



Odborný on-line časopis pro metalurgii a příbuzné obory

Hutnické listy

Metallurgical Journal

1

PROFESSIONAL ONLINE JOURNAL FOR METALLURGY AND RELATED FIELDS
WWW.HUTNICKELISTY.CZ

ROČNÍK/VOL. LXXIX
ROK/YEAR 2026



ISSN: 3029-8350



ČESKÁ HUTNICKÁ SPOLEČNOST
CZECH METALLURGICAL SOCIETY



**podpora a popularizace výzkumu, vývoje a inovací
propagace studia technických oborů
organizování kulturně vzdělávacích produkcí
podpora zlepšovatelství
odborné výstavy, semináře, konference
lektorská činnost**

Českou hutnickou společností podporují:



TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY



**STROJÍRNY A STAVBY
TŘINEC**



ENERGETIKA TŘINEC
AKCIOVÁ SPOLEČNOST



Šroubárna Kyjov, spol. s r.o.

**TŘINECKÁ
PROJEKCE TP**
a.s.

**SLÉVÁRNY
TŘINEC, a.s.**



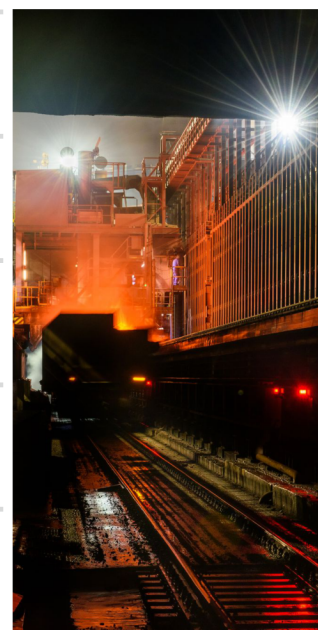
**Třinecký
inženýring, a.s.**



**VÚHŽ®
a.s.**



BOHEMIA RINGS



www.hutnickaspol.cz

PredsedaCHS@trz.cz



Odborný on-line časopis pro metalurgii a příbuzné obory

Hutnické listy

Metallurgical Journal

Ročník / Volume: LXXIX
Rok / Year: 2026
Číslo / No.: 1

www.hutnickelisty.cz
ISSN: 3029-8350

Vydavatel / Publisher

Česká hutnická společnost, z.s.
Průmyslová 1034
739 61 Třinec – Staré Město
IČ: 00538671
e-mail: redakce@hutnickelisty.cz

Redakce / Editorial Office

Vedoucí redaktor / Chief Editor

PhDr. Jana Kocurová

Technická redakce / Technical Editors

Ing. Jiří Cupek, Ph.D.
Ing. Petr Klus, Ph.D.
Ing. Aleš Lodomirjak

Fotografie titulní strany / Cover Photo

©Pavel Zubek

Redakční rada – Předseda / Editorial Board – Chairperson

prof. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D. *Střední průmyslová škola Třineckých železáren, Česká republika*

Členové / Members

Ing. Martin Balcar, Ph.D.	<i>ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika</i>
doc. Ing. Branislav Bul'ko, Ph.D.	<i>Technical University in Košice, Slovenská republika</i>
Ing. Pavel Machovčák, Ph.D.	<i>TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Třinec, Česká republika</i>
prof. dr hab. inž. Mariola Saternus	<i>Politechnika Śląska, Katowice, Polsko</i>
doc. Ing. Petr Kotrbáček, Ph.D.	<i>Vysoké učení technické v Brně, Česká republika</i>
Dr. Ing. Ladislav Válek	<i>MSV Metal Studénka, a.s., Česká republika</i>
prof. Ing. Bedřich Smetana, Ph.D.	<i>VŠB – Technická univerzita Ostrava, Česká republika</i>
doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D.	<i>Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, ČR</i>
doc. Ing. Richard Fabík, Ph.D.	<i>ŽDB Drátovna, a.s., Bohumín, Česká republika</i>

Za původnost příspěvků, jejich věcnou a jazykovou správnost odpovídají autoři. Recenzní posudky jsou uloženy v redakci.

Od roku 2025 je časopis vydáván pouze elektronicky a je volně přístupný na adrese www.hutnickelisty.cz.

Tento časopis je šířen zdarma v režimu open access. Obsah je dostupný pod licencí Creative Commons 4.0 (CC BY-NC 4.0). To znamená, že články je možné volně stahovat, kopírovat, šířit a upravovat pro nekomerční účely, za podmínky uvedení původního zdroje a autorů. Více informací o licenci: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>

Časopis Hutnické listy se při vydávání řídí etickým kodexem, který stanovuje pravidla pro publikaci příspěvků. Tato pravidla se vztahují jak na posuzování autorských textů, tak i na následné recenzní řízení. Kodex je závazný pro autory, recenzenty i redakci. (Celé jeho znění je k dispozici na www.hutnickelisty.cz)

Authors are responsible for the originality of their contributions as well as for their factual and linguistic accuracy. Review reports are kept on file in the editorial office.

Since 2025, the journal has been published only electronically, twice a year. The journal is free of charge and available at www.hutnickelisty.cz.

This journal is distributed free of charge under an open access model. The content is licensed under the Creative Commons 4.0 (CC BY-NC 4.0). This means that articles may be freely downloaded, copied, distributed, and adapted for non-commercial purposes, provided that the original source and authors are properly acknowledged. More info about the license: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>

The journal Hutnické listy adheres to an ethical code that sets out the rules for publishing contributions. These rules apply both to the assessment of manuscripts and to the subsequent peer-review process. The code is binding for authors, reviewers, and the editorial board. (The full text of the ethical code is available at www.hutnickelisty.cz)

Úvodník

Vážení čtenáři Hutnických listů,

teploty začínají stoupat nejen ve vysokých pecích Třineckých železáren, ale i za jejich branami. Jejich příchod je zároveň příslibem toho, že vychází první číslo Hutnických listů roku 2026.

Letos uplyne již osmdesát let od vydání historicky prvního čísla Hutnických listů. Úvodního slova se v něm tehdy v červenci 1946 ujal ministr průmyslu Bohumil Laušman a vznik nového odborného časopisu pro hutnickou odbornou veřejnost velmi ocenil. Jeho úvodník spolu s dalšími články z prvního čísla najdete v našem elektronickém archivu, kde jsme je při této příležitosti zpřístupnili v plném znění.

V prvním čísle tohoto roku najdete pět recenzovaných výzkumných a vědeckých článků a čtyři převzaté výzkumné a vědecké články. Zároveň v průběhu jara proběhlo mnoho významných akcí, jejichž přehled na následujících stranách přinášíme.

Česká hutnická společnost v březnu hodnotila na Konferenci ČHS uplynulý rok. Představila své nové webové stránky a ocenila nejaktivnější členy své organizace.

Společnost VÚHŽ, a.s., se v dubnu zúčastnila konference Tube and Wire v Düsseldorfu a následně v květnu prezentovala nejnovější inovace a pokroky v systémech měření na zařízeních pro plynulé odlévání bram a bloků na konferenci AISTech 2026 v Pittsburgu v USA.

Třinecká Werk arena se v červnu stala místem setkání špičkových projektů, moderních technologií a inspirativních osobností. Pod záštitou České hutnické společnosti zde proběhl již čtvrtý ročník jedinečné výstavy inovací Invent Arena 2026, která propojila technologie, vědu, odborníky i nové talenty z Česka a zahraničí.

Vedle aktuálního dění a odborných akcí však v tomto čísle připomínáme také osobnosti, které se významně zasloužily o rozvoj českého hutnictví. U příležitosti životního jubilea RNDr. Jaroslava Raaba, dlouholetého předsedy představenstva a výkonného ředitele společnosti Hutnictví železa, a.s., přinášíme rozhovor, ve kterém vzpomíná nejen na svou profesní dráhu, ale také na proměny českého ocelářství.

A protože věříme, že i na stránky odborného časopisu patří inteligentní humor, tak se postupně v tomto i v dalších číslech podělíme o některé z přednášek věnovaných postavě Járy Cimrmana v podání prof. Ing. Jiřího Klibera, CSc., a Ing. Jaroslava Pindora, Ph.D., které v minulých letech zazněly v rámci tradičních Pivních slavností pořádaných Českou hutnickou společností.

Vážení čtenáři Hutnických listů, přeji Vám krásné a pohodové léto, vydařené dovolené a dostatek času k odpočinku i načerpání nových sil. Hutnickým listům, které letos vstupují do své osmdesáté sezóny, pak přeji, aby si i nadále zachovaly přízeň svých čtenářů a aby jejich bohatá tradice pokračovala nejméně do stého výročí jejich založení.

S úctou,

*PhDr. Jana Kocurová
Vedoucí redaktorka Hutnických listů*

Obsah / Content

Úvodník 4

Recenzované výzkumné a vědecké články články / Peer-reviewed Research and Scientific Articles

RNDr. Pavol Mikula, DrSc.; RNDr. Pavel Strunz, CSc.; Ing. Luboš Mráz, CSc. 7

On the Measurements of Residual Stresses in Poly-crystalline Metallic Materials by Neutron Diffraction

Měření zbytkových napětí v polykrystalických kovových materiálech neutronovou difrakcí

Ing. Zuzana Miškovičová, PhD.; prof. Ing. Jaroslav Legemza, PhD.; doc. Ing. Róbert Findorák, PhD.; doc. Ing. Branislav Bul'ko, PhD.; Ing. Patrik Fedorko; doc. Ing. Peter Demeter, PhD.; Ing. Slavomír Hubatka, PhD.; Ing. Lukáš Fogaraš, PhD.; Ing. Jaroslav Demeter, PhD. 13

Optimization of Physico-chemical Properties of Undersize Fractions of Manganese Ores for the Production of Mn Sinter

Optimalizace fyzikálně-chemických vlastností podsítných podílů manganových rud pro výrobu Mn aglomerátu

Ing. Patrik Fedorko; Ing. Zuzana Miškovičová, PhD.; doc. Ing. Branislav Bul'ko, PhD.; doc. Ing. Bc. Martina Hrubovčáková, PhD.; doc. Ing. Peter Demeter, PhD.; Ing. Slavomír Hubatka, PhD.; Ing. Lukáš Fogaraš, PhD.; Ing. Jaroslav Demeter, PhD. 23

Evaluation of Thermal Analysis Parameters in Relation to Shrinkage Formation in Castings Made of Ferrous Alloys

Vyhodnocení parametrů tepelné analýzy ve vztahu ke vzniku staženin v odlitcích ze slitin železa

Ing. Jana Růžička; doc. Ing. Adéla Macháčková, Ph.D.; Ing. Filip Radkovský, Ph.D. 31

Analýza vzniku vad při odlévání oceli 34CrMo4 na základě numerické simulace

Analysis of the Formation of Defects During the Casting of 34CrMo4 Steel Based on Numerical Simulation

Ing. Monika Kawuloková, Ph.D.; prof. Ing. Bedřich Smetana, Ph.D.; doc. Mgr. Ondřej Zobač, Ph.D.; Mgr. Martin Friák, Ph.D., Mgr. Ing. Sabina Kovaříková Oweis, prof. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D., Ing. Jiří Cibulka, Ph.D. 38

Studium teplot fázových transformací slitin na bázi Fe-C-Ni a Fe-C-Cr v nízkoteplotní oblasti

Study of phase transformation temperatures of Fe-C-Ni a Fe-C-Cr based alloys in the low temperature region

Převzaté výzkumné a vědecké články / Republished Research and Scientific Articles

Ing. Dalibor Jančar, Ph.D.; prof. Ing. Jozef Vlček, Ph.D.; Ing. Milan Raclavský, CSc.; Ing. Radek Nikel; Ing. Jindřich Višek; Marek Chrenko 45

Experimentální vývoj vysokopotenciálního keramického zásobníku tepla pro průmyslovou energetiku

Experimental Development of a High-Capacity Ceramic Heat Storage Tank for Industrial Power Generation

Ing. František Vrána; Ing. Pavel Fila, Ph.D.; Ing. Jan Čech, Ph.D.; Ing. Martin Balcar, Ph.D. 52

Ověření technologie odlévání malých odlitků z vakuované oceli

Validation of the Vacuum Steel Casting Technology for Small Castings

CEng. Alejandro Sanz Lara, Ph.D.; prof. Ing. Jozef Vlček, Ph.D. 60

Making Circular Business Models Beneficial for Steel Production, for the Environment, and for Market Protection

Vytváření cirkulárních obchodních modelů přínosných pro výrobu oceli, životní prostředí a ochranu trhu

Ing. Dagmar Špičková, Ph.D.; doc. Ing. Ivo Špička, Ph.D. 70

Artificial Intelligence Tools in Industrial Control: Large Language Models, Agentic Systems and Their Current Deployment

Nástroje umělé inteligence v průmyslovém řízení: Velké jazykové modely, agentní systémy a jejich současné využití

Rozhovor

RNDr. Jaroslav Raab 78

Mezi matematikou a výrobou oceli: Rozhovor s RNDr. Jaroslavem Raabem u příležitosti jeho 85. narozenin o matematice, hutnictví, lidech a proměnách českého ocelářství

Informační články / Informative Articles

Informace z činnosti ČHS a partnerských spolků 83

Informace z Ocelářské unie, a.s. 99

Informace o konferencích, výstavách a veletrzích 103

Recenzované výzkumné a vědecké články

On the Measurements of Residual Stresses in Poly-crystalline Metallic Materials by Neutron Diffraction

Měření zbytkových napětí v polykrystalických kovových materiálech neutronovou difrakcí

RNDr. Pavol Mikula, DrSc.^{1*}; RNDr. Pavel Strunz, CSc.¹; Ing. Luboš Mráz, CSc.²

¹ NUCLEAR PHYSICS INSTITUTE ASCR, v.v.i., 250 68 Řež, Czech Republic, mikula@ujf.cas.cz

² WELDING RESEARCH INSTITUTE, Račianska 71, 83259 Bratislava, Slovakia, mrabl@mail.t-com.sk

Abstract

A neutron diffraction method for mapping of residual strains/stresses inside poly-crystalline materials which is not well known in some sectors of industry, is introduced. The method routinely used on the dedicated instrument of NPI ASCR installed at the 10 MW research reactor and operated by the Research Centre Řež, is offered for external users free. Typical examples are measurements of residual strains/stresses developed e.g. in the course of welding or strains accumulated during processing and/or by fatigue of instrument components after usage after some operation. Recommended thickness of the samples is in the range from 3 mm to 20 mm and the specimen weight up to 50 kg. The experimental data are elaborated by the responsible person and then basic figures and graphs are prepared for the user. In addition, thanks to variety instrument environment, for specially prepared samples, in-situ measurements on samples subjected to external thermo-mechanical load can be carried out and thus, e.g. to study the deformation and transformation mechanisms. Principles of this enhanced method and an example of internal strain/stress measurements in the vicinity of welds are demonstrated on two welded samples.

Keywords: residual strain/stress, neutron diffraction, polycrystalline metals, welds

Abstrakt

Príspevek uvádza metodu neutronovej difrakcie pro mapování zbytkových deformací a napětí v polykrystalických kovových materiálech, která v některých průmyslových odvětvích není příliš známá. Tato metoda, běžně používaná na specializovaném přístroji v NPI ASCR instalovaném u 10 MW výzkumného reaktoru a provozovaném Centrem výzkumu s.r.o. v Řeži, je externím uživatelům nabízena bezplatně. Mezi typické příklady patří měření zbytkových deformací a napětí vzniklých například při svařování, nebo deformací nahromaděných během zpracování a/nebo v důsledku únavy součástí přístrojů po určité době provozu. Doporučená tloušťka studovaných vzorků se pohybuje v rozmezí 3 mm až 20 mm a hmotnost vzorku může činit až 50 kg. Získaná experimentální data jsou analyzována odpovědným pracovníkem a následně jsou pro uživatele připraveny základní tabulky a grafy. Kromě toho lze díky širokému přístrojovému vybavení provádět měření in-situ na speciálně připravených vzorcích vystavených vnějším termomechanickým zatížením, což umožňuje například studium mechanismů deformace a transformace. Principy této pokročilé metody a příklad měření vnitřních deformací a napětí v blízkosti svarů jsou demonstrovány na dvou svařovaných vzorcích.

Klíčová slova: zbytkové elastické deformace a napětí, neutronová difrakce, kovové polykrystaly, svary

1. Introduction

Residual stresses and distortions are important factors influencing microstructure of the material and thus, the mechanical and life properties of manufactured component. We can often meet with them in welds and their vicinity, after a thermo-mechanical load, inhomogeneous distribution of alloying elements in the material, time of a working operation etc. Many investigations have been performed in order to determine the nature and also the consequences on the properties of individual polycrystalline structures. It has been recognized that in the case of welded materials the level of residual stresses can be affected by the welding process and welding procedure. It is clear that the estimation of residual stress levels in material components is very demanding. There is a number of experimental methods that can be used in dependence on the particular experimental conditions [1,2]. When focusing on the welds, several of them, including the hole drilling method using special strain gauges, ultrasonic measurements as well as X-ray and neutron diffraction can be used to measure the stress level after welding. Both diffraction methods (X-ray or neutron) can provide information about the stress distribution within the studied material and offer the unique way for advanced (complementary) nondestructive investigation of engineering materials. Contrary to X-rays usually used for near surface examinations, the advantage of using neutrons as a probe lies in the fact that the neutrons can penetrate deeply (several millimeters) into most of materials and thus provide a bulk information about their properties [1,2]. Therefore, the neutron diffraction method is very well suited to non-destructive 3D mapping of residual stresses. There has been already found a powerful application in texture studies and radiography/tomography. Moreover, the method can be used for the in-situ investigations of the material strain/stress behavior under external thermo-mechanical load and in many cases this method provides information which cannot be obtained by other methods [3,4]. It appears attractive in the case of multiphase materials when looking at the crystalline lattice, one can study structural details of individual phases. Conventional neutron strain scanners are in fact powder diffractometers optimized for such measurements and provide $FWHM(\Delta d/d)$ – resolution related to the diffraction profiles (see the insert in **fig. 1**) of about $(5-10) \times 10^{-3}$ which is sufficient for macrostrain studies. If the diffractometer resolution is higher, even microstrain studies of materials e.g. in the plastic deformation region could be carried out, when the presence of microstrains and the grain size affect the diffraction line profiles.

2. Principle of the neutron diffraction method

When illuminated by radiation of wavelength similar to the interplanar spacing ($0.5-3 \text{ \AA}$), crystalline materials elastically and coherently scatter this radiation as distinctive Bragg peaks imaged usually by a position sensitive detector (PSD). In neutron and X-ray diffraction the angular positions of the diffraction maxima are directly related to the values of the lattice spacing through the Bragg equation $2d_{hkl} \cdot \sin \theta_{hkl} = n \cdot \lambda$ (d_{hkl} - lattice spacing, θ_{hkl} - Bragg angle, λ - the neutron wavelength) (see **fig. 1** and its insert). The diffraction peak related to the chosen gauge volume is observed at the angle of $2\theta_{hkl}$ from the direction of the incident beam. When a specimen is strained elastically, the lattice spacing changes and this elastic strain results in a shift in the value of $2\theta_{hkl}$ (for a particular reflecting plane illuminated by a fixed wavelength).

The principle of the neutron diffraction method is quite simple. It consists in the precise determination of the d_{hkl} - spacing of particularly oriented crystal planes [1,2].

However, for determination of the strain tensor, the particular diffraction geometry provides only one strain component perpendicular to the reflecting planes (i.e. parallel to the scattering vector \mathbf{Q}). When defining the strain ε as $\varepsilon = \Delta d / d_{0,hkl}$ ($d_{0,hkl}$ is the lattice spacing of the strain-free material), thus it is related to a relative change Δd in the lattice spacing with respect to $d_{0,hkl}$, i.e. to a component parallel to the scattering vector \mathbf{Q} which is perpendicular to the reflecting set of planes. Therefore, the knowledge of the $d_{0,hkl}$ value is a crucial task [3]. It should be pointed out that the shift in the Bragg angle (relative to that of the stress-free material) permits the determination of the average lattice macrostrain over the irradiated gauge volume.

For determination of the stress tensor several independent strain measurements for different orientations (usually three) of the sample with respect to the scattering vector should be carried out (see **fig. 2**). As the diffraction techniques measure components of the lattice strains, these have to be then converted to stress components $\sigma_{x,y,z}$ using appropriate material constants according to the formula

$$\sigma_x = \frac{E_{hkl}}{(1-2\nu_{hkl})(1+\nu_{hkl})} \left[(1-\nu_{hkl})\varepsilon_x^{hkl} + \nu_{hkl}(\varepsilon_y^{hkl} + \varepsilon_z^{hkl}) \right] \quad (1)$$

where $\varepsilon_{x,y,z}^{hkl}$ is the x,y,z -component of the lattice strain measured on the crystal lattice planes (hkl), E_{hkl} and ν_{hkl} are the diffraction elastic Young modulus and diffraction Poisson ratio, respectively.

