 až 23 milimetrů. Nová linka je koncipována pro rozměrovou řadu od 7 do 25 milimetrů.

Tažený fosfátovaný drát slouží konečným odběratelům pro výrobu ložiskových tělísek, spojovacích částí, čepů a hřídelí. Speciálním výrobkem jsou například ozubená kolečka pro převodová ústrojí jízdních kol.

Informace z návštěvy Sanjeeva Gupty v LIBERTY Ostrava

LIBERTY Ostrava, Nová huť, březen 2022, ročník XII, číslo 03, str. 2 (také str. 19, Modernizace desetiletí. Huť Liberty vybrala dodavatele hybridních pecí)

Sanjeev Gupta, výkonný předseda skupiny LIBERTY, jednal při návštěvě Ostravy 15. března 2022 o důležitých tématech současnosti.

Válka Ruska na Ukrajině přerušila dodávky některých surovin, zejména železné rudy. Jím řízený centrální tým jedná s možnými dodavateli, aby byly v Ostravě dostatečné zásoby bez ohledu na vývoj na Ukrajině. U uhlí se tým soustřeďuje na zlepšení dodávek z dolů, které jsou blíže ostravské huti.

Aby se v dlouhodobém horizontu zmínil dopad případného nedostatku surovin na ostravskou huť, je mezi zvažovanými možnostmi také urychlení plánované údržby VP2, se kterou se aktuálně počítá v létě.

Pozitivní je oznámení o ukončení výběrového řízení na dodávku nové technologie pro výrobu oceli a výběr dodavatele hybridních pecí. Podpis smlouvy se očekává v průběhu dubna, kdy budou oznámeny podrobnosti.

Pro LIBERTY Ostrava to bude historický okamžik a první zásadní krok v transformaci na výrobu zelené oceli. Díky za podporu při proměňování této vize v realitu.

ArcelorMittal Kryvyi Rih kvůli válce přerušuje výrobu

LIBERTY Ostrava, Nová huť, březen 2022, ročník XII, číslo 03, str. 14

Poté, co koncem února Rusko provedlo invazi na území svého souseda, s ohledem na eskalující válku ArcelorMittal Kryvyi Rih přerušil veškerou výrobu.

Proces odstavení vysokých pecí začal 3. března a trval cca deset dní. V úterý 1. března firma uvedla, že kvůli nedostatku surovin přerušila provoz vysoké pece č. 9, nicméně vysoké pece č. 6 a 8 zůstanou v běžném provozu. Firma také již dříve oznámila omezení výroby oceli na technické minimum. „ArcelorMittal je hluboce znepokojena situací na Ukrajině, ohrožením našich zaměstnanců a celé ukrajinské populace,“ uvedla globální ocelářská skupina ve vyjádření zaslaném serveru Kallanish. V roce 2021 došlo v AMKR k ročnímu zvýšení výroby surové oceli o 5,2 procent na 4,92 milionů tun. ArcelorMittal Kryvyi Rih je významným výrobcem sochorů, betonářské oceli a taženého drátu jak pro domácí, tak i zahraniční trhy.

Úložiště v Ostravě o kapacitě tisíců externích disků usnadňují práci vědcům

Datový sál národního superpočítačového centra IT4Innovations se kromě superpočítačů pyšní také velkokapacitními datovými úložišti. Prvním je úložiště PROJECT, které významně ulehčuje práci výzkumníkům, kteří na ostravských superpočítačích počítají své projekty. Ve druhém případě se jedná o úložiště sdružení CESNET, které patří k těm vůbec největším v České republice.

Datové úložiště PROJECT

Hned pět rozváděčových skříní (tzv. racků) zabírá datové úložiště PROJECT, které je uživatelům superpočítačového centra IT4Innovations plně k dispozici od března 2021. Jak již jeho název napovídá, slouží pro uchování a zálohování dat, která jsou zpracovávána nebo generována na ostravských superpočítačích. Kromě toho, že úložiště PROJECT staví na nejmodernějších technologiích, konkrétně na řešení Spectrum Scale od společnosti IBM, je také mnohem vstřícnější k uživatelům, kteří na superpočítačích staví své vědecké bádání. Moderní řešení slibuje dostatek kapacity, spolehlivý a rychlý provoz, a navíc funguje jako centrální, tedy na superpočítačích, nezávislý systém. „To znamená, že po nahrání projektových dat do úložiště k nim mohou uživatelé přistupovat z jakéhokoliv superpočítače,

na kterém zrovna své výpočty provádějí. Na rozdíl od předešlé praxe, která předpokládala mít jejich kopie na každém superpočítači, tento systém přináší uživatelům ostravské výpočetní infrastruktury značnou úsporu času,“ uvádí Radovan Pasek, vedoucí provozu a správy HPC v IT4Innovations.