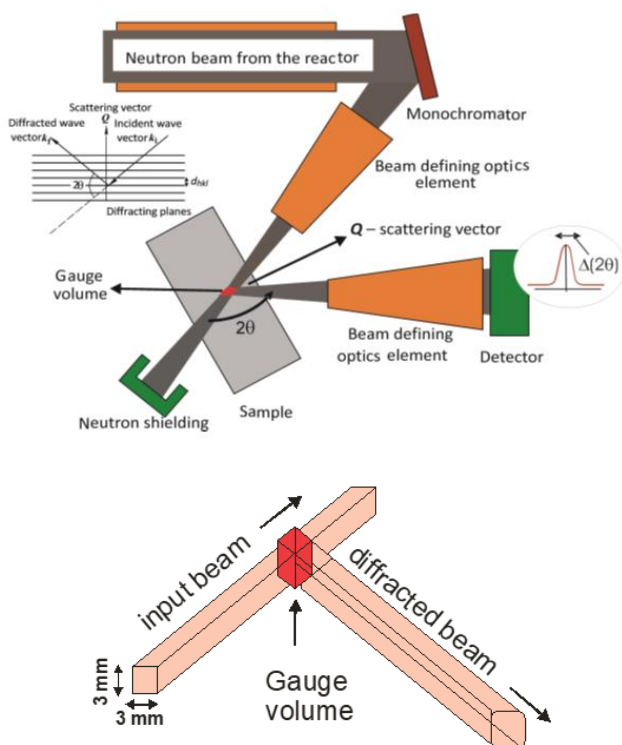


Fig. 1 Schematic illustration of a diffractometer for strain measurement and the scheme of the gauge volume

Obr. 1 Schéma difraktometru pro měření zbytkových napětí a schéma ozařovaného elementu ve vzorku

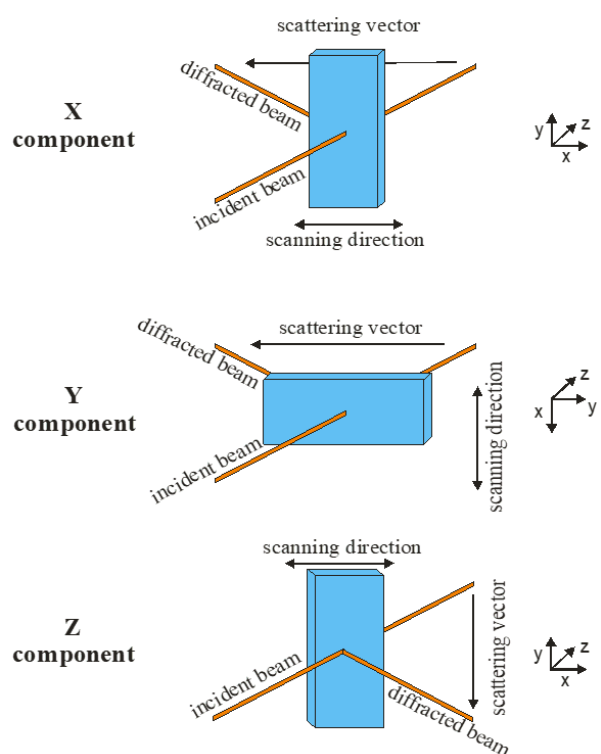


Fig. 2 Sketch of the sample orientation for measurement of 3 strain components ε

Obr. 2 Schéma orientace vzorku ve svazku pro měření 3 komponent elastické deformace ε

Corresponding relations for other y and z stress components are obtained by simple permutations of x , y and z indexes. As the strains are usually of the order of 10^{-3} - 10^{-4} and the sample gauge volumes of several cubic millimeters, a good luminosity and a measurement sensitivity of the device with respect to ε between 10^{-4} and 10^{-5} is required.

It should be pointed out that the detector signal is proportional to the irradiated volume of the sample (gauge volume) and its reflectivity, however, it is decreased by neutron beam attenuation in the material. Therefore, the characteristics of the strain/stress diffractometers are practically always a compromise between luminosity and $(\Delta d/d)$ -resolution.

3. Stress field determination around welds

Experimental measurements were carried out on the dedicated neutron strain scanner [5] installed at the medium-power (10 MW) research reactor LWR-15 in Řež, Czech Republic. As an example, the C-Mn unalloyed steel specimen of the dimension of $150 \times 200 \times 15 \text{ mm}^3$ which was cut off the circumferential weld of the storage tank, was chosen for demonstration of the strain measurement method (see **fig. 3** and **fig. 5**). During the measurement, the chosen sample was held by the robotic arm (see **fig. 4**), which made it possible to move the sample in any direction for virtual choice of the gauge volume whose dimension is determined by slits situated in the incident and diffraction beams. **Fig. 5** shows the system of coordinates related to the measurement points (gauge volumes points).

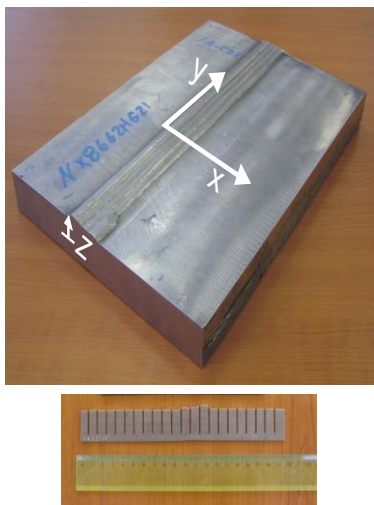


Fig. 3 Photo of the welded plate with the coordinates and a calibration stress free specimen

Obr. 3 Snímek desky se svárem a souřadnicemi a kalibrační vzorek bez napětí

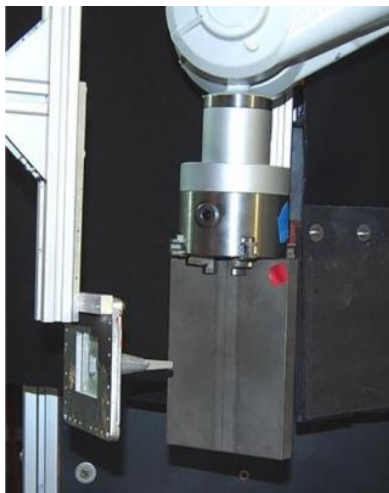


Fig. 4 Photo of the sample attached to a robotic arm of the strain/stress scanner

Obr. 4 Snímek vzorku uchycen robotickým ramenem neutronového skeneru

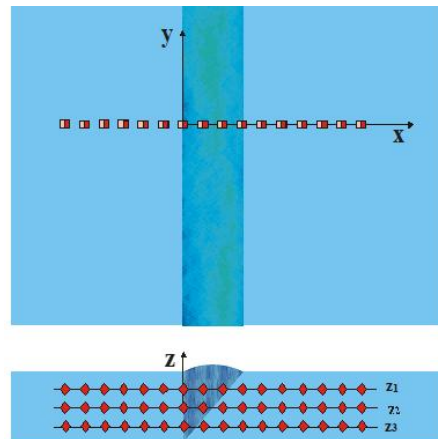


Fig. 5 System of coordinates for the experimental measurement and the measurement points

Obr. 5 Souřadnicový systém použitý pro měření a schéma vybraných měřených bodů

When a virgin stress-free sample is not at the disposal for strain calibration a specimen in the form of a comb having the cross-section of the tooth about $2 \times 2 \text{ mm}^2$ can be used for this purpose. Normal, transversal and longitudinal strain components have been estimated for three through thickness positions 3.5 mm, 7.5 mm and 11.5 mm below the weld root surface of the tested specimen. Figures **fig. 6a, b, c** show the obtained results.

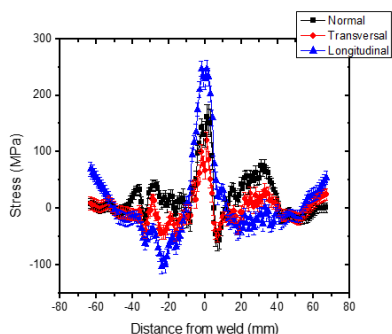


Fig. 6a Experimental results taken at the depth of 3.5 mm

Obr. 6a Experimentální výsledky získané v hloubce 3,5 mm

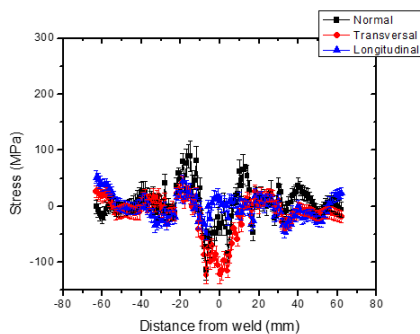


Fig. 6b Experimental results taken at the depth of 7.5 mm

Obr. 6b Experimentální výsledky získané v hloubce 7,5 mm

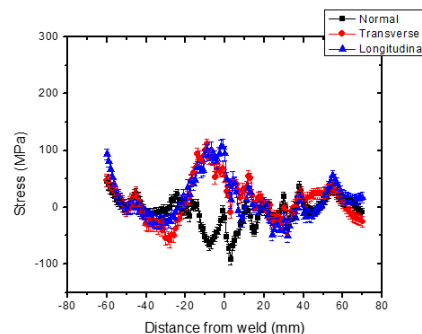


Fig. 6c Experimental results taken at the depth of 11.5 mm

Obr. 6c Experimentální výsledky získané v hloubce 11,5 mm

Next example of strain/stress measurement is documented on the weld on the T24 α -Fe pipe of the length of 180 mm and the diameter of \varnothing 33.7 x 6.3 mm (see photo on **fig. 7**), where the measurement points were situated at the depth of 3.15 mm. **fig. 8** shows the sketch of the tube orientation for measurement of three strain components.



Fig. 7 Photo of the welded on the T24 α -Fe pipe

Obr. 7 Snímek svařované trubky z materiálu T24 α -Fe

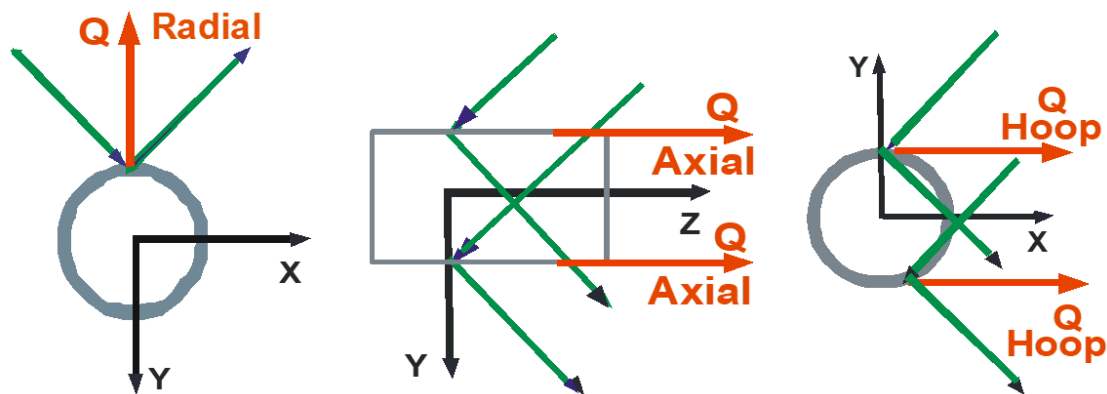


Fig. 8 The sketch of the tube orientation for the measurement of the strain components ε

Obr. 8 Schematické znázornění orientace trubky pro měření komponent elastické deformace ε

Then, **Fig. 9** shows the experimental comparison of the stress components for the sample before and after annealing. Clear drop of individual stress components after low temperature long term (48 hours) annealing is evident though not remarkable.

According to these results we assume that low temperature heat treatment can influence final behavior of circumferential welds in service.

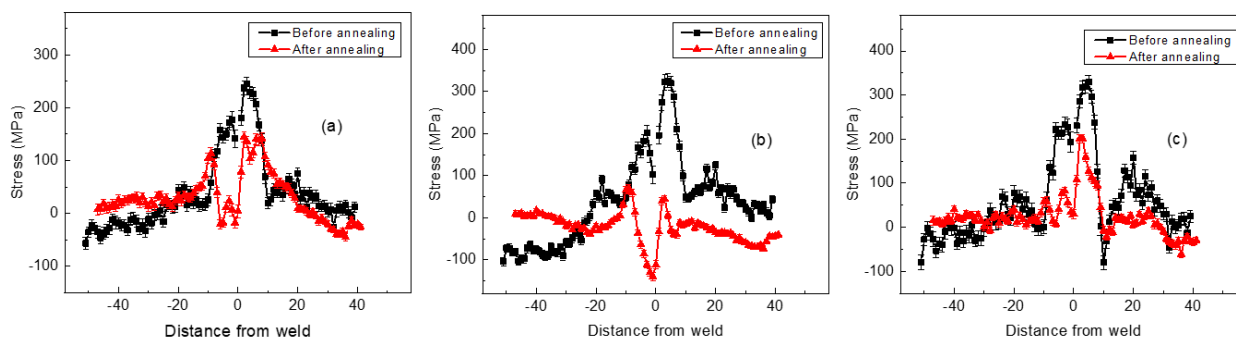


Fig. 9 Radial, axial (parallel to X-axis) and hoop (tangential) stresses in the vicinity of the weld measured before and after annealing.

Obr. 9 Radiální, axiální a tangenciální zbytková napětí naměřená v okolí sváru před a po žhání.

4. Summary

The paper, as an example, demonstrates the experimental results of two neutron diffraction applications of measurements of residual stress distribution in the vicinity of the welds. In the second case, the obtained results show that even the low temperature long term heat treatment can influence the level of residual stresses and one can suppose that this effect can play an important role in the behavior of weld during initial period of power station start up. It can be stated that a large penetration depth (in our case of about 20 mm for steels) and selective absorption of neutrons make the neutron diffraction technique a powerful tool in non-destructive testing of materials. In fact, this technique is one of few nondestructive methods that can facilitate 3-D mapping of residual stresses in bulk components. The strain/stress instrument is offered for measurements to external users free by means of the CANAM project [6].

Acknowledgement

Measurements were carried out at the CANAM instrument of NPI CAS Řež installed at the CICRR infrastructure, which is financially supported by the Ministry of Education and Culture - project LM2023041. The authors thank B. Michalcová from NPI CAS for significant help with measurements and data elaborations.

References

- [1] PINCHOVIUS, L., JUNG, V., MACHERAUCH, E., and VÖHRINGER, O., 1983, *Residual Stress Measurements by Means of Neutron Diffraction*, *Materials Science and Engineering*, 61, pp. 43-50.
- [2] NOYAN, I. C., and COHEN, J. B., 1987, *Residual Stress Measurement by Diffraction and Interpretation*, Springer-Verlag, New York.
- [3] HUTCHINGS, M. T., WITHERS, P. J., HOLDEN, T. M., and LORENTZEN, T., Introduction to the Characterization of Residual Stress by Neutron Diffraction, 2005, CRC Press, Taylor and Francis Group, New York.
- [4] LODINI, A., and FITZPATRICK, M., 2003, *Analysis of Residual Stress by Diffraction Using Neutron and Synchrotron Radiation*, Taylor and Francis Group, New York.
- [5] MIKULA, P., and WAGNER, V., Strain Scanning Using a Neutron Guide Diffractometer, 1999, Proc. of the 5th European Conference on Residual Stresses ECRS-5, Delft-Noordwijkerhout, Netherland; 2000, *Materials Science Forum*, 347-349, p. 113-118.
- [6] <https://www.ujf.cas.cz/cs/vyzkum-a-vyvoj/open-access/>; <https://canam.ujf.cas.cz>.

Optimization of Physico-chemical Properties of Undersize Fractions of Manganese Ores for the Production of Mn Sinter

Optimalizace fyzikálně-chemických vlastností podsítných podílů manganových rud pro výrobu Mn aglomerátu

Ing. Zuzana Miškovičová, PhD.¹; prof. Ing. Jaroslav Legemza, PhD.¹; doc. Ing. Róbert Findorák, PhD.¹; doc. Ing. Branislav Bul'ko, PhD.¹; Ing. Patrik Fedorko¹; doc. Ing. Peter Demeter, PhD.¹; Ing. Slavomír Hubatka, PhD.¹; Ing. Lukáš Fogaraš, PhD.¹; Ing. Jaroslav Demeter, PhD.¹

¹ TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH, Fakulta materiálov metalurgie a recyklácie, Inštitút metalurgických technológií a digitálnej transformácie, Letná 1/9, 042 00 Košice, zuzana.miskovicova@tuke.sk

Abstract

Undersize fractions of manganese ores generated during mining, transportation, and screening represent a significant secondary source of manganese. Despite their relatively high Mn content, these fine fractions cannot be directly charged into electric arc furnaces for ferroalloy production due to reduced charge permeability, increased partial pressure of CO, and the resulting rise in energy consumption of the process.

The aim of the article is to characterize the physicochemical properties of undersize fractions of Mn ores from Bosnia and Herzegovina and Gabon and to propose their optimization for the production of Mn sinters. The results confirmed significant differences in chemical composition, particularly in Mn and SiO₂ contents, which substantially influenced the sintering process and the properties of the produced sinters.

Optimization of the charge by adding dolomite, return sinter, and Gabon Mn ore led to an increase in Mn content, a decrease in SiO₂, an increase in basicity, and improvements in mechanical strength and reducibility. Agglomeration proved to be an effective method for valorizing fine fractions of manganese ores for FeSiMn production.

Key words: Mn ore; optimization; Mn sinter; reducibility; physico-chemical properties

Abstrakt

Podsítné podíly manganových rud vznikající při těžbě, transportu a třídění představují významný sekundární zdroj manganu. Navzdory jejich relativně vysokému obsahu Mn není možné tyto jemné frakce přímo vsazovat do elektrických obloukových pecí při výrobě feroslitin z důvodu zhoršení propustnosti vsázky, zvýšení parciálního tlaku CO a následného nárůstu energetické náročnosti procesu.

Cílem článku je charakterizovat fyzikálně-chemické vlastnosti podsítných podílů Mn rud z Bosny a Hercegoviny a Gabonu a navrhnout jejich optimalizaci pro výrobu Mn aglomerátů. Výsledky potvrdily výrazné rozdíly v chemickém složení, zejména v obsahu Mn a SiO₂, které významně ovlivnily průběh spekání a vlastnosti aglomerátů.

Optimalizace vsázky přidávkou dolomitu, vratného aglomerátu a Mn rudy Gabon vedla ke zvýšení obsahu Mn, snížení SiO₂, zvýšení bazicity a zlepšení mechanické pevnosti i redukovatelnosti. Aglomerace se ukázala jako efektivní způsob zhodnocení jemných frakcí manganových rud pro výrobu FeSiMn.

Klíčová slova: Mn ruda; optimalizace; Mn aglomerát; redukovatelnost; fyzikálně-chemické vlastnosti

1. Introduction

The quality of input raw materials fundamentally affects the course of reduction processes, the energy consumption of smelting, and the overall economics of production. As a result of mechanical degradation of ores during mining and handling, a significant amount of undersized fractions with particle sizes below 5–10 mm is generated, which in industrial practice often accumulates as unused material. However, these fine fractions contain a considerable amount of manganese, and their efficient processing represents both a technological and an economic challenge. Direct charging of fine particles into the furnace leads to reduced burden porosity, restricted gas flow, and increased energy losses. Therefore, these materials must be converted into a suitable granulometric form, with agglomeration being one of the most effective methods [1, 2].

Manganese is considered a strategic raw material for the global metallurgical industry. More than 90 % of total manganese production is used in steelmaking, where it functions as a deoxidizing, desulfurizing, and alloying element. It is essential for achieving the required mechanical properties of steels, particularly strength, toughness, and wear resistance. The dominant forms of its utilization are manganese ferroalloys, primarily high-carbon ferromanganese (HC FeMn) and silicomanganese (FeSiMn) [2, 3].

The quality of manganese input materials significantly influences the technological parameters of ferroalloy production. The chemical composition, mineralogical structure, granulometry, and physical properties of the ore determine the course of reduction processes in the electric arc furnace, the energy demand of smelting, the amount of slag produced, and the overall production economics. Under global market conditions, ferroalloy production is exposed to strong pressure to reduce costs and increase material efficiency. One of the major issues in current practice is the generation of large quantities of undersized manganese ore fractions during mining, transport, and screening [4, 5].

The share of fine fractions (<10 mm) may reach 10–40 % of the total processed ore. Despite their relatively high manganese content, these fine particles cannot be directly charged into the furnace, as they reduce the gas permeability of the burden, increase the partial pressure of CO, and destabilize reduction reactions. The result is increased electrical energy consumption, higher consumption of reducing agents, and reduced technological stability of the process. From the perspective of sustainable development and the circular economy, it is therefore essential to seek effective methods for valorizing these fine fractions. One of the most technologically promising approaches is agglomeration, which enables the transformation of fine-grained material into mechanically stable lump products suitable for furnace charging [4, 6].

Optimization of the agglomeration process requires detailed knowledge of the properties of the input raw materials. Without comprehensive characterization of the undersized fractions, it is not possible to design a technologically and economically efficient processing method [4, 7].

Furthermore, current trends in metallurgy, including the application of digital twins for process monitoring and optimization, as well as the gradual transition toward hydrogen-assisted processing routes, highlight the need for detailed material characterization as a prerequisite for future low-carbon and data-driven production strategies [8].

In light of the above, the aim of this study is to comprehensively analyze the physicochemical properties of undersized manganese ore fractions and experimentally verify the possibilities for their optimization through laboratory-scale agglomeration.

2. Materials and methods

The granulometric composition of Mn ores and Mn agglomerates was determined by sieve analysis using a KVT-U-2 vibratory pendulum sieve shaker. The bulk density was determined experimentally by measuring the mass of the material in a known volume. The chemical composition was analyzed by atomic absorption spectrometry (AAS) and using a portable Niton XL3 Gold spectrometer. The phase composition was determined by X-ray diffraction (XRD) analysis on PANalytical X'Pert PRO MRD and SEIFERT XRD 3003/PTS instruments. The melting temperature interval was determined using a Leitz WETZLAR high-temperature microscope. Laboratory sintering tests were carried out in a laboratory sintering pan (LSP). The mechanical strength of Mn agglomerates was determined by the drum test in accordance with STN ISO 3271 (44 1570). The reducibility of the agglomerates was evaluated according to ISO 4695:2007, which was used as a comparative methodology due to the lack of a standardized procedure for manganese agglomerates.

3. Results and discussion



The analyzed undersized fractions originated from manganese ores from Bosnia and Herzegovina and Gabon. The undersized fractions of manganese ores from Bosnia and Herzegovina and Gabon differ significantly in both chemical and mineralogical composition (tab. 1). The Gabonese ore is characterized by a substantially higher total manganese content (45.95 wt. %) compared to the ore from Bosnia and Herzegovina, where the Mn content reaches 25.58 wt.%. The iron content is nearly identical in both cases (6.15 wt. % Bosnia; 6.14 wt. % Gabon).

A key difference between the ores lies in their SiO₂ content: the Bosnian ore contains 23.67 wt. % SiO₂, while the Gabonese ore contains only 4.50 wt.%. The higher silicate content in the Bosnian ore increases its gangue character and influences its behavior during thermal processing. Al₂O₃ contents are comparable, while CaO and MgO are slightly higher in the Bosnian ore. Both materials exhibit low basicity (0.09 for Bosnia; 0.02 for Gabon), indicating an overall acidic character. A significant difference was also observed in melting temperature: 1227 °C for the Bosnian ore and above 1550 °C for the Gabonese ore. The lower melting point of the Bosnian ore is related to its high SiO₂ content and formation of low-melting silicate phases, whereas the Gabonese ore, rich in manganese oxides and low in silicates, shows higher thermal stability. Granulometrically, the Bosnian ore is dominated by 1–5 mm fractions, while the Gabonese ore contains more coarse particles. XRD analysis confirmed that the Bosnian ore contains quartz and silicate phases, whereas the Gabonese ore is mainly composed of manganese oxides. Overall, the Gabonese undersized fractions represent a material with higher Mn concentration and greater thermal stability, while the Bosnian ore has higher gangue content and lower melting temperature, which significantly affects its high-temperature behavior.

The processing of undersized Mn ore fractions was carried out under laboratory conditions using a laboratory sintering pan (LSP – **fig. 1**). This equipment is used to simulate operating conditions occurring on the sintering strand during the sintering process. The LSP is characterized by its ability to investigate various factors influencing the sintering process, thereby enabling optimization of the parameters affecting the production of Mn agglomerate.

Tab. 1 Physicochemical properties of undersize fractions of Mn ores

Tab. 1 Fyzikálně-chemické vlastnosti podsítných podílů Mn rud

Undersize fractions of Manganese ores			
		Bosna and Hercegovina	Gabon
Chemical composition (wt.%)	Mn _{TOT}	25.58	45.95
	Fe _{TOT}	6.15	6.14
	SiO ₂	23.67	4.50
	Al ₂ O ₃	5.74	5.93
	CaO	1.14	0.12
	MgO	1.41	0.10
	P	0.08	0.06
	S	0.04	0.06
	Na ₂ O	0.10	0.10
	K ₂ O	1.78	0.99
Basicity	B	0.09	0.02
Granulometric composition (%)	< 0.5 mm	2.56	3.05
	0.5-1 mm	3.06	5.13
	1-2 mm	18.12	11.01
	2-3.15 mm	19.16	8.07
	3.15-5 mm	28.54	11.78
	5-6.3 mm	18.21	12.43
	6.3-8 mm	8.95	21.48
	8-10 mm	1.40	27.04
Average grain diameter (mm)	D _{avg}	4.13	6.71
Apparent specific density (g.cm⁻³)	ρ _A	1378.5	1425.2
Melting point (°C)		1227	> 1550
Mineralogical composition	XRD	quartz pyrochroite braunite jacobsite	pyrochroite hydrated illite pyroluzite magnetite braunite birnessite

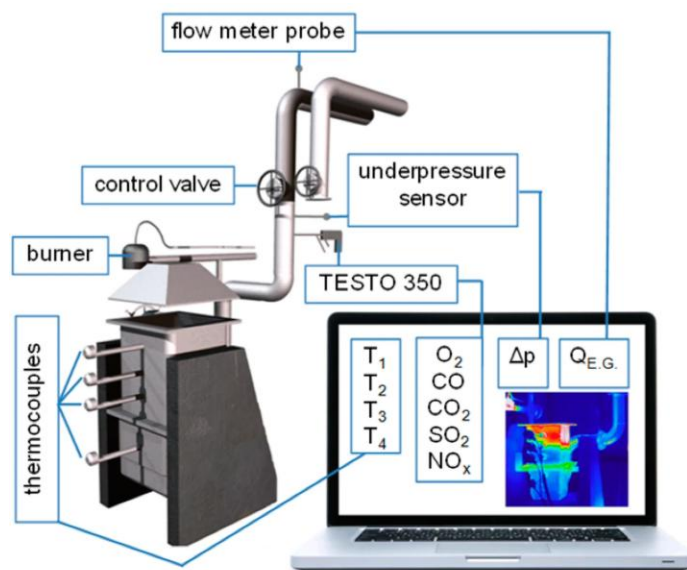


Fig. 1 Laboratory sintering pan
Obr. 1 Laboratorní spékací pánev

The production of Mn agglomerates was divided into a cold and a hot section. The cold section included preparation and weighing of charge components, pre-pelletizing, moisture determination, and permeability measurement by monitoring airflow through the mixture for 120 seconds. The hot section involved preheating the sintering pan, charging it with the pre-pelletized mixture, surface ignition, and sintering. The LSP (300 × 300 × 400 mm) operated under negative pressure provided by an exhaust fan and was equipped with a cyclone for dust capture. Temperatures were monitored by thermocouples (PtRh10–Pt for the sintered layer, NiCr–Ni for flue gas), and flue gas composition was analyzed using a TESTO 350 analyzer, with data recorded via PC software. All experiments were based on BaH manganese ore as the main charge component, with additional materials selected according to optimization requirements for the desired agglomerate properties (fig. 2).

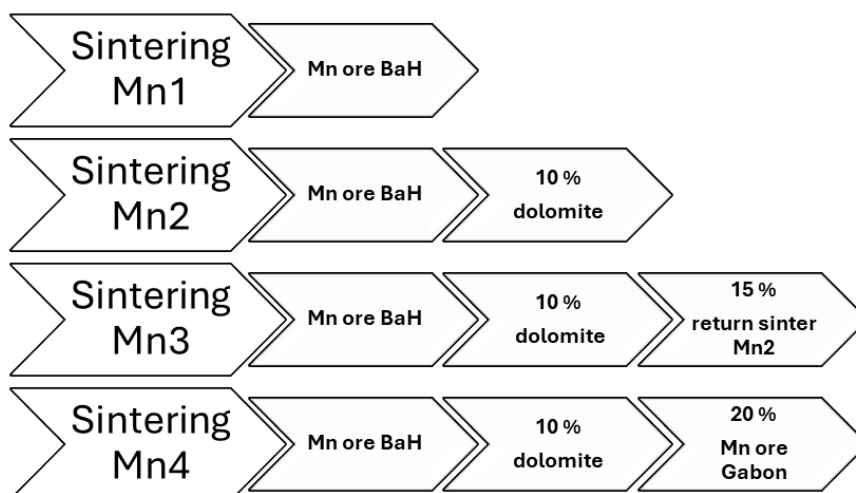


Fig. 2 Schematic diagram of the charge composition for individual sintering experiments
Obr. 2 Schéma složení vsázky pro jednotlivá spékání

The sinter mixture also included coke breeze (**Tab. 2**). The individual sintering tests differed in the composition of the input components.

Tab. 2 Composition of coke breeze

Tab. 2 Složení koksového prachu

Moisture (%)	Ash (%)	Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)	Sulfur (%)	Calorific value (MJ/kg)	
0.8	13.9	2.65	83.45	0.55	28.45	
Chemical composition of ash (%)						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
34.7	21.1	27.2	6.8	2.8	1.6	0.6

Sintering test Mn1 represented a pilot verification experiment for the series of experiments carried out on the undersized fractions of the BaH manganese ore. Sintering test Mn2 was conducted with the addition of 10 % dolomite (**tab. 3**).

Tab. 3 Chemical composition of dolomite

Tab. 3 Chemické složení dolomitu

Content (%)									
Fe _{TOT}	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Mn _{TOT}	S	C	H ₂ O
0.12	0.17	0.93	29.69	21.33	0.33	0.01	0.007	12.974	3

Dolomite was added in order to influence the phase composition and improve the reducibility of the agglomerate. The undersized fractions of the BaH manganese ore have an acidic character, and during sintering, poorly reducible silicate phases are formed.

Therefore, the addition of dolomite was selected as an optimization measure. The 10 % addition was determined with the aim of maintaining the acidic character of the Mn agglomerate intended for FeSiMn production, and this proportion was also used in subsequent sintering tests. Sintering test Mn3 included the addition of 15% return agglomerate Mn2 with a particle size below 8 mm (**tab. 4**).

This addition was implemented from technological, economic, and environmental perspectives. The return agglomerate contains unreacted fuel, thereby contributing to the thermal balance of the process, increasing the Mn content in the charge, and reducing the need for landfilling. At the same time, it improves the granulation of the mixture and reduces the required water addition.

Tab. 4 Chemical composition of return sinter

Tab. 4 Chemické složení vratného aglomerátu

Content (%)									
Return sinter Mn2	Mn _{TOT}	Fe _{TOT}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	K ₂ O	C
	27.29	5.62	21.84	3.68	4.94	2.37	0.049	1.96	3.83

Sintering test Mn4 was carried out with the addition of 20 % undersized fractions of Gabon manganese ore. The aim was to increase the manganese content of the agglomerate, as the Gabonese ore contains approximately 45.95 % total Mn and represents a high-quality raw material. The 20 % proportion was determined with regard to the material balance, since the fraction below 10 mm accounts for approximately 27 % of the total supply of this ore delivered to the plant. Half of the used Gabon manganese ore was pre-treated by crushing prior to use in order to ensure a high degree of mixture homogeneity (**tab. 5**).

Tab. 5 Granulometric composition of modified Gabon Mn ore

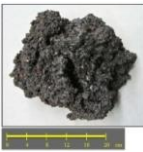
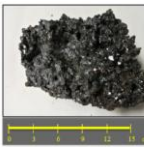


Tab. 5 Granulometrické složení modifikované Mn rudy Gabon

Particle size classes (mm)										
Percentage share (%)	- 0.5	0.5-1	1-2	2-3.15	3.15-5	5-6.3	6.3-8	8-10	+ 10	D _{str}
		18.25	10.0	21.84	15.29	16.86	7.95	4.99	3.57	1.25

The individual sintering tests were carried out according to the established methodology, with the charge composition based on the material balance. The components were precisely weighed and homogenized in a pre-pelletizing device. The permeability of the prepared sinter mixtures was approximately 0.4 m³/min, ensuring suitable conditions for air suction during sintering.

Sintering test Mn1 represented a pilot verification of parameters for the undersized fractions of the BaH manganese ore. The coke breeze content was set at 6.75 %. The maximum temperature reached approximately 1150 °C (T₂), and the total sintering time was 21 minutes. In sintering test Mn2 (BaH + 10 % dolomite), the coke breeze content was slightly increased to 6.91 % in order to compensate for the endothermic decomposition of dolomite. The maximum temperature reached approximately 1125 °C, and the sintering time was about 18 minutes. Sintering test Mn3 included the addition of 15 % return agglomerate Mn2 (<8 mm). Due to the residual carbon content in the return agglomerate (3.83 % C), the proportion of coke breeze was reduced to 6.50%. The maximum temperature reached approximately 1191 °C, while the sintering time was extended to 27:50 minutes, which was related to altered gas and heat transfer conditions within the sintered layer. In sintering test Mn4 (BaH + 10 % dolomite + 20% Gabon Mn ore), the coke breeze content was increased to 7.19% due to the coarser-grained nature of the Gabonese ore and the need to ensure a sufficient thermal effect. The maximum temperature reached approximately 1194 °C, and the total sintering time was 21:07 minutes. The temperature profiles were more uniform and the sintering process was more stable compared to the previous variants.

Tab. 6 Physicochemical properties of produced Mn sinters / **Tab. 6** Fyzikálně-chemické vlastnosti vyrobených Mn aglomerátů

Mn sinters					
		Mn1	Mn2	Mn3	Mn4
Chemical composition (wt.%)	Mn _{TOT}	33.92	32.66	32.11	38.72
	Fe _{TOT}	7.42	6.09	6.08	6.15
	SiO ₂	24.88	21.60	19.11	17.41
	Al ₂ O ₃	4.37	3.63	3.52	4.23
	CaO	1.36	5.56	6.02	4.84
	MgO	1.28	2.74	2.74	1.45
	P	0.06	0.05	0.043	0.046
	S	0.1	0.09	0.111	0.086
	K ₂ O	1.94	1.85	1.92	1.76
	C	1.13	0.64	0.919	0.409
Basicity	B	0.09	0.33	0.39	0.29
Granulometric composition (%)	< 5 mm	25.14	22.23	15.03	21.50
	5-8 mm	11.68	8.71	5.75	5.59
	8-10 mm	1.95	3.26	1.63	1.54
	10-25 mm	13.58	14.50	16.75	9.88
	25-40 mm	8.64	11.41	9.55	8.14
	> 40 mm	39.01	39.89	51.28	50.34
Average grain diameter (mm)	D _{avg}	26.28	25.89	32.59	30.82
Mechanical strenght (%)	ISO +6.3	47.93	62.91	53.52	57.63
	ISO -0.5	8.87	8.53	10.56	8.75
Melting point (°C)		1225	1220	-	1240
Mineralogical composition (%)	Hausmannite	12.36	13.68	8.75	14.22
	Pyroluzite	0.74	0.68	0.39	0.43
	Manganosite	1.94	1.67	1.45	1.44
	Jacobsite	16.70	19.68	18.88	20.65
	Marokite	8.35	4.77	9.67	12.56
	Quartz	5.38	6.69	6.45	4.84
	Fe-Mn olivine	2.75	3.40	5.79	5.70
	Complex phases	9.04	11.3	14.4	13.1
	Amorphous fraction	42.8	38.1	34.2	27.8

The Mn1–Mn4 agglomerates differed in chemical composition, basicity, granulometry, and mechanical strength due to changes in charge composition (**tab. 6**). Mn1 showed low basicity ($B = 0.09$), high SiO_2 (24.88 wt. %), and the lowest strength (47.93 %). The addition of 10 % dolomite (Mn2) increased basicity ($B = 0.33$), reduced SiO_2 , and resulted in the highest strength (62.91 %). Mn3 (15% return agglomerate) reached the highest basicity ($B = 0.39$) and the coarsest granulometry, with moderate strength (53.52 %). Mn4 (20% Gabon ore) achieved the highest Mn content (38.72 wt. %) and lowest SiO_2 (17.41 wt. %) while maintaining good strength (57.63 %).

In general, increasing basicity improved mechanical strength, whereas the addition of Gabon ore enhanced Mn content and reduced SiO_2 , making Mn4 the most balanced material in terms of chemical and mechanical properties. Phase analysis confirmed the presence of Mn oxide phases (Mn_3O_4 , MnO, MnO_2 , jacobsonite, marokite) and complex silicates (e.g., FeMnSiO_4), along with a significant amorphous fraction in all agglomerates. From Mn1 to Mn4, the amorphous content gradually decreased (42.8 % \rightarrow 27.8 %), while the proportion of crystalline oxide and silicate phases increased, indicating a higher degree of structural ordering in the optimized agglomerates, particularly Mn4.

The melting temperature of Mn agglomerates was primarily controlled by SiO_2 content, basicity, and phase composition. Higher silicate and amorphous contents lowered melting temperatures due to MnO– SiO_2 eutectic formation, whereas increased basicity and a higher share of Mn oxides enhanced thermal stability. Overall, lower SiO_2 and higher total Mn improved the thermal resistance of the agglomerates.

The reducibility of Mn agglomerates depends mainly on the mineral form of manganese and its bonding in oxide or silicate phases. Mn oxides (MnO_2 , Mn_3O_4 , MnO) are readily reduced by CO or C, whereas manganese bound in silicate phases such as $(\text{Fe,Mn})_2\text{SiO}_4$ is more stable and requires higher temperatures and longer reduction times. Therefore, higher SiO_2 content lowers reducibility by incorporating Mn into less reactive silicate structures. Reduction tests in a controlled reducing atmosphere revealed distinct behavior between Mn1 and Mn4 (**fig. 3**).

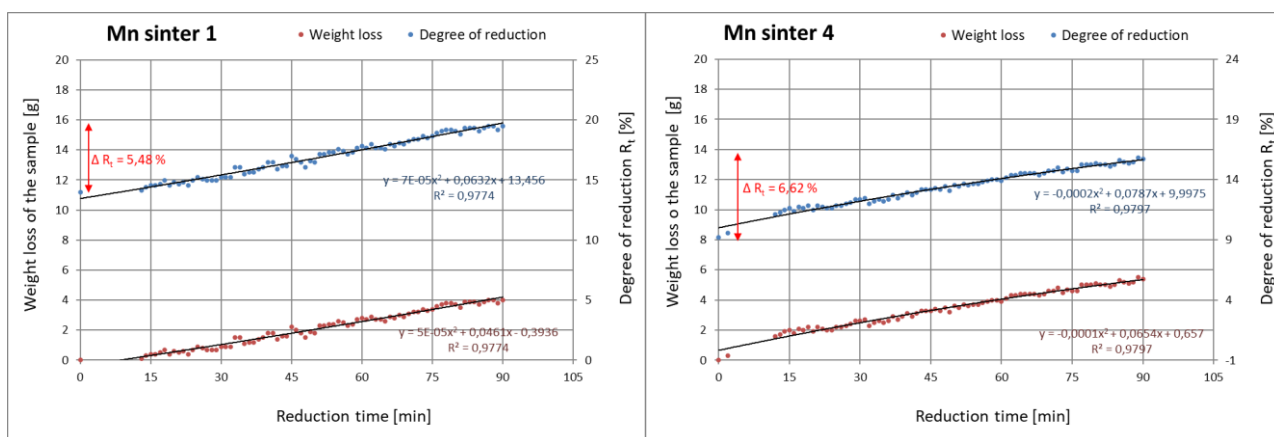


Fig. 3 Evaluation of Mn sinters Mn1 and Mn4 after the reducibility test – 90 min
Obr. 3 Vyhodnocení Mn aglomerátů Mn1 a Mn4 po testu redukovatelnosti – čas 90 min

The more acidic Mn1 showed a slower reduction rate due to its higher SiO_2 content and higher proportion of silicate phases, and part of the manganese remained unreduced even after 90 minutes.

In contrast, Mn4, characterized by higher total Mn content and lower SiO₂, exhibited a faster and more intensive reduction process, as the lower silicate matrix content allowed easier access of the reducing gas to oxide phases. Overall, optimization of chemical composition—particularly reduction of SiO₂ and increase of total Mn—enhances agglomerate reducibility and contributes to lower energy consumption in subsequent FeSiMn production.

The experiments were not repeated; therefore, statistical evaluation of repeatability and measurement uncertainty was not performed. The results serve primarily for comparative assessment of the tested charge modifications.

4. Conclusion

The undersized Mn ores from Bosnia and Herzegovina and Gabon differed significantly in chemical composition, which influenced the properties of the produced agglomerates. BaH ore had higher SiO₂ and low basicity, while Gabon ore contained more Mn and fewer silicates. By modifying the charge composition (10 % dolomite, 15% return agglomerate, 20% Gabon ore), total Mn increased from 33.92 wt. % (Mn1) to 38.72 wt. % (Mn4), and SiO₂ decreased from 24.88 wt. % to 17.41 wt. %. Basicity rose from 0.09 to 0.29–0.39, and mechanical strength improved from 47.93 % to a maximum of 62.91 %. The amorphous phase decreased while crystalline phases increased. Lower SiO₂ and higher Mn improved melting and reduction behavior, with Mn4 showing the most balanced overall properties.

Acknowledgements

This research was funded by VEGA project No. 1/0199/24 „Development of mathematical control models and digital twins for individual steel production processes based on machine learning with the aim of increasing the competitiveness of the sector and reducing the carbon footprint“, APVV project APVV-24-0240 „Hydrogen potential in the processing of ferrous materials“ and APVV project APVV-21-0142 „The potential of hydrogen utilization in metallurgical industry of SR aimed on decrease of CO₂ production“.