Další výhodou úložiště PROJECT je to, že obslouží nejen specifické datové potřeby stávajících superpočítačů Karolina, Barbora a NVIDIA DGX-2, ale díky své živostnosti, která se pohybuje mezi 8 až 10 lety, nabídne své kapacity i jejich nástupcům. Navíc disponuje dostatečným úložným prostorem pro projekty s dlouhým životním cyklem, obvykle delším než jednoročním, což představuje další z motivů jeho pořízení.

Jedním z nejdůležitějších parametrů úložiště PROJECT je jeho kapacita. Ta činí 15 petabajtů. Jak si toto číslo lépe představit? „Porovnejme si úložiště PROJECT k externímu disku o kapacitě 1TB, který běžný PC uživatel používá pro zálohu svých dat. Pokud by se chtěl tento uživatel vyrovnat našemu velkokapacitnímu úložišti, musel by si takových externích disků nakoupit přesně 15 000 kusů,“ vypočítává Roman Slíva, senior HPC architekt v IT4Innovations.

K dalším parametrům úložiště PROJECT patří:

Úložiště je tvořeno kombinací rychlejších disků SSD a pomalejších NL-SATA, které jsou společně s dalšími infrastrukturními prvky uspořádány do tří nezávislých bloků s ohledem na vysokou dostupnost a možnost jednoduché replikace dat.

Celková propustnost systému dosahuje hodnoty 39 GB/s a zvládá až 57 000 I/O operací za sekundu. Ačkoliv je kapacita momentálně dostačující, již nyní je jasné, že vzhledem k neustále rostoucímu množství dat, se kterými výzkumné projekty operují, ji bude v budoucnu nutné navýšit. Díky modulárnímu návrhu řešení však bude možné úložiště v případě potřeby dále rozšířit.

Datové úložiště sdružení CESNET

S kapacitou neuvěřitelných 33,673 petabajtů se jedná o jedno z největších datových úložišť v tuzemsku. Kromě kapacity stojí za zmínku také hmotnost úložiště – 3,3 tuny nebo to, že zabírá celkem 6 racků. Řešení obsahuje 1776 rotačních disků Seagate Exos X18 s kapacitou 18 terabajtů. Pro ukládání dat slouží 74 serverů Lenovo ThinkSystem SR635, dále je k dispozici 12 serverů pro monitoring celého systému.

Za tímto velkoobjemovým datovým úložištěm stojí sdružení CESNET a projekt e-INFRA CZ, jehož součástí je kromě CESNET i IT4Innovations a CERIT-SC. Úložiště bude sloužit vzdělávacím institucím v Česku pro přenos, ukládání, archivaci a zpracování vědeckých dat.