REFERENCES

- [1] TANGSTAD, M., 2013. Chapter 7 – Manganese Ferroalloys Technology. In: GASIK, M., ed. Handbook of Ferroalloys. United Kingdom: Elsevier Ltd., s. 221–266. ISBN 9780080977539.
- [2] TANGSTAD, M. et al., [rok neuveden]. Behavior of agglomerates in ferromanganese production. In: The Twelfth International Ferroalloys Congress: Sustainable Future. Helsinki, Finland. ISBN 978-952-92-7340-9.
- [3] LEGEMZA, J. et al., 2012. Optimalizace druhů manganových rud pro výrobu manganových ferozliatin v OFZ, a. s., bez použití aglomerátu. Závěrečná zpráva výzkumného úkolu. Košice: Technická univerzita v Košicích.
- [4] GUPTA, D. N. a KHANDELWAL, G. P., [rok neuveden]. Utilisation of ore fines by agglomeration with special reference to sintering of manganese ore fines [online]. [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://eprints.nmlindia.org/6011/1/110-115.PDF>
- [5] TATHAVADKAR, V. et al., 2010. Effect of manganese ore blends on performance of submerged arc furnace for ferromanganese production. Ironmaking and Steelmaking 37 (2010). ISSN 0301-9233.
- [6] MOHAPATRA, B. K. a NAYAK, B., 2005. Petrology of Mn carbonate–silicate rocks from the Gangpur Group, India. Journal of Asian Earth Sciences 25 (2005) 5, 773–780.
- [7] SØRENSEN, B. et al., 2010. Phase compositions of manganese ores and their change in the process of calcination. International Journal of Mineral Processing 94 (2010), 101–110. ISSN 0301-7516.
- [8] Miškovičová, Z.; Legemza, J.; Demeter, P.; Bul'ko, B.; Hubatka, S.; Hrubovčáková, M.; Futáš, P.; Findorák, R. An Overview Analysis of Current Research Status in Iron Oxides Reduction by Hydrogen. Metals 2024, 14, 589. <https://doi.org/10.3390/met14050589>

Evaluation of Thermal Analysis Parameters in Relation to Shrinkage Formation in Castings Made of Ferrous Alloys

Vyhodnocení parametrů tepelné analýzy ve vztahu ke vzniku staženin v odlitcích ze slitin železa

Ing. Patrik Fedorko¹; Ing. Zuzana Miškovičová, PhD.¹; doc. Ing. Branislav Bul'ko, PhD.¹; doc. Ing. Bc. Martina Hrubovčáková, PhD.¹; doc. Ing. Peter Demeter, PhD.¹; Ing. Slavomír Hubatka, PhD.¹; Ing. Lukáš Fogaraš, PhD.¹; Ing. Jaroslav Demeter, PhD.¹

¹ TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE, Faculty of Materials, Metallurgy and Recycling, The Institute of Metallurgical Technologies and Digital Transformation, Letná 1/9, 042 00 Košice, SR, patrik.fedorko@tuke.sk

Abstract

The paper deals with the evaluation of thermal analysis parameters in relation to the formation of shrinkage cavities during the casting of cast iron castings with EN-GJS-500-7 spheroidal graphite. The evaluation was performed on eight melts using single-cup thermal analysis with OCC equipment. The graphitic eutectic temperature, cementite eutectic temperature, and eutectic graphitization ability (EGS) were calculated from the chemical composition. At the same time, the parameter θ , expressing the change in the dynamics of the eutectic reaction, was determined from the first derivative of the cooling curve.

The results showed that no clear correlation was confirmed between the EGS value and the occurrence of shrinkage. On the contrary, the parameter θ showed higher sensitivity, with higher angle values recorded for melts with shrinkage. The findings point to the importance of dynamic analysis of the solidification process in assessing the risk of volume defects and may contribute to the validation of numerical solidification models within digital twin concepts applied in controlled mould systems.

Key words: Thermal analysis; Ductile cast iron; Shrinkage porosity; Cooling curve; Eutectic reaction; θ parameter

Abstrakt

Článek se zabývá vyhodnocením parametrů termické analýzy ve vztahu k tvorbě smršťovacích dutin při odlévání litinových odlitků s kuličkovým grafitem EN-GJS-500-7. Vyhodnocení bylo provedeno na osmi taveninách pomocí termické analýzy s využitím jednoho kelímku se zařízením OCC. Z chemického složení byla vypočtena eutektická teplota grafitu, eutektická teplota cementitu a eutektická grafitizační schopnost (EGS). Zároveň byl z první derivace křivky ochlazování stanoven parametr θ , vyjadřující změnu dynamiky eutektické reakce.

Výsledky ukázaly, že mezi hodnotou EGS a výskytem smršťování nebyla potvrzena žádná jasná korelace. Naopak parametr θ vykazoval vyšší citlivost, přičemž vyšší hodnoty úhlu byly zaznamenány u tavenin se smršťováním. Zjištění poukazují na význam dynamické analýzy průběhu tuhnutí při hodnocení rizika vzniku objemových vad a mohou přispět k validaci numerických modelů tuhnutí v rámci konceptů digitálních dvojčat aplikovaných na řízené systémy krystalizátorů.

Klíčová slova: termická analýza; litinový odlitek; porozita; křivka ochlazování, eutektická reakce, parametr θ

1. Introduction

Quality control of molten metal prior to casting is a crucial step in the production of ductile cast iron (DCI), particularly in terms of minimizing shrinkage and ensuring the required number of graphite spheres. Traditional methods of metal quality assessment, such as chill tests or cone sample tests, are time-consuming and their results show significant variability depending on the casting conditions.

Thermal analysis (TA) based on cooling curve recording allows real-time evaluation of eutectic crystallization. In the case of gray cast iron (GCI), a three-tellurium method has been developed that allows the eutectic graphitization ability (EGA) to be determined and the tendency to chilling to be reliably predicted [1].

However, the application of the three-taper method to DCI is problematic, mainly due to the binding of magnesium and modifiers to elements affecting the eutectic temperature, which makes it impossible to directly identify the graphitic and cementite eutectic temperatures by measurement [1].

Thermal analysis based on the evaluation of the cooling curve has been one of the standard tools for assessing the quality of liquid metal since the 1960s. Correlations have been demonstrated between the recrystallization process, the degree of undercooling, and the resulting microstructure of castings, particularly in terms of graphite type and cementite formation tendency [2]. Later work confirmed that parameters derived from the cooling curve allow the nucleation potential of the melt to be quantified and the mechanical properties of castings to be predicted [3].

In the case of DCI, the course of eutectic crystallization is more complex due to the presence of magnesium and modifiers that affect the thermodynamic conditions of graphitic and cementite reactions. It has been shown that the maximum eutectic temperature during solidification does not reach the graphitic eutectic temperature determined by the three-glue method, which complicates its direct use [1]. Analysis of the solidification process of Si-alloyed DCI also showed a significant influence of chemical composition on the stability of the eutectic reaction and graphite morphology [4].

In addition to evaluating the nucleation potential, attention is also focused on the possibility of predicting volume defects. It has been shown that parameters derived from the differentiation of the cooling curve correlate with the tendency to form shrinkage cavities, whereby thermal analysis can replace classic cone tests [5].

To overcome these limitations, a one-cup thermal analysis method has been developed, which allows the graphitic eutectic temperature (TEG) and cementite eutectic temperature (TEC) to be determined by calculating the chemical composition of the melt.

Subsequently, the minimum eutectic temperature at recrystallization (TSC) is determined from the cooling curve and the eutectic graphitization ability (EGA) is calculated according to equation (1):

$$EGA = \Delta T1 \times 100 / \Delta TE \quad (1)$$

where $\Delta TE = TEG - TEC$; $\Delta T1 = TSC - TEC$ [1].

For DCI, a strong correlation between EGA and the number of graphite balls N ($r = 0.97$) has been experimentally demonstrated, with equation (1) applying [1]:

$$N = 6.13 \times (\Delta T1 \times 100 / \Delta TE) - 126 \quad (2)$$

In addition to evaluating the nucleation ability, the differentiation of the cooling curve also allows the determination of the parameter of the tendency to form shrinkage cracks θ , which is based on the analysis of the cooling rate during eutectic crystallization. It has been shown that the parameter θ correlates with the volume of shrinkage in a conical test sample and that at values of θ approximately $55 \pm 10^\circ$, no shrinkage occurs in the test specimen [1].

The aim of the work was to verify the possibility of using single-cup thermal analysis to evaluate the tendency to form shrinkage cavities in DCI EN-GJS-500-7 under operating production conditions. Eight samples were analyzed experimentally, for which characteristic temperatures were determined from cooling curves, eutectic graphitization ability (EGS) was calculated, the estimated number of graphite balls N was determined, and the parameter θ expressing the tendency to form shrinkage cavities was determined.

In recent years, monitoring of the solidification process has gained importance in the context of developing digital models (twins) of metallurgical processes. Experimentally determined parameters derived from thermal analysis can serve as validation inputs for numerical simulations and digital twin concepts of controlled solidification systems. This approach is particularly relevant for the optimization of mould systems and impact plates, where local thermal conditions directly influence solidification behaviour. Accurate characterization of solidification dynamics is therefore essential not only for quality control, but also for model calibration and process optimization.

The parameters obtained were compared with the actual occurrence of shrinkage in the evaluated castings to assess the suitability of the monitored variables for practical melt quality control.

2. Material and methodology

The experimental evaluation was performed on castings made of DCI EN-GJS-500-7. The melts produced under foundry operating conditions were evaluated. The chemical composition of individual samples was determined by spectral analysis and served as an input parameter for calculating the graphitic and cementite eutectic temperatures.

A total of eight samples were evaluated, in which the relationship between the parameters obtained from thermal analysis and the occurrence of shrinkage in the castings was monitored.

The chemical composition of the individual melts evaluated was determined by spectral analysis. The element contents were used as input parameters for calculating the graphitic eutectic temperature (TES) and cementite eutectic temperature (TEM). An overview of the chemical composition is given in **tab 1**. The type of casting used to assess shrinkage is shown in **fig. 1**.

Tab. 1 Chemical composition of evaluated melts (wt. %)

Tab. 1 Chemické složení hodnocených tavenin (hm. %)

Sample	Si	Mn	P	Cu	Cr	Ni	Mo	Sn	Al	Sb	B	W	V	Nb
K1	2,246	0.288	0.025	0.324	0.019	0.013	0.004	0.004	0.022	0.001	0.0001	0.001	0.003	0.003
K2	2.225	0.286	0.024	0.32	0.019	0.012	0.004	0.004	0.02	0.001	0.0001	0.001	0.004	0.003
K3	2.206	0.274	0.025	0.323	0.019	0.013	0.004	0.004	0.02	0.001	0.0001	0.001	0.003	0.003
K4	2.273	0.276	0.025	0.319	0.019	0.012	0.004	0.004	0.022	0.001	0.0001	0.001	0.004	0.003
K5	2.227	0.273	0.025	0.322	0.018	0.011	0.003	0.004	0.017	0.001	0.0001	0.002	0.004	0.003
K6	2.258	0.272	0.025	0.321	0.018	0.011	0.003	0.004	0.018	0.001	0.0001	0.001	0.003	0.003
K7	2.258	0.286	0.027	0.33	0.02	0.012	0.003	0.004	0.013	0.001	0.0002	0.001	0.003	0.004
K8	2.247	0.277	0.029	0.331	0.02	0.012	0.003	0.004	0.015	0.001	0.0002	0.001	0.003	0.003



Fig. 1 Type of casting used to assess the occurrence of shrinkage

Obr. 1 Typ odlitku používaný k posouzení výskytu smrštění

A single-cup thermal analysis performed using an OCC PhaseLab device with a sand crucible was used to evaluate the solidification process. The temperature was recorded during the solidification of the sample and a cooling curve was subsequently processed.

The characteristic temperatures of the eutectic reaction were determined from the measured cooling curve. The minimum eutectic temperature during recrystallization (TSC) was determined directly from the curve. The graphitic eutectic temperature (TES) and cementite eutectic temperature (TEM) were calculated from the chemical composition of individual melts according to the methodology published for single-cup thermal analysis [1]. The determination of characteristic points on the cooling curve is based on the principles of DCI differential solidification analysis [3].

The eutectic reaction interval was defined as (3):

$$\Delta TE = TES - TEM \quad (3)$$

The difference between the minimum eutectic temperature during recrystallization and the cementite eutectic temperature was determined as (4):

$$\Delta T1 = TSC - TEM \quad (4)$$

Based on these values, the eutectic graphitization ability (EGS) was calculated (5):

$$EGS = (\Delta T1 \cdot 100) / \Delta TE \quad (5)$$

The number of graphite spheres N was estimated from the relationship (6):

$$N = 6.13 \cdot (\Delta T1 \cdot 100 / \Delta TE) - 126 \quad (6)$$

The relationship between the parameters of the cooling curve and the tendency to form shrinkage has been demonstrated in the literature by several authors [1,2,5]. The diagram for calculating EGS and N is shown in **fig. 2**.

Determination of the parameter θ

In addition to evaluating the eutectic graphitization ability, the parameter θ was determined from the differential cooling curve, which expresses the tendency to form shrinkage during eutectic crystallization. Analysis of the cooling rate curve in the eutectic reaction region allows the stability of the graphitization reaction and the associated volume changes during solidification to be identified [3,5]. The differential curve provides information on the dynamics of latent heat release and the ability of the system to compensate for melt contraction by graphitization expansion [4].

The parameter θ was determined from the section of the differential curve in the eutectic recrystallization region as the angle between the reference axis and the line approximating the relevant part of the cooling rate curve. This parameter was proposed as a quantitative indicator of the tendency to form shrinkage cavities in single-cup thermal analysis [1,2]. Higher values of the parameter θ correspond to a more stable course of the eutectic reaction and a lower risk of volume defects. It has been experimentally proven that the parameter θ correlates with the occurrence of shrinkage in test specimens and in real castings [1,2,5]. The angle θ was determined from equation (7) according to the diagram (**fig. 3**):

$$\theta = 180^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{\Delta R_1}{\Delta t_1} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\Delta R_2}{\Delta t_2} \right) \quad (7)$$

The determination of the θ parameter provides a measurable experimental quantity characterizing the dynamics of solidification, which can be utilized for calibration of numerical solidification models and digital twins.

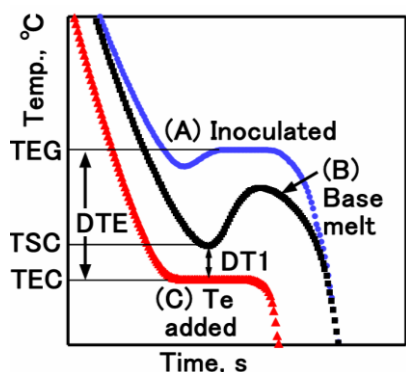


Fig. 2 Diagram for calculating EGS and N [1]
Obr. 2 Diagram pro výpočet EGS a N [1]

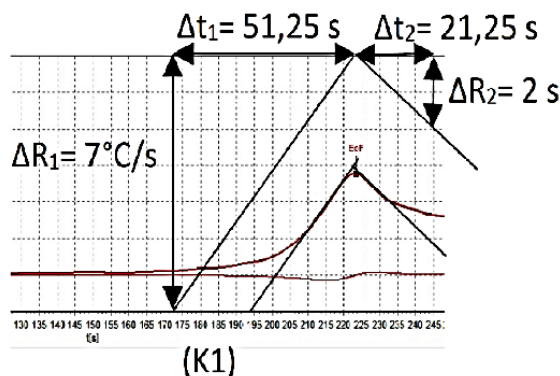


Fig. 3 Diagram for calculating angle θ
Obr. 3 Diagram pro výpočet úhlu θ

3. Results and discussion

The results obtained (**tab. 2**) confirmed that the eutectic graphitization ability (EGS) alone did not show a clear relationship to the formation of shrinkage cavities. The average EGS values for castings without shrinkage reached 78.232%, while for castings with shrinkage they reached 78.421%. The difference between the groups is minimal and does not show a systematic trend. A similar conclusion can be drawn from a comparison of the estimated number of graphite nuclei N , where the difference between the groups does not exceed 1%.

Tab. 2 Evaluation of TA parameters and shrinkage occurrence

Tab. 2 Vyhodnocení parametrů TA a výskytu smrštění

Castings without shrinkage	Eutectic graphitization ability EGS (%)	Number of graphitic nuclei N	θ (°)
K1	71.93	314.931	66.26
K2	78.858	357.404	47.75
K3	78.885	357.569	47.76
K4	83.253	384.345	31.71
Average	78.232	354.722	48.37
Castings with shrinkage			
K5	69.612	300.724	66.17
K6	81.013	370.61	31.42
K7	76.877	345.261	80.18
K8	86.181	402.291	51.38
Average	78.421	353.562	57.97

It follows from the above that the EGS parameter, which is based on the determination of the eutectic temperatures T_{ES} , T_{EM} , and the minimum eutectic temperature T_{SC} , may not be sufficient on its own to assess the predisposition to volume defects. Although EGS expresses the stability of the graphitic eutectic reaction, it does not consider the dynamics of solidification in the final stages of solidification, which are decisive in terms of casting feeding.

On the contrary, the parameter θ showed greater sensitivity to differences between the evaluated melts. The average value of the angle θ for castings without shrinkage was 48.37°, while for castings with shrinkage it was 57.97° (**tab. 2**). The highest value of $\theta = 80.18^\circ$ was recorded for melt K7. A representative cooling curve with the first derivative and the marked parameter θ is shown in **fig. 4**.

The angle θ is derived from the change in the slope of the first derivative of the cooling curve in the area where the eutectic reaction ends. This part of solidification is characterized by a gradual decrease in the intensity of latent heat release.

The course of the derivative is closely related to the instantaneous solidification rate and the development of the solid phase fraction in the system. A more pronounced change in slope may indicate a faster transition to a phase in which graphite expansion cannot fully compensate for austenite contraction.

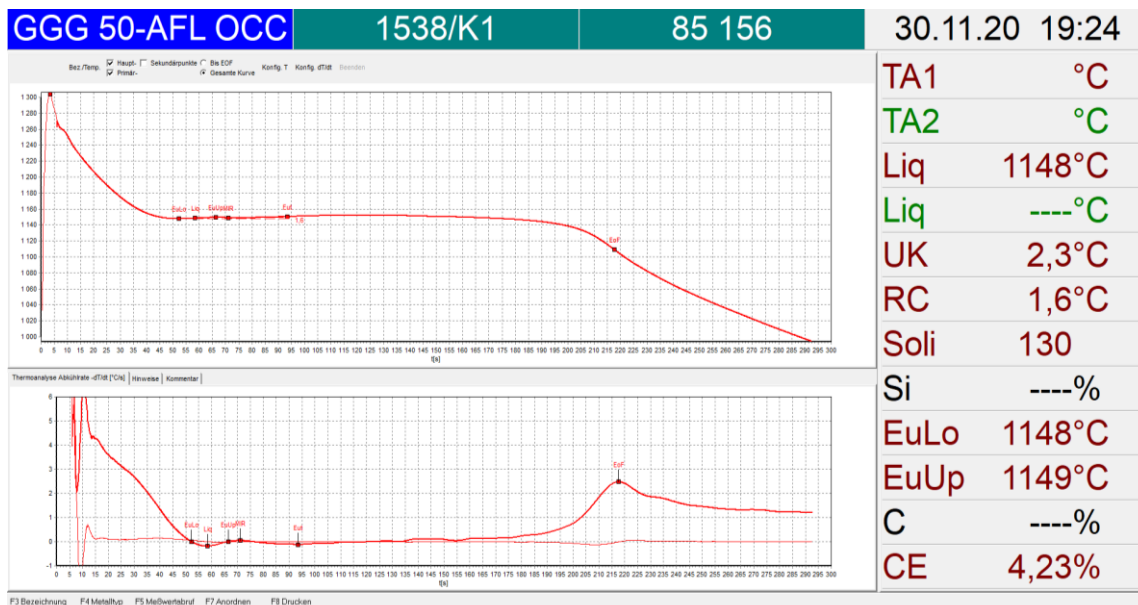


Fig. 4 Representative cooling curve with first derivative and parameter θ
Obr. 4 Repräsentativní chladicí křivka s první derivací a označeným parametrem θ

According to the theoretical principles of differential thermal analysis, the first derivative of the cooling curve is a sensitive indicator of the solidification mechanism and the dynamics of latent heat release [6]. A change in the derivative curve may therefore reflect deteriorated feeding conditions, which will subsequently manifest itself in the formation of shrinkage cavities. Long-term applications of thermal analysis in foundry practice point to the importance of dynamic evaluation of the solidification process beyond the chemical composition itself [6].

The macroscopic manifestation of shrinkage on the monitored casting is shown in **fig. 5**. The location of the defect corresponds to the area of highest risk of insufficient feeding, which supports the interpretation based on the analysis of the θ parameter. The evaluation was performed on a limited set of melts, which requires further experimental verification of the conclusions obtained.



Fig. 5 Detail of internal shrinkage on the casting under examination
Obr. 5 Detail vnitřního smrštění na zkoumaném odlitku

4. Conclusion

The aim of this work was to evaluate selected parameters of thermal analysis in relation to the formation of shrinkage cavities during DCI casting. Based on experimental evaluation, no clear correlation was confirmed between eutectic graphitization ability (EGS) and the occurrence of shrinkage, as the average EGS values in both groups studied were practically identical.

The parameter θ , determined from the course of the first derivative of the cooling curve, showed greater sensitivity to differences between melts. Higher values of θ were recorded in castings with shrinkage cavities, with an extreme value of 80.18° corresponding to the confirmed occurrence of a defect. The results suggest that dynamic evaluation of the eutectic reaction curve can provide more accurate information about solidification conditions than the determination of eutectic temperatures alone.

From a broader technological perspective, the characterization of solidification dynamics is also relevant for the development and optimization of impact plates and cooling elements in continuous casting mould systems. Experimental parameters derived from thermal analysis may contribute to the validation of numerical models used in digital twin concepts of controlled solidification processes.

The findings point to the potential use of the θ parameter as a supplementary indicator in the technological control of melt quality.

Acknowledgements

This research was funded by VEGA project No. 1/0199/24 „Development of mathematical control models and digital twins for individual steel production processes based on machine learning with the aim of increasing the competitiveness of the sector and reducing the carbon footprint“ and project APVV-21-0396 The development of a spherical impact pads in ladles and tundishes for high-quality steel grades.

Literature

- [1] KANNO, Toshitake; IWAMI, Yuki; KANG, Ilgoo. Prediction of graphite nodule count and shrinkage tendency of spheroidal graphite cast iron by one cup thermal analysis. *Materials Transactions*, 2018, 59.3: 456-461. cast iron using one-cup thermal analysis. *Materials Transactions*. 2018, vol. 59, no. 3, pp. 456–461.
- [2] KANNO, T.; KANG, I.; FUKUDA, Y.; MIZUKI, T.; KIGUCHI, S. Effect of pouring temperature and composition on shrinkage cavity in spheroidal graphite cast iron. *AFS Transactions*. 2006, vol. 114, pp. 525–534.
- [3] SCHÜSSLER, J.; BÜHRIG-POLACZEK, A. Thermal analysis of ductile iron: a new way to predict the mechanical properties. *International Journal of Metalcasting*, 2024, 18.3: 1943-1956.
- [4] STAN, Stelian, et al. Solidification characteristics of silicon-alloyed ductile cast irons. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2019, 28.1: 278-286.
- [5] BRADLEY, Fred J.; FUNG, Conrad A. Thermal Analysis for shrinkage prediction in commercial ductile iron castings. *Canadian metallurgical quarterly*, 1991, 30.4: 251-260.
- [6] STEFANESCU, Doru M. Thermal analysis—theory and applications in metalcasting. *International journal of metalcasting*, 2015, 9.1: 7-22.

INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

Česká hutnická společnost uvedla do provozu nové webové stránky

Nový web, který nahradil dosavadní internetovou prezentaci společnosti, představuje moderní informační prostředí určené členům ČHS, odborné veřejnosti i partnerům z průmyslové a akademické sféry.

Odkaz: www.hutnickaspol.cz

Analýza vzniku vad při odlévání oceli 34CrMo4 na základě numerické simulace

Analysis of the Formation of Defects During the Casting of 34CrMo4 Steel Based on Numerical Simulation

Ing. Jana Růžička^{1,*}; doc. Ing. Adéla Macháčková, Ph.D.¹; Ing. Filip Radkovský, Ph.D.¹

¹ VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, Katedra metalurgických technologií, 17. listopadu 2172/15, 708 00, Ostrava-Poruba, jana.ruzicka@vsb.cz

Abstrakt

Tato práce se zabývá analýzou vnitřních vad při odlévání rotoru setrvačnickové energetické jednotky z oceli 34CrMo4 s originální konstrukcí, a to s využitím numerické simulace. Cílem je posoudit vliv charakteru proudění taveniny, teplotního pole a průběhu tuhnutí na jejich vznik a distribuci v odlitku. Numerická simulace byla provedena v softwaru MAGMASOFT®, který umožňuje modelování proudění, přenosu tepla a solidifikace. Výsledky ukazují, že turbulentní proudění během plnění formy podporuje tvorbu oxidických produktů, jež představují zdroj nekovových vměstků. Oblasti s prodlouženou dobou tuhnutí a sníženým teplotním gradientem byly identifikovány jako kritické z hlediska vzniku pórovitosti. Z technologického hlediska je klíčové řízení procesu tuhnutí tak, aby docházelo k jejich řízenému přesunu do nálitkové soustavy. Optimalizace technologických parametrů lití tak umožňuje snížení výskytu vad a zvýšení vnitřní kvality odlitků.

Klíčová slova: ocel 34CrMo4; numerická simulace; pórovitost; tuhnutí

Abstract

This study analyses internal defects during the casting of a 34CrMo4 steel rotor for a flywheel energy storage system with an original design, using numerical simulation. The objective is to assess the influence of molten metal flow characteristics, the temperature field and the solidification process on their formation and distribution within the casting. The numerical simulation was performed using MAGMASOFT® software, which enables the modelling of flow, heat transfer and solidification. The results show that turbulent flow during mold filling promotes the formation of oxide products, which are a source of non-metallic inclusions. Areas with prolonged solidification times and reduced temperature gradients have been identified as critical in terms of porosity formation. From a technological standpoint, it is crucial to control the solidification process so that these defects are directed into the feeder system. Optimizing the casting process parameters thus reduces the incidence of defects and improves the internal quality of the castings.

Key words: 34CrMo4 steel; numerical simulation; porosity; solidification

1. Úvod

Kvalita vnitřní struktury ocelových odlitků zásadně ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti a provozní spolehlivost, zejména u komponent vystavených cyklickému zatížení, jako jsou rotory setrvačnicků. Přítomnost vnitřních vad, zejména pórovitosti a nekovových vměstků, může vést ke snížení únavové životnosti a iniciaci trhlin. Zatímco tradiční hodnocení kvality odlitků je zaměřeno především na objemové vady, stále větší pozornost je věnována i vzniku a chování nekovových vměstků během procesu odlévání.

Ty vznikají především v důsledku interakce taveniny s okolním prostředím a jsou úzce spojeny s charakterem proudění během plnění formy. Turbulentní proudění podporuje zavzdušnění taveniny a vznik oxidických produktů, které jsou následně transportovány do objemu odlitku.

Významnou roli při vzniku a redistribuci vad a vměstků hraje také teplotní pole a průběh tuhnutí. Tyto faktory určují nejen jejich formování, ale i jejich konečné rozmístění v odlitku. Z technologického hlediska je klíčové řídit proces tuhnutí tak, aby docházelo k jejich přesunu do náliťkové soustavy, která je následně odstraněna. Přestože literatura primárně řeší problematiku plynulého odlévání oceli, popisované principy řízení teplotního pole, směrového tuhnutí a vzniku vnitřních vad jsou obecně aplikovatelné také na proces odlévání do forem, zejména z hlediska řízení solidifikace a omezení vzniku smršťovacích defektů [1].

Pro detailní analýzu těchto jevů se v současnosti využívají numerické simulační nástroje, například software MAGMASOFT®, které umožňují modelovat proudění taveniny, přenos tepla a proces tuhnutí v reálných podmínkách odlévání.

Cílem práce je analyzovat podmínky vedoucí ke vzniku vad při odlévání rotoru z oceli 34CrMo4 na základě numerické simulace a posoudit jejich vazbu na proudění taveniny, teplotní pole a proces tuhnutí. Práce současně využívá a dále rozvíjí přístup numerického modelování aplikovaný v předchozích studiích [2].

2. Materiály a metody

Pro numerické simulace byla zvolena nízkolegovaná ocel 34CrMo4 (1.7220), která je běžně využívána pro mechanicky namáhané součásti, u nichž je klíčová zejména únavová odolnost. V zakaleném stavu vykazuje vyvážené mechanické vlastnosti, zejména pevnost a houževnatost [3-5]. Chemické složení použité oceli je uvedeno v **tab. 1**. Materiálové vlastnosti byly definovány na základě databázových údajů softwaru MAGMASOFT® (materiál GS34CrMo4) s uvažováním jejich teplotní závislosti.

Tab. 1 Chemické složení oceli 34CrMo4 použité pro numerické simulace (hm. %) [6]

Tab. 1 Chemical composition of 34CrMo4 steel used for numerical simulations (wt. %) [6]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
hm. %	0.340	0.400	0.650	0.020	0.015	1.000	0.375

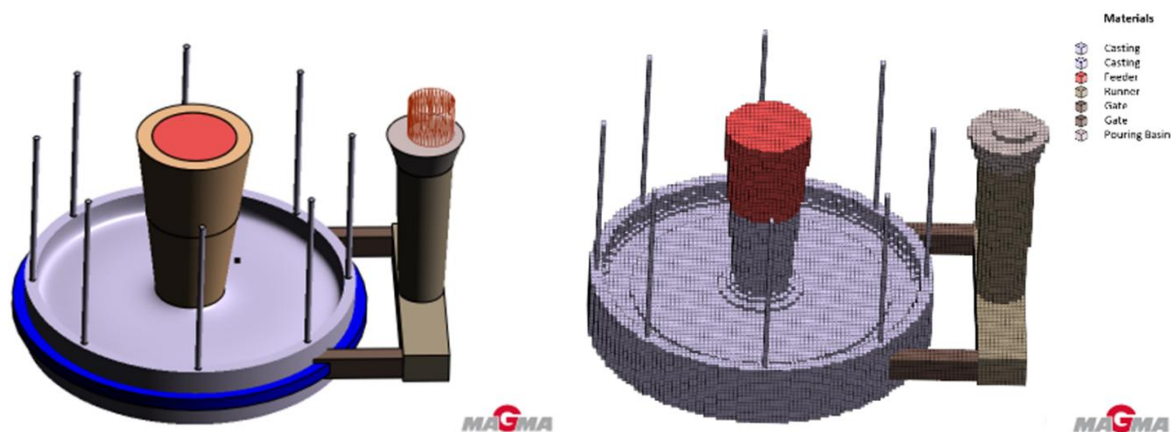
Numerická analýza procesu odlévání byla realizována s využitím simulačního softwaru MAGMASOFT®, který umožňuje řešení proudění taveniny, přenosu tepla a procesu tuhnutí v rámci jednotného výpočtového modelu. Simulace byla provedena pro gravitační odlévání rotoru setrvačnicku, přičemž geometrie odlitku byla vytvořena na základě 3D modelu a převedena do výpočtové sítě o přibližně 70 000 buňkách.

Klíčovým parametrem simulace byla rychlost plnění formy, která zásadně ovlivňuje charakter proudění taveniny a průběh plnění formy. Při vyšších rychlostech dochází k přechodu do turbulentního režimu proudění, což může vést k zavzdušnění taveniny a vzniku oxidických produktů. Tyto jevy představují významný faktor z hlediska vzniku vnitřních vad a nekovových vměstků.

Výstupy simulace jsou využity nejen pro identifikaci vad, ale i pro interpretaci podmínek jejich vzniku. Prezentované výsledky vycházejí z analýzy vybrané simulační varianty procesu odlévání. Cílem práce nebyla komplexní optimalizace technologického postupu prostřednictvím vícekritériálního simulačního návrhu, ale identifikace kritických oblastí z hlediska proudění, tuhnutí a vzniku vad.

3. Výsledky a diskuse

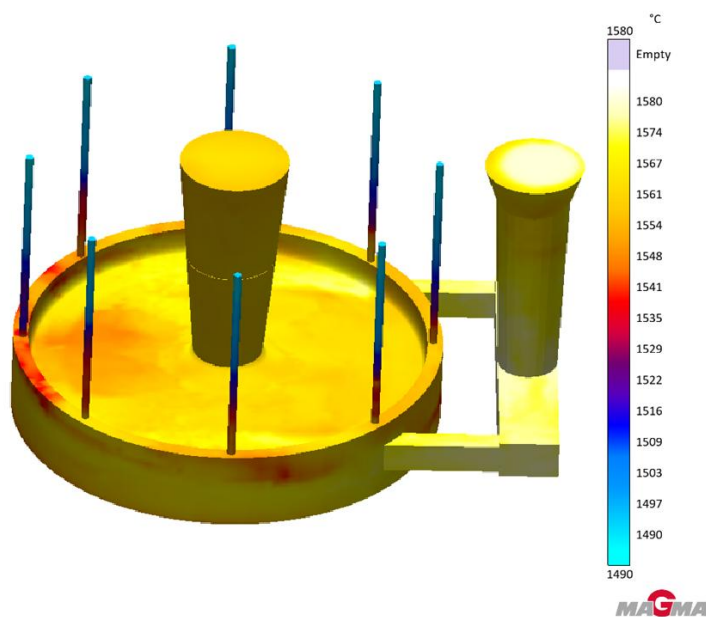
Geometrie odlitku rotoru a odpovídající výpočtová síť (**obr. 1**) byly navrženy s cílem dostatečně zachytit kritické oblasti z hlediska proudění a tuhnutí, zejména v okolí vtokového systému a v místech změny průřezu. Hustota sítě v těchto oblastech umožňuje spolehlivou interpretaci lokálních jevů ovlivňujících vznik vad.



Obr. 1 Geometrie odlitku rotoru (vlevo) a numerická výpočtová síť (vpravo)

Fig. 1 The geometry of the rotor casting (left) and the numerical computational mesh (right)

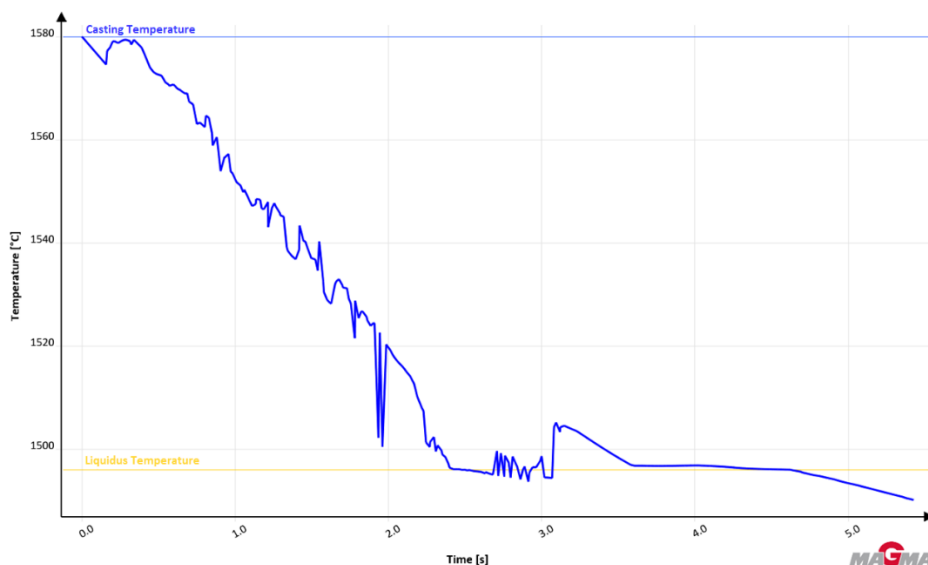
Jak je patrné z **obr. 2**, rozložení teploty na povrchu odlitku po zaplnění formy vykazuje výrazné teplotní gradienty mezi střední částí a okrajovými oblastmi. Nejvyšší teploty jsou soustředěny ve střední části odlitku a nálitku a ve vtokovém systému, což vede k prodloužené době tuhnutí v těchto oblastech. Tento stav vytváří podmínky pro akumulaci kapalně fáze a omezený odvod tepla, což je z hlediska vzniku vad kritické. Naopak rychlé ochlazování okrajových částí může vést k předčasnému tuhnutí, které omezuje plynulý tok taveniny a podporuje vznik nehomogenit ve struktuře.



Obr. 2 Rozložení teploty po zaplnění formy

Fig. 2 Surface temperature distribution after mold filling

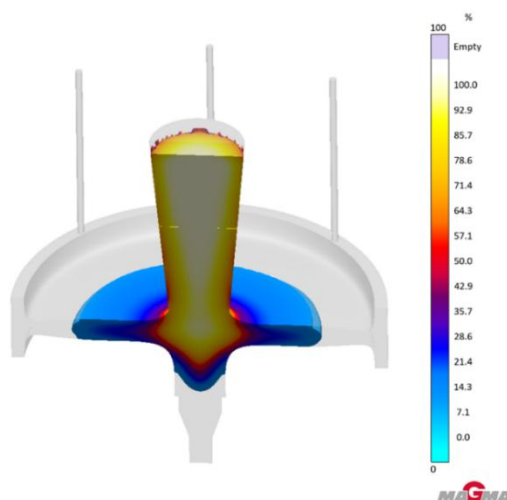
Vývoj minimální teploty během plnění formy je znázorněn na **obr. 3** a naznačuje lokální nestabilitu teplotního pole. Kolísání teplot v průběhu plnění lze interpretovat jako důsledek neustáleného proudění taveniny, včetně přechodů mezi laminárním a turbulentním režimem. Turbulentní proudění je spojeno se zvýšenou interakcí taveniny s okolním prostředím, což může vést k jejímu zavzdušnění a ke vzniku oxidických produktů. Tyto produkty představují potenciální zdroj nekovových vměstků, které jsou následně transportovány proudem taveniny [7].



Obr. 3 Vývoj minimální teploty během plnění formy

Fig. 3 Evolution of minimum temperature during mold filling

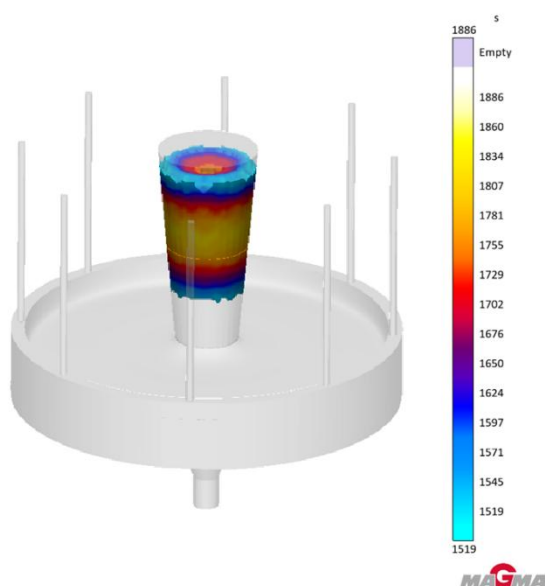
Na **obr. 4** je zachyceno rozložení kapalné fáze po ukončení lití, které ukazuje přetrvávání kapalného kovu ve střední části odlitku i nálitku. Tento jev indikuje nedostatečně řízené směrové tuhnutí, kdy nedochází k plynulému postupu tuhnutí směrem k nálitku. V důsledku toho vznikají oblasti se sníženým gradientem tuhnutí, které představují preferenční lokality pro koncentraci vad. Z hlediska transportu vměstků jsou tyto oblasti významné, neboť snížená rychlost proudění a prodloužená doba setrvání kapalné fáze podporují jejich zachycení v objemu odlitku. Z technologického hlediska lze tyto oblasti považovat za vhodné pro přesun vad a vměstků do nálitkové soustavy.



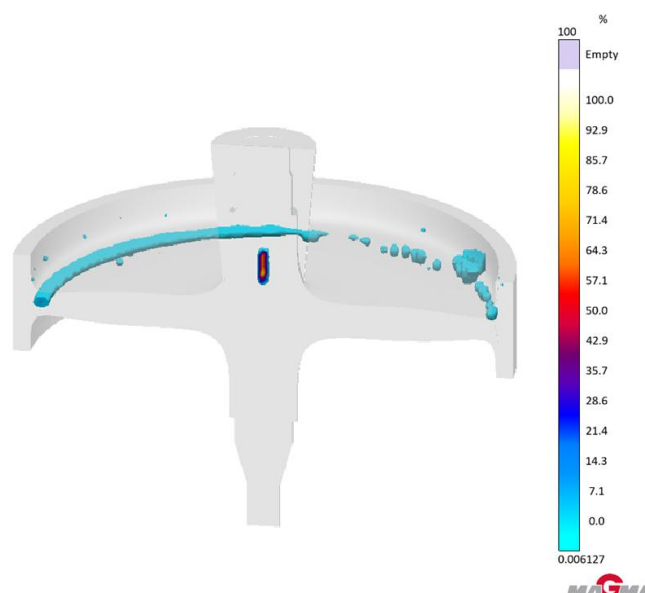
Obr. 4 Rozložení kapalné fáze po ukončení lití / **Fig. 4** Distribution of liquid phase after casting

Na tuto skutečnost navazuje **obr. 5**, kde je patrný lokální tepelný uzel v nálitkové soustavě. Tato oblast s prodlouženou dobou tuhnutí představuje zdroj kapalného kovu, avšak současně vede k nerovnoměrnému průběhu směrového tuhnutí. V důsledku přetrvávající kapalně fáze dochází ke snížení teplotního gradientu mezi odlitkem a nálitkem, což omezuje účinnost dosazování smršťovacích objemových změn. Tento stav vytváří podmínky pro vznik pórovitosti v přilehlých oblastech odlitku a současně podporuje zachycení vměstků v důsledku snížené intenzity proudění [7].

Celkové rozložení pórovitosti v odlitku je uvedeno na **obr. 6**. Nejvýraznější výskyt pórů je patrný ve střední části odlitku, dále v oblasti přechodů a v místech napojení geometrických prvků, zatímco menší podíl pórovitosti se objevuje také v oblasti okružní. Takové rozmístění souvisí s lokálním průběhem tuhnutí a s omezenou možností dosazování tekutého kovu během smršťování. Současně se jedná o oblasti, kde lze vzhledem k prodloužené době setrvání kapalně fáze a snížené intenzitě proudění předpokládat zvýšenou pravděpodobnost zachycení vad v objemu odlitku.



Obr. 5 Lokální tepelný uzel v nálitku
Fig. 5 Local hot spot in the feeder



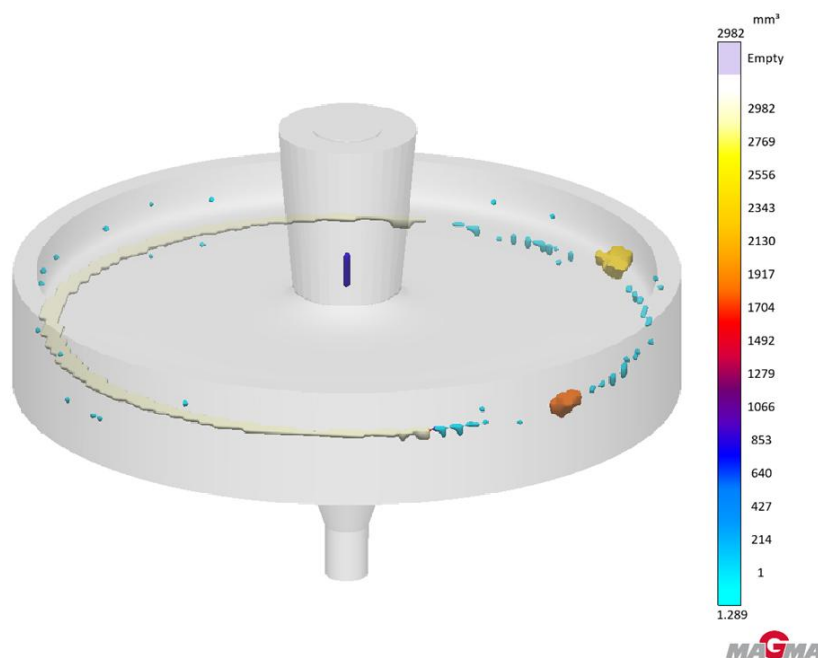
Obr. 6 Celkové rozložení pórovitosti v odlitku
Fig. 6 Total porosity distribution in the casting

Objem jednotlivých pórů v odlitku je znázorněn na **obr. 7**. Největší póry jsou lokalizovány zejména ve střední části odlitku a v okolí zářezů vtokové soustavy, kde jejich objem dosahuje nejvyšších hodnot, přičemž v obvodové oblasti okružní je patrný úzký protáhlý pór.