-Z tiskové zprávy-

Obsah Hutnických listů 2021

Hlavní recenzované články / Main Reviewed Articles

Recenzované vědecké články / Peer-reviewed Scientific Papers

Název článku	Autoři	HL	strana
Stanovení teplot fázových transformací oceli 20MnCr5 za pomoci empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm Determination of Pphase Transformation Temperatures of 20MnCr5 Steel Using Empirical Equations and Thermodynamic Database CompuTherm	Ing. Lucie Chudobová doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D. Ing. Michaela Strouhalová Ing. Jiří Cibulka Ing. Michal Sniegoň Ing. Josef Walek prof. Ing. Karel Michalek, CSc.	1-2	5-10
Matematický model deformačních křivek Mathematical Model of Deformation Curves	doc. Ing. Rudolf Pernis, CSc. doc. Dr. Ing. Milan Škrobán, CSc.	1-2	11-17
Fyzikální modelování proudění oceli v asymetrické pětiproudé mezipánvi na základě analýzy RTD křivek Physical Modeling of the Steel Flow in an Asymmetric Five-Strand Tundish Based on the Analysis of the RTD Curves	Ing. Josef Walek prof. Ing. Karel Michalek, CSc. doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D. Ing. Jiří Cupek	3-4	5-15
Metody optimalizace nákladů výrobního podniku aplikací principů štlé výroby Cost Optimization of Production Processes by Means of Application of Lean Tools Management	Ing. Adam Drastich MBA Ing. Tomáš Malčic, Ph.D. Ing. Martina Závrbská	3-4	16-22
Využití variantní analýzy k posouzení významnosti vlivu vybraných parametrů procesu tažení na vlastnosti ocelového drátu The Use of the Variant Analysis for Examination of the Significance of the Effects of Selected Parameters of the Drawing Process on the Properties of Steel Wire	Ing. Petr Buchta	5-6	6-10
Zvyšování užitečných vlastností jader ze slinutých karbidů Enhancing the Service Properties of Sintered Carbide Cores	Ing. Pavel Szkandera Radim Gřegoř	5-6	11-15
Zajištění stabilní produkce silnostěnných odlitků ze slitiny ZP0410 při implementaci využití vratného materiálu Ensuring Stable Production of Thick-walled Castings of Alloy ZP0410 during the Implementation of the Utilization of Returnable Material	doc. Ing. Karel Gryc, Ph.D. doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D. Ing. Roman Kubeš Václav Sochacký Ing. Kamil Koza; Ing. Jaromír Trobl	5-6	16-22

Recenzované výzkumné články / Peer-reviewed Research Papers

Název článku	Autoři	HL	strana
Fyzikální modelování technologických parametrů rotační rafinace hliníkové taveniny Physical Modelling of Technological Parameters of Aluminium Melt Rotary Refining	Ing. Josef Walek prof. Ing. Karel Michalek, CSc. doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.	1-2	18-28
Návrh a ověření kalibračního plánu důlní výztuže V32 pomocí metody konečných prvků v programu Simufact Forming Design and verification of a roll pass schedule for a V32 mining support using the finite element method in the Simufact Forming program	doc. Ing. Richard Fabík, Ph.D. Ing. Vít Baranec Ing. Tomáš Kubina, Ph.D. Ing. Milan Onderka	1-2	29-37
Odstředivé lití dvouvrstvých, vysoce legovaných ocelových odlitků Centrifugal Casting of Two-layer High-alloy Steel Castings	Ing. Petr Milata	3-4	23-26
Metodika a stanovení efektivní doby mísení bentonitové formovací směsi pro kolový mísič Methodology and Determination of Effective Mulling Time of the Green Sand for Wheel Mulling Machine	Ing. Martina Gawronová	3-4	27-31
Mapování logistických procesů v metalurgickém podniku pomocí metodiky BPMN Mapping of Logistics Processes of Metalurgical Company Using BPMN Methods	Ing. Tomáš Malčic, Ph.D. Ing. Adam Drastich MBA	3-4	32-37
Inovace sekundární metalurgie elektroocelárny TRINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s. Innovation of Secondary Metallurgy in the Electric Steel Plant TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.	Ing. Jaromír Kaleta, Ph.D. Ing. Bohuslav Chmiel prof. Ing. Karel Michalek, CSc.	5-6	23-29
Galvanický proces nanášení ochranných povlaků na povrch drátů z nízkouhlíkové oceli Galvanic Process of Applying Protective Coatings to the Surface of Wires of Low-carbon Steel	Ing. Arkadiusz Wierzba, Ph.D. M.Sc. Sławomir Sobutka M.Sc. Artur Pławski Ing. Marek Tacina M.Sc. Marek Siemiński	5-6	30-33
Material Analyses of Prestressed Concrete Bridge Failure Materiálové rozbory porušení lávky z předepjatého betonu	Ing. Petr Čížek, Ph.D. Dr. Ing Zdeněk Kuboň Ing. Ladislav Kander, Ph.D.	5-6	34-38
Vliv formovacích směsí na povrchovou kvalitu odlitků pro hutní průmysl vyráběných ve Slévárnách Třinec, a.s. The Influence of Moulding Mixtures on the Surface Quality of Castings for the Metallurgical Industry Produced in Slévárny Třinec, a.s.	Ing. Josef Trombik	5-6	39-44
Praktické zkušenosti se snižováním hlučnosti na pracovištích ve strojírenském provozu Practical Experiences with Noise Reductions in Workplaces of Mechanical Engineering Plant	Ing. Tomáš Grulich	5-6	45-49