Tyto výsledky potvrzují, že pórovitost není rozložena rovnoměrně, ale soustřeďuje se do konkrétních lokalit s nepříznivými podmínkami tuhnutí. V těchto oblastech lze současně očekávat i akumulaci vad, neboť kombinace postupující solidifikace a omezeného proudění zvyšuje pravděpodobnost jejich zachycení a fixace ve struktuře.

Z hlediska komplexního hodnocení kvality odlitku je zásadní vzájemná vazba mezi prouděním, teplotním polem a procesem tuhnutí. Případné turbulentní proudění během plnění formy podporuje vznik oxidických vměstků, zatímco charakter tuhnutí ovlivňuje jejich následnou redistribuci a zachycení. Oblasti s nedostatečně řízeným tuhnutím a sníženým gradientem teploty tak představují kritická místa z hlediska kumulace jak pórovitosti, tak vměstků.

Z pohledu provozního zatížení rotoru setrvačnicku mají tyto defekty zásadní význam. Kombinace pórovitosti a vměstků vytváří lokální koncentrátoři napětí, které mohou působit jako iniciační místa únavových trhlin. Jejich přítomnost ve střední části odlitku, která je vystavena významnému mechanickému namáhání, tak představuje potenciální riziko snížení životnosti a spolehlivosti komponenty [8].



Obr. 7 Objem jednotlivých pórů v odlitku
Fig. 7 The volume of individual pores in the casting

4. Závěr

Numerická simulace procesu odlévání rotoru z oceli 34CrMo4 potvrdila významnou vazbu mezi charakterem proudění taveniny, teplotním polem, průběhem tuhnutí a vznikem vnitřních vad v odlitku. Bylo zjištěno, že oblasti s prodlouženou dobou tuhnutí a sníženým teplotním gradientem, zejména ve střední části odlitku a v okolí náliťkové soustavy, představují kritická místa z hlediska vzniku pórovitosti.

Současně bylo potvrzeno, že turbulentní proudění během plnění formy podporuje vznik oxidických produktů, které mohou představovat zdroj nekovových vměstků. Kombinace nepříznivých hydrodynamických a tepelných podmínek tak vytváří prostředí pro jejich zachycení a akumulaci v objemu odlitku.

Z technologického hlediska je však klíčové řízení procesu tuhnutí tak, aby docházelo k řízenému přesunu vad a vměstků do náliťkové soustavy, která je následně odstraněna. Správně navržené směrové tuhnutí a odpovídající teplotní gradient umožňují minimalizovat výskyt těchto defektů v samotném odlitku.

Z hlediska provozního zatížení rotoru mají tyto defekty zásadní význam, neboť mohou působit jako iniciační místa únavových trhlin a tím negativně ovlivňovat životnost komponenty.

Výsledky práce ukazují, že optimalizace technologických parametrů lití, zejména řízení rychlosti plnění formy a průběhu směrového tuhnutí, vede ke snížení výskytu vad. Současně umožňuje jejich cílenou lokalizaci mimo funkční část odlitku, a tím ke zvýšení jeho vnitřní kvality. Využití numerické simulace v předvýrobní fázi tak umožňuje optimalizovat technologii odlévání ještě před realizací samotného procesu, což vede ke snížení zmetkovitosti, efektivnějšímu využití materiálu a zkrácení výrobního času.

Poděkování

Tato práce byla vypracována v rámci v rámci dotačního programu „Podpora vědy a výzkumu Moravskoslezském kraji 2025“ (RRC/12/2025) a financována z rozpočtu Moravskoslezského kraje.

Literatura

- [1] DOLEJŠÍ, Zdeněk. *Plynulé odlévání oceli: tepelně technické poměry při plynulém odlévání oceli*. Poradenská příručka, č. 42. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [2] RŮŽIČKA, Jana; MACHÁČKOVÁ, Adéla a RADKOVSKÝ, Filip (2025). Numerical Modeling of the Casting Process of Alloyed Steel 34CrMo4. In: *STEELSIM 2025: 11th International Conference on Modeling and Simulation of Metallurgical Processes in Steelmaking: 2-4 September 2025, Třinec*. Třinec, s. 236-241. ISBN 978-80-02-03097-3.
- [3] ZHENG, Qiang; LI, Kejian; YIN, Xueguo; LI, Bingbing; LI, Chunhong et al. *Corrosion Properties of 34CrMo4 Steel Modified by Shot Peening*. Online. Scanning, vol. 2017, s. 1928198. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2017/1928198>. [citováno 2026-03-16].
- [4] CHENAKIN, Sergey; FILATOVA, Ver; MAKEEVA, Iryna a VASYLYEV, Mykhaylo. *Ultrasonic impact treatment of CoCrMo alloy: Surface composition and properties*. Online. Applied Surface Science, vol. 408, s. 11-20. ISSN 0169-4332. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.03.004>. [citováno 2026-03-16].
- [5] MATSUNAGA, Hisao; YOSHIKAWA, Michio; KONDO, Ryota; YAMABE, Junichiro a MATSUOKA, Saburo. *Slow strain rate tensile and fatigue properties of Cr–Mo and carbon steels in a 115 MPa hydrogen gas atmosphere*. Online. International Journal of Hydrogen Energy, vol. 16, s. 5739-5748. ISSN 0360-3199. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.02.098>. [citováno 2026-03-16].
- [6] MAGMA GmbH. MAGMASOFT® [computer software]. Version 6.1. Aachen: MAGMA GmbH, 2025.
- [7] CAMPBELL, John. *Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design*. Online. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2011. ISBN 978-1-85617-809-9. Dostupné z: <https://old.foundrygate.com/upload/artigos/ft0Ku31Q3bfcyfBS8gZTLyud5574.pdf>. [citováno 2026-03-16].
- [8] MURAKAMI, Yukitaka. *Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions*. Online. Oxford: Elsevier, 2002. ISBN 0-08-044064-0. Dostupné z: <http://nguyen.hong.hai.free.fr/EBOOKS/SCIENCE%20AND%20ENGINEERING/MECANIQUE/ENDOMMAGEMENT-RUPTURE/Metal%20Fatigue.pdf>. [citováno 2026-03-16].

INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

Třinecké železárny udržely hospodaření v černých číslech díky úsporám. Tržby klesly o 2,8 miliardy

22. června 2026

Třinecké železárny, největší firma skupiny Moravia Steel, dosáhly v roce 2025 tržeb ve výši 44 536 milionů korun, což představuje pokles oproti 47 371 milionům korun v roce 2024. Výroba surové oceli zůstala stabilní na úrovni 2 424 kilotun. Výsledek hospodaření po zdanění činí 186 milionů korun.

Investice Třineckých železáren v roce 2025 dosáhly celkem 1 506 mil. Kč a byly zaměřeny především na modernizaci výroby, snižování provozních nákladů, obnovu zařízení a rozvoj robotizace a automatizace. Třinecké železárny jsou jediným výrobcem kolejnic a železničního příslušenství v České republice. Z celkového objemu prodeje tohoto segmentu (219 kt) směřovalo 90 % na export.

Originál článku naleznete zde: trz.cz

Studium teplot fázových transformací slitin na bázi Fe–C–Ni a Fe–C–Cr v nízkoteplotní oblasti

Study of phase transformation temperatures of Fe–C–Ni a Fe–C–Cr based alloys in the low temperature region

Ing. Monika Kawuloková, Ph.D.¹; prof. Ing. Bedřich Smetana, Ph.D.^{2,3}; doc. Mgr. Ondřej Zobač, Ph.D.⁴; Mgr. Martin Friák, Ph.D.⁴, Mgr. Ing. Sabina Kovaříková Oweis⁴, prof. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.⁵, Ing. Jiří Cibulka, Ph.D.⁶

¹ VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, Katedra chemie a fyzikálně chemických procesů, 17. listopadu 2172/15, Ostrava-Poruba, 708 00, monika.kawulokova@vsb.cz

² VŠB – Technická univerzita Ostrava, Centrum nanotechnologií, 17. listopadu 2172/15, Ostrava-Poruba, 708 00

³ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, Ostrava-Vítkovice, 703 00

⁴ Ústav fyziky materiálů AV ČR, v. v. i., Žižkova 513/22, Brno, 614 00

⁵ Střední průmyslová škola Třineckých železáren, Lánská 132, 739 61 Třinec – Kanada

⁶ TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, Třinec, 739 61

Abstrakt

Cílem tohoto příspěvku je experimentální a teoretické stanovení teplot fázových transformací vybraných slitin na bázi systémů Fe–C–Ni a Fe–C–Cr. Tyto slitiny představují významné modelové systémy, které umožňují hlubší pochopení chování komplexních vícesložkových ocelí při tepelném zpracování. Experimentální část práce byla založena na využití diferenční termické analýzy (DTA) a dilatometrie, které umožňují sledovat tepelnou odezvu materiálu a jeho rozměrové změny při řízeném ohřevu. Studované slitiny byly připraveny vakuovým indukčním tavením a analyzovány v prostředí inertního plynu (argon) s cílem minimalizovat vliv oxidačních procesů. Pro zvýšení komplexnosti hodnocení byly experimentální výsledky doplněny teoretickými výpočty pomocí softwarů Thermo-Calc a JMatPro, vycházejících z termodynamických a kinetických modelů. Výsledky ukazují velmi dobrou shodu mezi metodami DTA a dilatometrie při stanovení teplot A_{c1} a A_{c3} , přičemž zjištěné rozdíly nepřesahují několik stupňů Celsia. Pozorované odchylky lze přičíst zejména rozdílnému principu měření a charakteru detekovaného signálu jednotlivých metod. Rovněž byla nalezena dobrá korelace mezi experimentálními a vypočtenými hodnotami, ačkoli absolutní hodnoty vykazují určité systematické rozdíly. Z hlediska vlivu chemického složení bylo potvrzeno, že chrom zvyšuje transformační teploty díky stabilizaci feritické fáze, zatímco nikl má opačný efekt a podporuje stabilitu austenitu, čímž tyto teploty snižuje. Získané výsledky tak přispívají k lepšímu pochopení transformačního chování slitin na bázi železa a poskytují cenné podklady pro jejich další výzkum i praktické technologické využití. Studium transformačních teplot je klíčové pro optimalizaci výrobních procesů, řízení mikrostruktury a dosažení požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností materiálů.

Klíčová slova: DTA; dilatometrie; Fe-C-Cr; Fe-C-Ni; teploty fázových transformací

Abstract

The aim of this paper is to experimentally and theoretically determine the temperatures of phase transformations of selected alloys based on the Fe–C–Ni and Fe–C–Cr systems. These alloys represent important model systems that enable a deeper understanding of the behavior of complex multicomponent steels during heat treatment. The experimental part of the study was based on the use of differential thermal analysis (DTA) and dilatometry, which allow monitoring of the thermal response of the material and its dimensional changes during controlled heating. The investigated alloys were prepared by vacuum induction melting and analyzed in an inert argon atmosphere in order to minimize the effect of oxidation processes.

To enhance the overall evaluation, the experimental results were complemented by theoretical calculations using Thermo-Calc and JMatPro software, based on thermodynamic and kinetic models. The results show very good agreement between the DTA and dilatometric methods in determining A_{c1} and A_{c3} temperatures, with observed differences not exceeding a few degrees Celsius. The discrepancies can be attributed to the different measurement principles and signal characteristics of the individual methods, mainly. A good correlation between experimental and calculated values was also found, although some systematic deviations in absolute values were observed. From the perspective of chemical composition, it was confirmed that chromium increases transformation temperatures due to stabilization of the ferritic phase, whereas nickel has the opposite effect, promoting austenite stability and thus lowering these temperatures. The obtained results contribute to a better understanding of transformation behavior in iron-based alloys and provide valuable data for further research and practical technological applications. The study of transformation temperatures is crucial for optimizing production processes, controlling microstructure evolution, and achieving the desired mechanical and physical properties of materials.

Key words: DTA; dilatometry; Fe-C-Cr; Fe-C-Ni; phase transition temperatures

1. Úvod

Slitiny na bázi železa představují základní konstrukční materiály využívané v širokém spektru průmyslových aplikací. Jejich vlastnosti jsou ve značné míře ovlivněny chemickým složením a průběhem fázových přeměn, ke kterým dochází v průběhu tuhnutí, ochlazování a následného tepelného nebo termomechanického zpracování. Z tohoto důvodu je detailní znalost teplot fázových přeměn zásadní jak pro praktickou výrobu ocelí a slitin, tak pro výzkum zaměřený na pochopení jejich termodynamického a kinetického chování [1,2].

Systémy Fe-C-Ni a Fe-C-Cr patří mezi důležité modelové slitiny, které slouží k popisu chování složitějších vícesložkových ocelí. Příklad niklu nebo chromu významně ovlivňuje průběh fázových přeměn a tím i výslednou mikrostrukturu a vlastnosti materiálu. Přesná experimentální data, jako jsou teploty fázových transformací, jsou nezbytná pro správné nastavení výrobních procesů a pro ověřování výsledků termodynamických a kinetických výpočtů [3].

Jednou z vhodných experimentálních metod pro studium teplot fázových transformací slitin na bázi železa je diferenční termická analýza (DTA), která umožňuje identifikovat teploty fázových přeměn. Kromě DTA lze využít také dilatometrická měření (hojně využívané měření v oblasti studia pevné fáze), která poskytují informace o chování materiálu při zahřívání/ochlazování a umožňují např.: také přesnější stanovení počátku tání slitin. Kombinace těchto dvou metod přispívá k lepšímu porozumění transformačních procesů probíhajícím v materiálu [4].

2. Experiment

2.1. Vzorky

Studované slitiny byly připraveny z čistých kovů (Fe, Ni, Cr) s přídatkem grafitického uhlíku tavením ve vakuu ve vakuové indukční peci Leybold Heraeus. Ingoty (cca 3 kg) byly odlity do válcové formy, následně rozřezány a osoustruženy na tyče o průměru 3,5 (pro DTA) resp. 6 mm (pro DIL). Tyto tyče byly nařezány na válečky o výšce 3,5 mm (pro DTA) resp. 10 mm (pro DIL). Vzorky byly před samotnou analýzou obroušeny (zbaveny otřepů a případné oxidické vrstvy) a očištěny v acetonu za současného působení ultrazvuku. Chemické složení jednotlivých vzorků je uvedeno v **tab. 1**. Vzorky mají podobné chemické složení. Výrazněji se liší obsahem chromu a niklu.

Tab. 1 Chemické složení studovaných vzorků v hm.%

Tab. 1 Chemical composition of studied samples in wt.%

Vzorek	C	Ni	Cr	Mn	Al	N	W	P	S	O
Ni1	0,382	1,084	0,010	0,030	0,010	0,003	0,001	0,004	0,005	0,002
Ni2	0,338	4,478	0,010	0,031	0,010	0,003	0,001	0,005	0,002	0,001
Cr1	0,344	0,001	0,924	0,056	0,010	0,026	0,025	0,004	0,007	0,002
Cr2	0,340	0,001	4,760	0,042	0,004	0,001	0,044	0,002	0,003	0,001

2.2. DTA – diferenční termická analýza

Pro získání teplot fázových přeměn vzorků byla využita metoda DTA (**Diferenční Termická Analýza** – měření teplotního rozdílu mezi vzorkem a referencí [5]) a zařízení **Setaram SETSYS 18TM**, senzor typ S. Před vlastním měřením byla provedena kalibrační měření na Ag o čistotě 5N. Vzorky byly analyzovány v korundových kelímcích o objemu 100 µl, které byly uzavřeny korundovým víčkem. Před samotnou analýzou byl vnitřní prostor pece proplachován inertním plynem Ar, 6N a následně evakuován. V průběhu analýzy byla udržována ve vnitřním prostoru pece dynamická atmosféra (Ar, 6N o průtoku 30 ml/min). Vzorky byly analyzovány při rychlosti ohřevu 10 °C/min.

2.3. Dilatometrie

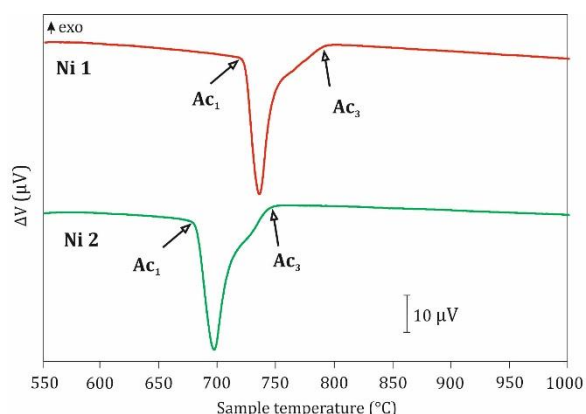
Dilatometrie je dynamická tepelně analytická metoda, která umožňuje sledovat rozměrové změny analyzovaného materiálu při jeho ohřevu/ochlazení při současném působení „nulové“ (zanedbatelné, minimální) síly na vzorek [6, 7, 8]. Pro studium teplot fázových přeměn byl využit přístroj **Netzsch DIL Expedis SUPREME** s inovativním senzorem **NanoEye** (opto-elektrický detekční systém) s rozlišením opto-elektrického senzoru **0.1 nm**. Před vlastním měřením byla provedena teplotní kalibrace. Při analýze byl použit korundový držák vzorku, podložka vzorku a přítlačné táhlo. Před samotnou analýzou byl prostor kolem vzorku proplachován vysoce čistým Ar (6N), následně byl prostor kolem vzorku třikrát evakuován a opět naplněn Argonem (6N). Během experimentu byla udržována ve vnitřním prostoru pece dynamická atmosféra Ar o průtoku 60 ml/min. Experimenty byly prováděny při řízené rychlosti ohřevu 5 °C/min.

2.4. Termodynamické výpočty

K teoretickému studiu teplot fázových přeměn bylo využito SW vybavení **Thermo-Calc** (SW TC, ver. 2019a, databáze TCFE8) a **JMatPro** (ver. 11.1 a databáze General Steel), opírající se o termodynamické, kinetické a termodynamicko-kinetické výpočty [9, 10]. Byl vypočítán izokoncentrační rovnovážný fázový diagram „Fe-C“ (pseudobinární) s využitím SW TC (200–1000 °C) a fázové složení (změna v závislosti na teplotě) s SW JMatPro (200–1000 °C). Na základě těchto výpočtů byly získány teploty fázových transformací studovaných vzorků.

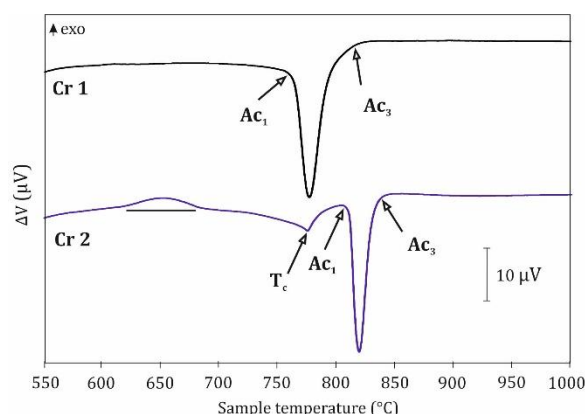
3. Výsledky a diskuse

Teploty fázových transformací byly získány na základě vyhodnocení DTA a dilatometrických křivek, viz **obr. 1, 2, 3 a 4**. DTA křivky systémů na bázi Fe-C-Ni jsou uvedeny na **obr. 1.**, systémů na bázi Fe-C-Cr na **obr. 2.**



Obr. 1 DTA křivky vzorků Ni1 a Ni2

Fig. 1 DTA curves of analysed samples Ni1 a Ni2



Obr. 2 DTA křivky vzorků Cr1 a Cr2

Fig. 2 DTA curves of analysed samples Cr1 a Cr2

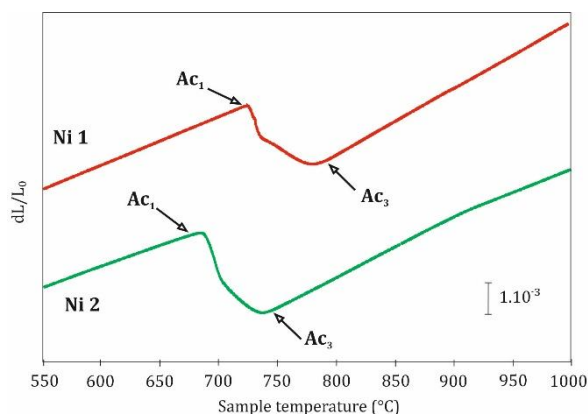
DTA křivky vzorku Ni1 a Ni2 mají velmi podobný tvar. Na DTA křivkách obou vzorků lze pozorovat dva překrývající se tepelné efekty (píky). První pík (výrazný tepelný efekt) je obrazem eutektoidní fázové přeměny ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \gamma$). Teplota eutektoidní fázové přeměny odpovídá teplotě počátku tvorby austenitu. Tato teplota je označena jako A_{c1} (**obr. 1**).

Druhý pík (nevýrazný tepelný efekt) odpovídá přeměně feritu na austenit. Ferit se začíná přeměňovat na austenit při teplotě eutektoidní přeměny (A_{c1}). Teplota ukončení druhého píku odpovídá teplotě ukončení přeměny feritu na austenit. Teplota ukončení této přeměny je označena jako A_{c3} (**obr. 1**).

Na základě charakteristického tvaru křivky před začátkem píku lze předpokládat, že část tohoto píku odpovídala Curieho přeměně (došlo k úplnému překrytí těchto dvou píků). Vzhledem k tomuto překrytí však není možné přesně určit teplotu Curieho přeměny [11]. Z tohoto důvodu nebyla tato teplota vyhodnocena.

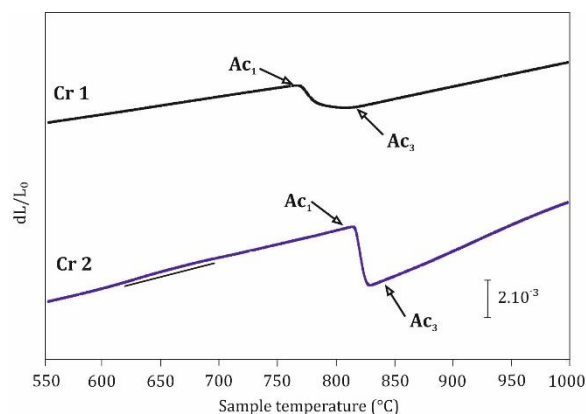
DTA křivky vzorku Cr1 a Cr2 se výrazněji liší svým tvarem, viz **obr. 2**. Na DTA křivce vzorku Cr1 lze pozorovat výrazný tepelný efekt skládající se ze dvou píků. Podobně jako u vzorků Ni1 a Ni2 odpovídá tento dvojpík eutektoidní přeměně a přeměně feritu na austenit. V tomto tepelném efektu je zahrnut také pík odpovídající Curieho přeměně. Na DTA křivce vzorku Cr3 je viditelný exotermní pík v teplotním rozmezí cca 610–680 °C, který pravděpodobně odpovídá rozpadu nerovnovážné fáze martenzitu. Následující pík s ostrým vrcholem odpovídá magnetické přeměně. Teplota vrcholu píku označuje teplotu Curieho bodu. Třetí, nejvýraznější pík skládající se ze dvou překrývajících se tepelných efektů, je stejně jako u předchozích vzorků obrazem probíhající eutektoidní přeměny a přeměny feritu na austenit.

Teploty fázových transformací byly získány také na základě vyhodnocení dilatometrických křivek, viz **obr. 3 a 4**. Na dilatometrických křivkách jsou vyznačeny charakteristické teploty A_{c1} a A_{c3} . Stejně jako u DTA křivek mají dilatometrické křivky vzorků Ni1, Ni2 a Cr1 velmi podobný tvar. Na dilatometrické křivce vzorku Cr2 je možné pozorovat rozpouštění nerovnovážné fáze, stejně jako na DTA křivce.



Obr. 3 Dilatometrické křivky vzorků Ni1 a Ni2

Fig. 3 Dilatometric curves of analysed samples Ni1 a Ni2



Obr. 4 Dilatometrické křivky vzorků Cr1 a Cr2

Fig. 4 Dilatometric curves of analysed samples Cr1 a Cr2

Všechny experimentálně získané teploty jsou uvedeny v **tab. 2 a 3**. V **tab. 2 a 3** jsou uvedeny také teploty vypočítané pomocí SW TC a JmatPro.

Tab. 2 Teploty fázových transformací pro slitiny Ni1 a Ni2 ve °C

Tab. 2 Phase transformation temperatures for alloys Ni1 a Ni2 in °C

Vzorek	Teplota	DTA	DIL	TC	JMatPro
Ni1	Ac ₁	720	722	696	699
	Ac ₃	793	787	768	768
Ni2	Ac ₁	679	678	666	668
	Ac ₃	745	740	714	718

Tab. 3 Teploty fázových transformací pro slitiny Cr1 a Cr2 ve °C

Tab. 3 Phase transformation temperatures for alloys Cr1 a Cr2 in °C

Vzorek	Teplota	DTA	DIL	TC	JMatPro
Cr1	Ac ₁	766	761	744	743
	Ac ₃	820	819	794	790
Cr2	Ac ₁	814	813	800	795
	Ac ₃	845	839	804	800

Teploty fázových transformací stanovené na základě DTA i dilatometrických křivek vykazují navzájem velmi dobrou shodu, což potvrzuje vhodnost kombinace těchto dvou metod pro studium teplot fázových transformací slitin na bázi železa. Jak je patrné z **tab. 2 a 3**, rozdíly mezi teplotami získanými pomocí DTA a dilatometrickým stanovením nepřesahují několik stupňů Celsia, přičemž největší odchylka (cca 6 °C) byla zaznamenána u teploty Ac₃ u vzorků Cr2 a Ni1. Tento rozdíl může být způsoben obtížnějším stanovením teploty Ac₃ z DTA i dilatometrických křivek. Tvar křivek není ostrý a teplota tak může být určena v teplotním intervalu několika stupňů. Stanovení této teploty proto může být zatíženo větší mírou nejistoty než u teploty Ac₁. Tyto malé rozdíly mezi experimentálně stanovenými teplotami svědčí o přesnosti obou metod a minimalizaci vlivu experimentálních podmínek.

Teplota Ac₁ vzorku Ni1 s obsahem 1,084 hm. % Ni byla stanovena 720 °C metodou DTA a 722 °C pomocí dilatometrie. U vzorku Ni2 s obsahem 4,478 hm. % Ni byla získána teplota Ac₁ 679 °C při využití DTA a 678 °C při měření dilatometricky.

Teplota A_{c_3} vzorku Ni1 byla stanovena 793 °C metodou DTA a 787 °C pomocí dilatometrie. U vzorku Ni2 byly stanoveny nižší hodnoty, a to 745 °C při měření metodou DTA a 740 °C při použití dilatometrie.

Ze získaných výsledků je patrné, že se zvyšujícím se obsahem niklu dochází ke snížení obou transformačních teplot A_{c_1} i A_{c_3} . Toto snížení je v souladu s údaji uváděnými v literatuře a je charakteristickým projevem působení niklu jako austenitotvorného prvku, který stabilizuje austenit a rozšiřuje oblast jeho stability směrem k nižším teplotám [12].

Teplota A_{c_1} vzorku Cr1 s obsahem 0,924 hm. % Cr byla stanovena 766 °C metodou DTA a 761 °C pomocí dilatometrie. U vzorku Cr2, který obsahuje 4,76 hm. % Cr, dosahuje teplota A_{c_1} hodnot 814 °C při stanovení metodou DTA a 813 °C při využití dilatometrie.

Teplota A_{c_3} vzorku Cr1 byla stanovena 820 °C metodou DTA a 819 °C pomocí dilatometrie. U vzorku Cr2 byly pozorovány vyšší hodnoty, konkrétně 845 °C při použití DTA a 839 °C při stanovení dilatometricky.

Ze získaných výsledků je patrné, že s vyšším obsahem chromu se zvyšuje teplota A_{c_1} i A_{c_3} . Pozorované zvýšení odpovídá údajům uváděným v literatuře. Toto zvýšení může být důsledkem stabilizačního účinku chromu na feriticko-karbidickou strukturu a současného rozšíření její oblasti stability na úkor austenitu. Pro zahájení přeměny na austenit je tedy nutné dodat větší množství tepelné energie, což se projeví právě zvýšením teploty A_{c_1} . Navíc přítomnost chromu může vést k tvorbě stabilnějších a hrubších karbidických částic, jejichž rozpouštění během ohřevu probíhá pomaleji a vyžaduje vyšší teplotu [12].

Teoreticky získané teploty jsou si také vzájemně blízké, ale mezi experimentálně získanými a vypočítanými teplotami jsou rozdíly větší. Mezi vypočítanými teplotami je maximální rozdíl u teploty A_{c_1} vzorku Cr2 a to 5 °C. Větší rozdíly pak lze pozorovat mezi experimentálně stanovenými a vypočítanými teplotami. Rozdíly se pohybují řádově v desítkách °C. Tyto rozdíly mohou být způsobeny tím, že SW Thermo-Calc a JMatPro (využívající metodu CALPHAD) určují transformační teploty na základě rovnovážných podmínek, tj. z minimalizace Gibbsovy energie systému. Tyto hodnoty proto reprezentují ideální teploty, při nichž je daná fáze termodynamicky stabilní. Termodynamický přístup tak poskytuje informaci o možném průběhu přeměny, avšak neodráží její skutečnou rychlost ani mechanismus na rozdíl od experimentálních metod, u kterých má vliv na získané veličiny samotný proces ohřevu/ochlazování.

4. Závěr

Na základě provedeního experimentálního a teoretického studia lze konstatovat, že kombinace diferenční termické analýzy (DTA) a dilatometrie představuje vhodný a vzájemně se doplňující nástroj pro přesné stanovení teplot fázových transformací slitin na bázi Fe-C-Ni a Fe-C-Cr. Byla prokázána velmi dobrá shoda mezi výsledky obou experimentálních metod, přičemž rozdíly v hodnotách teplot A_{c_1} a A_{c_3} nepřesahují několik stupňů Celsia, což potvrzuje vysokou spolehlivost získaných dat.

Z hlediska vlivu chemického složení bylo prokázáno, že nikl působí jako austenitotvorný prvek, který s rostoucí koncentrací snižuje teploty A_{c_1} i A_{c_3} , zatímco chrom jako ferritotvorný prvek tyto teploty zvyšuje v důsledku stabilizace feriticko-karbidické struktury a zpomalení rozpouštění karbidických fází, což je v souladu s literaturou.

Získané výsledky přispívají k hlubšímu pochopení transformačního chování vícesložkových ocelí a poskytují důležitá experimentální i teoretická data využitelná při návrhu chemického složení a optimalizaci technologických procesů tepelného a mechanického zpracování. Současně potvrzují význam kombinace experimentálních metod a výpočetních přístupů pro komplexní analýzu fázových přeměn a zpřesnění jejich teplot u systémů na bázi železa.

PODĚKOVÁNÍ

Authors acknowledge CirkArena project reg. no. CZ.10.03.01/00/22_003/0000045 financed by the Operational Programme "Spravedlivá transformace" (OP ST, Just Transition Fund) and cofunded by the Ministry of the Environment of the Czech Republic and SGS project SP2026/065.

LITERATURA

- [1] GARCÍA DE ANDRÉS, C.; CABALLERO, F. G.; CAPDEVILA, C. Application of dilatometric analysis to the study of phase transformations in steels. *Materials Characterization* 48 (2002), 101–111.
- [2] ZHAO, J. Z.; MESPLONT, C.; DE COOMAN, B. C. Kinetics of Phase Transformations in Steels. *ISIJ International* 41 (2001) 5, 492–497.
- [3] ŽALUDOVÁ M, SMETANA B, ZLÁ S et al. Experimental study of Fe–C–O based system below 1000 °C. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2013, 111(2), 1203–1210.
- [4] LIU H M, BERNHARD M, KAWULOKOVÁ M et al. Decomposition of γ -Fe in 0.4C–1.8Si–2.8Mn–0.5Al steel during a continuous cooling process: A comparative study using in-situ HT-LSCM, DSC and dilatometry. *Journal of Materials Research and Technology*, 2023, 24, 3534–3547.
- [5] Introduction to TG/DTA/DSC thermal analysis methods. Illinois Institute of Technology, online, [cit. 2026-05-21].
- [6] TAKAHASHI, M.; BHADESHIA, H. K. D. H. Dilatometric data for steel transformations. *Journal of Materials Science Letters* 8 (1989), 477–478.
- [7] CATTEAU, S. D.; SOURMAIL, T.; MOINE, A. Dilatometric study of phase transformations in steels. *Materials Performance and Characterization* 5 (2016), 564–584.
- [8] MORAWIEC, M.; SKOWRONEK, A.; KRÓL, M. et al. Dilatometric analysis of phase transformations in steels. *Materials* 13 (2020), 5443.
- [9] SAUNDERS, N.; GUO, Z.; Miodownik, A. P. et al. Using JMatPro® to model materials properties and behaviour. *JOM* 55 (2003), 60–65.
- [10] GUO, Z.; SAUNDERS, N.; SCHILLÉ, J. P.; MIODOWNIK, A. P. Material properties for process simulation. *Materials Science and Engineering A* 499 (2009), 7–13.
- [11] SMETANA, B.; ZLÁ, S.; KAWULOKOVÁ, M. et al. Phase transition temperatures and magnetic transformations in steels. *Conference Proceedings*, 2015.
- [12] WRÓBEL, J. S.; NGUYEN-MANH, D.; LAVRENTIEV, S. et al. Phase stability of Fe–Cr–Ni alloys. *Culham Science Centre Report*, 2014.

INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

Škola, která vyrostla s hutí. Střední průmyslová škola slaví 90. výročí

4. února 2026

Tradice odborného vzdělávání v Třinci sahá už devadesát let do minulosti. V roce 1936 vznikla v areálu Třineckých železáren Závodní učňovská škola, která připravovala mladé lidi na práci v hutí a postupně se stala základem dnešní Střední průmyslové školy Třineckých železáren. Ta letos slaví 90 let od svého založení. Dnes je škola jedinou v České republice, která vyučuje například maturitní obor Management kvality v průmyslu, a dlouhodobě spolupracuje s vysokými školami, zejména s VŠB – Technickou univerzitou Ostrava. Studenti tak mají možnost plynule navázat na další odborné studium. Do budoucna se škole chce otevřít i celoživotnímu vzdělávání, odborným kurzům a rekvalifikacím. V plánu je také snaha o získání Technického lycea, které by rozšířilo nabídku pro žáky se zájmem o moderní technická a environmentální témata.

Originál článku naleznete zde: trz.cz

Převzaté výzkumné a vědecké články

Experimentální vývoj vysokopotenciálního keramického zásobníku tepla pro průmyslovou energetiku

Experimental Development of a High-Capacity Ceramic Heat Storage Tank for Industrial Power Generation

Ing. Dalibor Jančar, Ph.D.¹; prof. Ing. Jozef Vlček, Ph.D.¹; Ing. Milan Raclavský, CSc.²; Ing. Radek Nikel³; Ing. Jindřich Višek⁴; Marek Chrenko⁴

¹ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Ostrava – Vítkovice 703 00, Pohraniční 693/31, Česká republika, dalibor.jancar@mmvyzkum.cz

² Ecofer s.r.o., Oldřichovice 914, 739 61 Třinec

³ VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba

⁴ TECHNOSVAR a.s., Na Hrázi 2298, 738 01 Frýdek-Místek

Abstract

The paper deals with the development of a high-temperature ceramic thermal energy storage system intended for the accumulation of electrical energy in the form of heat at temperatures up to 1 300 °C. The main objective of the research is the design of a structurally and materially stable storage unit capable of long-term cyclic operation under extreme thermal loading while maintaining a high volumetric energy density. The proposed concept is based on high-alumina ceramic materials within the Al₂O₃-SiO₂ system, selected with respect to their thermal stability, resistance to thermal shock, and suitability for repeated high-temperature cycling. The article discusses the fundamental principles of sensible heat accumulation in solid ceramic media and analyses the influence of storage geometry on thermal losses and overall system efficiency. Special attention is devoted to the relationship between the volume-to-surface ratio and the resulting reduction of specific heat losses in large-scale storage units. The work further evaluates the material limitations of high-temperature heating elements, including FeCrAl and NiCr alloys as well as MoSi₂-based systems, and describes a two-stage heating concept consisting of a preheating chamber and a high-temperature heating section. This approach enables a more stable start-up regime and reduces thermal stress on critical components. An important part of the study is the design and realization of an experimental vertical cylindrical storage unit filled with perforated high-alumina ceramic blocks allowing controlled airflow through the storage body. The experimental device is intended for the verification of thermal gradients, charging and discharging dynamics, cyclic stability of the storage medium, and validation of numerical heat transfer models. Initial experimental results confirm the ability of the system to achieve the target operating temperatures and demonstrate stable behaviour of the ceramic accumulation medium during repeated thermal cycling. The presented concept is considered scalable for industrial applications with storage capacities ranging from units to tens of MWh. Compared with electrochemical battery systems, high-temperature thermal energy storage offers advantages in terms of service life, lower dependence on critical raw materials, and suitability for integration with high-temperature industrial technologies. The developed system therefore represents a promising solution for renewable energy storage, industrial waste heat utilization, and future decarbonized energy systems.

Key words: thermal energy storage, high-potential heat storage, heat storage tank, aluminosilicate ceramics

Abstrakt

Rozvoj obnovitelných zdrojů energie zvyšuje požadavky na efektivní systémy dlouhodobé akumulace energie schopné pracovat ve vysokoteplotním režimu. Příspěvek se zabývá vývojem experimentálního keramického zásobníku tepla určeného pro ukládání elektrické energie ve formě citelného tepla při teplotách až 1 300 °C. Systém je tvořen vysokoteplotním akumulačním sloupcem umožňujícím řízené proudění vzduchu skrz keramickou výplň. Článek se zaměřuje na materiálové limity vysokoteplotního provozu, geometrii akumulačního prostoru, dynamiku šíření teplotního pole a problematiku tepelných ztrát. Diskutovány jsou rovněž vlastnosti topných elementů pro provoz nad 1200 °C a význam dvoustupňového systému ohřevu. Součástí práce je popis experimentálního zařízení určeného pro validaci numerických modelů a ověření stability akumulačního média při cyklickém tepelném zatěžování. Výsledky potvrzují vhodnost navržené koncepce pro budoucí průmyslové aplikace v oblasti akumulace energie, využití odpadního tepla a dekarbonizace energeticky náročných provozů.

Klíčová slova: skladování tepelné energie, vysokopotenciální akumulace tepla, zásobník tepla, hlinito-křemičitá keramika

1. Úvod

Současná transformace energetiky vede k rychlému rozvoji obnovitelných zdrojů energie, jejichž výroba je však výrazně závislá na okamžitých klimatických podmínkách. Rostoucí podíl fotovoltaických a větrných elektráren proto zvyšuje požadavky na systémy akumulace energie schopné vyrovnávat krátkodobé i dlouhodobé výkyvy výkonu elektrizační soustavy. Vedle elektrochemických úložišť se proto stále výrazněji prosazují systémy akumulace energie ve formě tepla (Thermal Energy Storage, TES) [1], [2]. Zásadní výhodou vysokoteplotní akumulace je možnost zvýšení termodynamického potenciálu následného využití energie [3]. Teoretická účinnost zpětné přeměny tepla na mechanickou práci je dána Carnotovým vztahem:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{cold}}}{T_{\text{hot}}} \quad (1) \quad (1)$$

kde: T_{hot} je absolutní teplota horního tepelného rezervoáru (K)
 T_{cold} - absolutní teplota spodního tepelného rezervoáru (obvykle teplota okolí nebo chladicího média) (K)

Zvýšení horní teploty akumulace tedy přímo zvyšuje teoretickou účinnost následné konverze. Z tohoto důvodu je vývoj zaměřen na zařízení schopná dlouhodobého provozu při teplotách přesahujících 1000 °C. Cílem práce je návrh a experimentální ověření vysokopotenciálního keramického zásobníku tepla určeného pro akumulaci elektrické energie ve formě citelného tepla při provozních teplotách až 1300 °C.

2. Termodynamické aspekty vysokoteplotní akumulace

Významnou výhodou vysokoteplotních zásobníků je možnost dosažení vysoké hustoty uložené energie a současně přímé využití tepla v průmyslových procesech. Množství akumulované energie v pevném médiu lze obecně vyjádřit vztahem:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (J) \quad (2)$$

kde: m je hmotnost akumulačního materiálu (kg)
 c_p - měrná tepelná kapacita akumulačního materiálu při konstantním tlaku ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
 Δt - teplotní rozsah, ve kterém je zásobník provozován (K)

Pro vysocehlinité keramické materiály na bázi systému $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ se hustota (objemová hmotnost) pohybuje v rozmezí $2500 - 3000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a měrná tepelná kapacita přibližně $900 - 1100 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [4]. Při provozních teplotách kolem $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ je tak možné dosáhnout velmi vysoké objemové hustoty akumulované energie.

Při provozním teplotním rozsahu přibližně $200\text{-}1300 \text{ }^\circ\text{C}$ dosahuje měrná akumulovaná energie vysocehlinité keramiky hodnoty řádově $0,3 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zásobník obsahující desítky tun akumulací hmoty tak umožňuje ukládání energie v řádu desítek MWh, což jej řadí mezi středně velká průmyslová energetická úložiště.

Pro konstrukční návrh je však klíčové nejen samotné množství akumulací hmoty, ale také minimalizace tepelných ztrát. Pro radiální vedení tepla ve válcovém zásobníku lze tepelný tok aproximovat vztahem [5]:

$$P = \frac{2\pi l(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (\text{W}) \quad (3)$$

kde:	l	je	výška zásobníku (m)
	λ	-	teplotně závislý součinitel tepelné vodivosti ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
	t_1	-	vnitřní teplota ($^\circ\text{C}$)
	t_2	-	vnější teplota ($^\circ\text{C}$)
	r_1	-	vnitřní poloměr (m)
	r_2	-	vnější poloměr (m)

Z uvedené rovnice vyplývá zásadní konstrukční poznatek: s rostoucím průměrem zásobníku klesají měrné ztráty vztažené na jednotku uložené energie výrazně rychleji, než roste absolutní hodnota tepelných ztrát. Tento efekt je dán geometrickým poměrem objemu k povrchu a má zásadní dopad na ekonomiku velkokapacitních zařízení.

3. Materiálové aspekty akumulací média

Koncepce vysokopotenciálního zásobníku tepla částečně vychází z historicky ověřených principů regenerativních ohříváčů větru vysokých pecí, kde keramické mřížoví slouží jako akumulací médium [6]. Geometrie průduchů je navržena jako kompromis mezi tlakovou ztrátou a velikostí teplosměnné plochy. Akumulací médium je tvořeno vysocehlinitou keramikou s optimalizovaným fázovým složením, zejména s vyšším podílem mullitu a korundu. Volba materiálu byla podmíněna následujícími požadavky:

- dlouhodobá stabilita při teplotách nad $1200 \text{ }^\circ\text{C}$,
- odolnost vůči cyklickému tepelnému namáhání,
- odolnost vůči proudícímu vzduchu,
- příznivá kombinace hustoty a tepelné kapacity.