Název článku	Autoři	HL	strana
Possibilities of Processing of Galvanic Sludge Containing Useful Metals by Hydrometallurgical Processes Možnosti zpracování kalů z galvanoven s obsahem užitečných kovů hydrometalurgickými postupy	Ing. Hana Rigoulet Ing. Silvie Brožová, Ph.D. prof. Ing. Jaromír Drápala, CSc. doc. Ing. Jitka Malcharcziková, Ph.D. Ing. Daniel Petlák doc. Ing. Šárka Langová, CSc. prof. Ing. Jana Seidlerová, CSc. Ing. Šárka Tomisová doc. Ing. Václav Néték, CSc. Jaroslav Kubáč Martina Reková, MBA; Ing. Jaroslav Švec Mgr. Dominik Janáček	5-6	50-55

Informační články / Information Articles

Úvodník / Editorial

	Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.	1-2	4
	Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.	3-4	4
	Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.	5-6	4
Zachování průmyslu včetně toho hutního je v Evropě otázkou přežití	Ing. Henryk Huczala	5-6	5

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

Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2020 a 2021	Jiří Dufek	1-2	54-57
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2020 a 2021	Jiří Dufek	3-4	38-39
Meziroční porovnání měsíčních a postupných hutních výrob roku 2020 a 2021	Jiří Dufek	5-6	59-61

EUROPEAN GREEN DEAL

EUROPEAN GREEN DEAL – ZELENÁ DOHODA PRO EVROPU		1-2	38
Vodíkovou strategií k snížení emisí skleníkových plynů (1. část)		1-2	39
České firmy nesmí kvůli EUROPEAN GREEN DEAL ztratit mezinárodní konkurenceschopnost		1-2	42
EUROPEAN GREEN DEAL otevírá nové příležitosti pro inovace a výzkum		1-2	45
Green Deal a dopady na průmysl		1-2	47
Hutnictví čeká nelehká cesta k uhlíkové neutralitě	Janusz Szkuta, MBA.	1-2	49
Další významné snižování uhlíkové stopy bude pro evropský průmysl historicky těžkou zkouškou Another Significant Reduction of the Carbon Footprint Will Be a Historically Difficult Test for European Industry	Ing. Filip Hájek Ing. Vladimír Toman	1-2	51-53

Název článku	Autoři	HL	strana
GREEN DEAL ze světa		3-4	40-44
Vodíkovou strategií k snížení emisí skleníkových plynů (2. část)		3-4	45-51
Automatizace válcování železničních šroubů Practical experiences with noise reductions in workplaces in engineering production	Ing. Jiří Hložek	5-6	56-58
EUROPEAN GREEN DEAL		5-6	62-70

Z hospodářské činnosti podniků, institucí a řešitelských pracovišť / Information on Activities of Companies, Institutions and Research Working Sites

Nový unikátní výzkum zjistí zdroje škodlivin		1-2	58
Synthomer snižuje uhlíkovou stopu využitím zeleného dusíku z produkce Linde Gas		3-4	52
D&D Drátáru Zrt. slaví 10. výročí ve skupině TŽ-MS		3-4	71-72
Nově sériově zpracovávané materiály a jejich aplikace		3-4	73

Ze života škol / Information on Activities of Universities

Úspěchy studentů z Ostravy na konferenci Metalurgia 2021		1-2	59
Na VŠB-TUO vznikne nová inovační platforma, jejím základem je spolupráce s prestižní německou výzkumnou institucí Fraunhofer-Gesellschaft		3-4	56
V Ostravě se uskutečnila soutěž mladých popularizátorů vědy a techniky		3-4	56
Vědci z CEITEC VUT v Brně chtějí nabídnout keramické pancíře pro pouštní i subarktické oblasti		3-4	56
Katedra tváření materiálu na Fakultě materiálův-technologické VŠB-TUO oslavila šedesátiny		3-4	74
Akce pro odbornou i laickou veřejnost, Workshopy		3-4	75
Veletrh pracovních příležitostí Kariéra+		3-4	76
Za čištění kapalin pomocí plazmatu získalo VUT zlatou medaili na Mezinárodním strojírenském veletrhu		3-4	76-77

Z odborných společností/ From professional companies

Česká slévárenská společnost, z.s. (vznik, vývoj, současnost, budoucnost) část první: období od roku 1923 do roku 1990	Ing. Ludvík Martínek, Ph.D.; Bc. Jarmila Malá; Mgr. František Urbánek	1-2	60-62
Česká hutnická společnost bilancovala	Ing. Jiří Cupek, Ph.D.; Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.	3-4	53
Odborná komise tavení oceli na odlitky a ingoty při ČSS pořádala jubilejní XXV. školení tavičů a mistrů	doc. Ing. Václav Kafka, CSc.	3-4	54

Historie hutnictví / History of Metallurgy

Název článku	Autoři	HL	strana
Umělecké kovářství – výkovky z jednoho nebo více kusů	Ing. Ladislav Jílek, CSc. Ing. Jan Počta, CSc.	1-2	63-67
Umělecké kovářství – výkovky z jednoho nebo více kusů (dokončení)	Ing. Ladislav Jílek, CSc. Ing. Jan Počta, CSc.	3-4	58-63
Vzpomínky na vítkovické ocelárny v zrcadle současné reality	doc. Ing. Václav Kafka, CSc.	3-4	64-67
Konvertorová med' v Banské Štiavnici	Doc. Ing. Rudolf Pernis, CSc.	5-6	78-81

Společenská kronika / Social Chronicle

Život s vůní oceli aneb RNDr. Jaroslav Raab slaví 80 let	1-2	68
Odešel prof. Ing. Miroslav Tvrď, DrSc.	1-2	69

Představujeme vám

Viktor Mácha: „Nic krásnějšího, než vysoká pec zalitá září žhavého železa zkrátka neexistuje“	Mgr. Šárka Seidlerová	1-2	70-71
---	-----------------------	-----	-------

Aktuality v hutnictví / Newsreel in Metallurgy

Aktuality v hutnictví / Newsreel in Metallurgy	3-4	68-71
Aktuality v hutnictví / Newsreel in Metallurgy	5-6	82-84

Obsah Hutnických listů 2020 / Content of the Metallurgical Journal 2020

Humor s hutní tematikou	1-2	76
Humor s hutní tematikou	3-4	72

Poznámka redakce

Dlouhou dobu jsme se potýkali s tím, že autoři nedodržovali předepsaný rozsah abstraktu, který je psán dvojjazyčně a měl mít rozlišnou velikost u anglického a českého nebo slovenského jazyka. V dosavadních pokynech pro autory bylo uvedeno, že v případě anglického textu článku má český nebo slovenský abstrakt minimálně 18 řádků a anglický abstrakt má minimálně 8 řádků. V případě českého nebo slovenského textu článku má český nebo slovenský abstrakt minimálně 8 řádků a anglický abstrakt má minimálně 18 řádků. V souvislosti s aktuálně nastalými podmínkami Hutnických listů v systému neimpaktovaných recenzovaných časopisů přistupujeme ke sjednocení rozsahu abstraktu v anglickém i českém nebo slovenském jazyce, což přispěje ke zjednodušení práce autorů i redakce. Oba abstrakty by měly mít jednotnou velikost od 8 – 10 řádků, a budou tedy vůči sobě vzájemnými překlady. Dále platí, že abstrakty mají mít svou vlastní vypovídací schopnost, relativně nezávislou na textu článků. Proto se v nich neuvádějí odvolávky na obrázky, tabulky, rovnice, ani číslované literární zdroje, jakož i údaje o grantové podpoře. Změna rozsahu abstraktu bude zmíněna také v nových pokynech pro autory, které jsou uvedeny i na webových stránkách www.hutnickelisty.cz



170 let tradice.

Jedinečnost v České republice.

Špičkové technologické zázemí pro výuku i výzkum.

Perspektivní studijní programy spojující technologie a inženýrství spolu
s ekonomickými a ekologickými aspekty.

Možnost studia v zahraničí.

Spolupráce s průmyslem.

Možnost studia v oblastech:

**Materiálové inženýrství • Chemické a environmentální inženýrství
Ekonomika a řízení průmyslových systémů • Metalurgické inženýrství**

**Fakulta materiálově-technologická
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba**

studujmaterialy@vsb.cz



studuj_materialy



studujmaterialy.cz



studujmaterialy



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 %