Nevhodné se ukázaly materiály s vyšším obsahem polymorfních forem SiO_2 (obsah cristobalitu a tridimitu), u nichž dochází při teplotních přechodech k výrazným objemovým změnám v důsledku fázových transformací. Tyto transformace generují lokální napěťové koncentrace a mohou vést k degradaci akumulací struktury. Jako nevhodné byly vyhodnoceny rovněž magneziové žárovzdorné materiály [4].

Přestože vykazují vysokou objemovou tepelnou kapacitu, jejich relativně vysoký součinitel lineární teplotní roztažnosti vede při cyklickém zatěžování k významnému nárůstu teplotně indukovaných napětí.

Nízká odolnost proti tepelnému šoku je zde přímým důsledkem této vysoké roztažnosti v kombinaci s mechanickou tuhostí materiálu. V podmínkách vysokopotenciální akumulace by tak mohlo docházet k výrazným dilatačním deformacím akumulárního zdiva, k tvorbě trhlin a ke ztrátě geometrické stability konstrukce.

Akumulační část je proto tvořena soustavou děrovaných keramických tvarovek uspořádaných ve vertikálním sloupci, což umožňuje efektivní přenos tepla mezi proudícím médiem a keramickým tělesem.

4. Konstrukční řešení vysokoteplotního ohřevu

Z konstrukčního hlediska představuje nejkritičtější část zařízení otopná soustava. Při požadovaných teplotách nad 1200 °C dochází k výraznému omezení použitelného spektra materiálů.

Posuzovány byly zejména:

- slitiny FeCrAl,
- slitiny NiCr,
- intermetalická sloučenina MoSi₂,
- keramické elementy na bázi Si.

Slitiny FeCrAl umožňují provoz do cca 1400 °C, avšak vykazují zvýšenou křehkost po dlouhodobém vystavení vysokým teplotám.

Slitiny NiCr si zachovávají vyšší plasticitu, jejich nevýhodou je však vysoký obsah niklu a s tím spojená ekonomická rizika.

Intermetalická sloučenina MoSi₂ umožňuje provoz až do 1800 °C, avšak vykazuje výraznou teplotní závislost elektrického odporu. Poměr odporu při pokojové teplotě a při pracovní teplotě může dosahovat až 1:10, což zásadně komplikuje startovací režim a regulaci výkonu. Na základě těchto skutečností je možno zvažovat dvoustupňovou topnou koncepci:

1. předehřevová komora (do cca 800 °C),
2. vysokoteplotní dohřevová komora (nad 1200 °C).

Toto řešení umožňuje snížení teplotního namáhání jednotlivých komponent a zlepšení regulačních vlastností celého systému.

5. Dynamika proudění a šíření teplotního pole

Konstrukce zásobníku vychází ze sloupcového uspořádání akumulárních tvarovek, přes které proudí vzduch. Během nabíjení dochází k šíření teplotní vlny směrem od vstupu horkého média ke spodní části zásobníku. Limitujícím parametrem je výstupní teplota vzduchu z dolní části zásobníku, která musí zůstat v mezích bezpečných pro ventilátor a další navazující technologii. Poměr výšky k průměru (h/d) se ukázal jako klíčový parametr.

Nízký poměr h/d vede k vyšším relativním ztrátám a omezuje podobnost modelového zařízení s průmyslovým řešením. Naopak štíhlá koncepce umožňuje lépe simulovat reálné provozní podmínky.

Při návrhu vysokoteplotních zásobníků je důležité zohlednit také rychlost šíření teplotní fronty v akumulačním médiu. Orientačně lze rychlost prostupu teplotní vlny vyjádřit součinitelem teplotní vodivosti akumulčních tvarovek:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (4)$$

kde: λ je součinitel tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
 ρ - objemová hmotnost ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 c_p - měrná tepelná kapacita ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

6. Tepelně-technické aspekty izolačního systému

Izolace je řešena vícevrstevným systémem vláknitých rohoží a desek s referenční teplotou 1300 – 1400 °C. Návrh izolačního systému vysokoteplotního zásobníku musí zohledňovat teplotní závislost tepelně-technických vlastností použitých materiálů a jejich vliv na celkové tepelné ztráty zařízení [7].

Výsledky ukazují, že technicky nejvýhodnější varianta izolace nemusí být ekonomicky optimální. U velkokapacitních zásobníků se rozdíl mezi jednotlivými variantami z hlediska tepelných ztrát relativně snižují, zatímco investiční náklady mohou výrazně růst. Měrné náklady vztažené na jednotku uložené energie s rostoucím průměrem zásobníku klesají. Tento efekt podporuje koncepci větších průmyslových jednotek oproti menším modulárním řešením.

7. Potenciál průmyslového využití systému

Vysokopotenciální akumulované teplo lze využít:

- pro zpětnou výrobu elektřiny [8],
- pro napájení průmyslových vysokoteplotních procesů,
- pro termochemické transformace odpadů,
- pro výrobu syntézního plynu a následně metanolu,
- pro vysokoteplotní elektrolýzu vody.

Ve srovnání s bateriovými systémy nabízí vysokoteplotní akumulace delší životnost, nižší materiálovou náročnost a vyšší energetický potenciál na jednotku objemu při průmyslovém měřítku.

8. Pilotní vysokoteplotní akumulační jednotka

Na základě uvedených konstrukčních a materiálových analýz bylo navrženo a realizováno experimentální zařízení vysokopotenciálního akumulátoru tepla („Žárojem“). Zařízení je koncipováno jako vertikální válcová jednotka o výšce přibližně 6 m, tvořená sloupcem děrovaných vysocehlinových keramických tvarovek (viz **obr. 1**). Otopná soustava je řešena dvoustupňově s oddělením přehřevové a vysokoteplotní části, což umožňuje řízený náběh do provozních teplot a omezení teplotního namáhání jednotlivých komponent.

Experimentální jednotka je dimenzována na akumulaci energie přibližně 125 kWh při provozním teplotním rozsahu cca 200–1300 °C.

Zařízení slouží primárně k ověření materiálového chování, teplotních gradientů, dynamiky nabíjení a validaci numerického modelu. Konstrukce umožňuje řízené proudění vzduchu skrz akumulací těleso a sledování teplotního pole v průběhu nabíjení a vybíjení. Zařízení je v současné době ve fázi experimentálního testování.

Probíhá ověřování stability topných elementů při cyklickém provozu a verifikace energetické bilance systému. První výsledky potvrzují dosažitelnost projektovaných provozních teplot a stabilitu akumulací média při cyklickém zatěžování.

Navržená koncepce je však konstrukčně škálovatelná a při navýšení průměru a množství akumulací hmoty umožňuje dosažení kapacit v řádu jednotek až desítek MWh pro průmyslové aplikace.



Obr. 1 Experimentální vysokoteplotní akumulací jednotka a keramická akumulací tvarovka
Fig. 1 Experimental High-Temperature Heat Storage Unit and Ceramic Heat Storage Fitting

9. Závěr

Experimentální vývoj vysokopotenciálního keramického zásobníku tepla potvrdil technickou realizovatelnost akumulace energie při teplotách přesahujících 1200 °C. Výsledky ukazují, že kombinace vysocehlinitých keramických materiálů, vertikální geometrie zařízení a dvoustupňové koncepce ohřevu představuje vhodné řešení pro dlouhodobý cyklický provoz.

Zásadním poznatkem je výrazný vliv geometrického měřítka na měrné tepelné ztráty a ekonomiku zařízení. S rostoucím objemem zásobníku dochází ke zlepšení poměru akumulované energie vůči tepelným ztrátám, což podporuje využití této technologie zejména u středních a velkých průmyslových jednotek.

Vysokopotenciální akumulátor tepla tak může představovat nový konstrukční prvek spojující energetiku, hutnictví a procesní průmysl v kontextu dekarbonizace a transformace energetických soustav. Další vývoj bude zaměřen na optimalizaci proudění média, numerickou simulaci teplotního pole a dlouhodobé testování stability topných elementů při opakovaném tepelném cyklování.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury České republiky v rámci projektu č. TS01020110 „Výzkum a vývoj vysokopotenciálního akumulátoru tepla“ a dále za podpory projektu „Institucionální podpora dlouhodobého a koncepčního rozvoje výzkumné organizace v roce 2026“, poskytované Ministerstvem průmyslu a obchodu.

„Originál tohoto článku byl publikován ve sborníku konference Oceláři 2026 a jeho modifikovaná verze je zde uveřejněn se souhlasem autora.“

Literatura

- [1] MITALI, J, DHINAKARAN, Shanmugam, MOHAMAD, Abdulmajeed. Energy storage systems: a review. *Energy Storage and Saving*. 2022, 1(3), 166-216. <https://doi.org/10.1016/j.enss.2022.07.002>.
- [2] VLČEK Jozef, NIKEL, Radek, RACLAVSKÝ, Milan, VÍŠEK, Jindřich. Akumulace tepelné energie. In *Sborník přednášek z konference Hutní keramika*. 5. - 6. 11. 2024, Rožnov pod Radhoštěm. Ostrava: Tanger, 2024, p. 98 - 102. ISBN 978-80-88365-22-8.
- [3] GIL, A, MEDRANO, M, MARTORELL, I, LÁZARO, A, DOLADO, P, ZALBA, B, CABEZA, L, F., State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1—Concepts, materials and modellization. 2010, 14(1), 31-55. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.035>.
- [4] SCHACHT, CH. Refractories Handbook. 2004. ISBN-13: 9780824756543.
- [5] TALER, J., DUDA, P. *Solving Direct and Inverse Heat Conduction Problems*. Berlin: Springer, 2006. ISBN 978-3-540-33470-5.
- [6] KRÓL, L. Konstrukcja i urządzenia wielkiego pieca. Ślask. 1989.SBN 83-216-0809—4.
- [7] SANTOS, M.F, MOREIRA, M.H., CAMPOS, M.G.G., PELISSARI, P.I.B.G.B, ANGÉLICO, R.A., SAKO, E.Y, SINNEMA, S, PANDOLFELLI, V.C. Enhanced numerical tool to evaluate steel ladle thermal losses. 2018. 44 (11), 12831-12840. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.04.092>.
- [8] DURCANSKÝ, Peter, NOSEK, Radovan a JANDACKA, Jozef. Use of Stirling Engine for Waste Heat Recovery. *Energies*. 13(16). June 2020. doi:10.3390/en13164133.

INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

Hyundai Steel a POSCO investují do nového integrovaného závodu v USA

4. května 2026

Korejské společnosti Hyundai Steel a POSCO pokračují v přípravách rozsáhlého investičního projektu výstavby nového integrovaného hutního závodu v americkém státě Louisiana. Projekt je realizován prostřednictvím společného podniku HYUNDAI-POSCO Louisiana Steel LLC a představuje jednu z největších současných investic korejského ocelářského průmyslu v Severní Americe.

Kapacita závodu má dosahovat přibližně 2,7–2,9 milionu tun oceli ročně, přičemž významná část produkce bude určena pro automobilový průmysl v Severní Americe. Závod je navržen jako „hydrogen-ready“, což umožní postupný přechod k nižším emisím CO₂ a případné využití vodíku v procesu přímé redukce.

Investice ve výši přibližně 5,8 miliardy USD patří mezi klíčové projekty transformace ocelářské výroby směrem k nízkoemisním technologiím mimo tradiční vysoké pece.

Originál článku naleznete zde: danieli.com

Ověření technologie odlévání malých odlitků z vakuované oceli

Validation of the Vacuum Steel Casting Technology for Small Castings

Ing. František Vrána; Ing. Pavel Fila, Ph.D.; Ing. Jan Čech, Ph.D.; Ing. Martin Balcar, Ph.D.

ŽĎAS, a.s., Strojírenská 675/6, 591 01, Žďár nad Sázavou, ČR, frantisek.vrana@zdas.cz

Abstrakt

Firma ŽĎAS, a.s. experimentálně ověřila možnosti technologie pro odlévání velkého množství malých ocelových odlitků s použitím licí pánve pro přelévání oceli po procesu vakuového zpracování na zařízení VD/VOD. Metalografické hodnocení mikročistoty a stanovení chemického složení, zejména koncentrace plynů a desoxidčních prvků u oceli vyrobené a odlité ověřovanou technologií v porovnání se standardním odléváním přímo z rafinační pánve sekundární metalurgie dokládá vliv uvedených postupů na vybrané kvalitativní parametry oceli.

Klíčová slova: licí pánev, odlitky, EOP, LF, VD/VOD

Abstract

ŽĎAS, a.s. experimentally verified the potential of a technology for casting large quantities of small steel castings using a casting ladle to transfer steel after the vacuum treatment process on VD/VOD equipment. Metallographic evaluation of microcleanliness and determination of chemical composition—particularly the concentrations of gases and deoxidizing elements—in steel produced and cast using the tested technology, compared to standard casting directly from a secondary metallurgy refining ladle, demonstrates the impact of these processes on selected quality parameters of the steel.

Key words: ladle furnace, castings, EAF, LF, VD/VOD

1. Úvod

Ocelárna ve ŽĎAS, a.s. produkuje ročně zhruba 30 000 tun oceli na ingoty a odlitky. Výroba tekutého kovu je realizována na zařízení primární metalurgie (EOP s kapacitou 20 tun), sekundární metalurgie (VD/VOD) a terciární metalurgie ESR (10 tun).

Současné požadavky na kvalitu ocelových odlitků vyžadují aplikaci technologií sekundární metalurgie (SM). Rafinační pánve SM jsou však standardně vybaveny šoupátkovými uzávěry (ŠU), které v rámci odlévání jedné tavby umožňují jen určitý počet bezpečných otevření a uzavření, což znamená z pohledu odlévání odlitků zásadní omezení. Výroba odlitků z vakuované oceli je tak limitována povoleným počtem otevření a uzavření ŠU, který si daná ocelárna nebo slévárna obvykle stanovuje na základě doporučení dodavatele keramiky nebo šoupátkového mechanismu. V mezním případě je limitní počet otevření a uzavření ŠU stanoven na základě vlastních zkušeností provozu s neúspěšnými případy odlití nebo dokonce vyplývá ze zkušenosti s haváriemi uzavíracího mechanismu.

V ocelárnách se SM přidruženou výrobou odlitků proto vyvstává otázka řešení možného odlévání vakuově zpracované oceli do velkého počtu forem s potřebnou hmotností odlévaného kovu v řádu desítek až stovek kilogramů.

Standardní odlévání velkého počtu malých odlitků je ve slévárnách s primární metalurgií zcela běžně prováděno přes pánve se zátkovým uzávěrem. Podmínky zpracování na zařízení SM však využívání pánví se zátkovým uzávěrem standardně neumožňují. Určitá technická řešení jsou v praxi využívána, ale jedná se vždy o nouzové varianty s ohledem na potřebu zachování zátkových pánví, provázené řadou technických potíží.

Problematika využití zátkových pánví pro SM souvisí především s vysokým opotřebením keramiky zátky v průběhu ohřevu taveniny na pánvové peci (LF), kdy dochází k dlouhodobému tepelnému i chemickému působení roztavené strusky na hladině kovu na keramiku zátky. Současně je třeba uvažovat i opotřebením keramiky zátky v roztaveném kovu z důvodu neustálého proudění taveniny zajišťovaného soustavným dmýcháním inertního plynu dnem rafinační pánve. Při využití zátkové pánve pro technologii VD nebo VOD je provázeno rovněž řadou technických komplikací a rizik. Intenzivní proudění kovu při zpracování technologií VD, rozstřík kovu a strusky, vysoké teploty taveniny a řada dalších faktorů prakticky omezuje využití zátkových pánví. Proces VOD jako kombinace vakuového oxidačního oduhlíčení a následného VD procesu pak celkově podmínky expozice zátky dále stupňuje.

Přes uvedené omezení využití pánve se zátkovým uzávěrem pro technologie SM existuje potřeba výroby malých a kvalitních odlitků z oceli s nízkou koncentrací síry, kyslíku, dusíku a vodíku, které lze zajistit technologií VD, a také odlitků z korozivzdorných ocelí vyráběných procesem VOD, což v důsledku vyžaduje technické řešení bezpečného odlévání požadovaného vysokého počtu slévárenských forem.

Jednou z možností je jednoduché přelití vyrobené oceli z rafinační pánve se šoupátkovým uzávěrem do licí pánve se zátkovým uzávěrem. Provedené práce a měření v rámci ověření technologie odlévání malých odlitků z vakuované oceli dokládají vliv uvedeného technologického kroku na dosahované kvalitativní parametry oceli.

2. Licí pánve pro odlévání oceli zpracované technologií VD/VOD

Pro potřebu odlévání velkého počtu malých ocelových odlitků z vakuově zpracované oceli v podmínkách ŽĐAS, a.s. byla konstrukčně navržena a vyrobena licí pánve se zátkovým uzávěrem.

Vyzdívka pánve dle **obr. 1** byla s ohledem na předpokládané licí teploty a požadované zachování kvality tekutého kovu navržena ze dvou materiálů. Dno pánve bylo odlito ze samotekoucího vysocehlinitého žárobetonu s chemickým složením dle **tab. 1**.

Ve dně licí pánve byl předlit otvor pro uložení standardní šamotové licí výlevky a ve středu dna pánve instalační otvor pro argonovací dmyšnu.

Stěny pánve byly navrženy a vyzděny z andalusitových cihel, vysoce odolných proti erozi a chemickému, tepelnému i tlakovému namáhání tekutým kovem. Základní chemické složení andalusitových cihel uvádí **tab. 2**.

Horní lem pánve byl ukončen litým žárobetonem, který má za účel ukončit vazbu cihlového staviva a jeho ochranu před mechanickým poškozením při ukládání krycího víka nebo čištění pánve. Pro přelévání kovu byla pánve dále vybavena krycím víkem s výřezem pro rameno se zátkou pro uzavření výtokového otvoru pánve a otvorem s nálevkou pro přelévání kovu z rafinační pánve se šoupátkovým uzávěrem.



Obr. 1 Vyzdívka licí pánve / **Fig. 1** Ladle Furnace Refractory Lining

Tab. 1 Chemické složení žárobetonu (hm. %)

Tab. 1 Chemical Composition of Refractory Concrete (wt. %)

Složka	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Podíl složky	93,25	0,14

Tab. 2 Chemické složení andalusitových cihel (hm. %)

Tab. 2 Chemical Composition of Andalusite Bricks (wt. %)

Složka	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
Podíl složky	82,8	10,3	3,4	1,9

3. Technologie výroby oceli

Provozní zkoušky technologie přelévání kovu z rafinační pánve SM do licí pánve byly realizovány ve ŽĎAS, a.s. na zakázkách pro výrobu ocelových odlitků jakosti GS25CrNiMo4 a jakosti G17CrMoV510 s předepsaným chemickým složením dle **tab. 3** a **tab. 4**.

Tab. 3 Chemické složení GS25CrNiMo4 (hm. %)

Tab. 3 Chemical Composition of GS25CrNiMo4 (wt. %)

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
Min	0,22	0,60	-	-	-	0,80	0,80	0,20
Max	0,29	1,00	0,60	0,020	0,015	1,20	1,20	0,30

Tab. 4 Chemické složení G17CrMoV510 (hm. %)

Tab. 4 Chemical Composition of G17CrMoV510 (wt. %)

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Sn
Min	0,15	0,50	-	-	-	1,20	-	-	0,90	0,20	-
Max	0,20	0,90	0,60	0,020	0,015	1,50	0,40	0,30	1,10	0,30	0,025

Ocel pro provozní zkoušky byla vyráběna na elektrické obloukové peci (EOP) s následným zpracováním na zařízení LF a dohotovením na zařízení VD/VOD. Před vlastním procesem přelévání kovu z pánve do pánve byla na zařízení LF tavenina přehřáta na vyšší teplotu za účelem pokrytí teplotních ztrát při přelévání.

4. Technologie přelévání a odlévání oceli

Při přelévání kovu z rafinační pánve do licí pánve byl z počátku uvažován jako jediný řídicí parametr pro danou technologii stupeň přehřátí taveniny, resp. pokles teploty kovu v pánvi při transportu a následném přelévání.

Licí pánve byla před odléváním předehřívána na horizontálním ohřevu s kyslíko-palivovým hořákem na teplotu 800 °C s výdrží 3 hodiny na zvolené teplotě. Po sejmutí pánve z ohřevu byla pánve uvedena do pracovní polohy a následně bylo na pánve umístěno izolační víko. V dalším kroku proběhlo pasování a instalace zátky do mechanismu zátkového uzávěru. Po instalaci zátky byla licí pánve umístěna na litinovou desku v místě určeném pro přelévání kovu, kde byla zhruba 10 minut odstavena do okamžiku zahájení přelévání taveniny. Současně byl na argonovací systém licí pánve připojen přívod inertního plynu.

Příprava tekutého kovu na LF spočívala v nastavení požadovaného chemického složení a teploty taveniny. Po dosažení požadovaných parametrů taveniny byl zahájen transport pánve z LF na místo přelévání. Transport pánve včetně instalace hydraulického pístu představoval časový interval od 5 do 10 minut. V rámci tohoto časového intervalu byl pro objem 18 tun tekuté oceli kalkulován pokles teploty taveniny o 10 °C. Další pokles byl uvažován v rámci přelévání. Pro přelití kovu z rafinační pánve s výlevkou o průměru 80 mm je třeba uvažovat s časem obvykle okolo 1 minuty. Významný pokles se očekával při kontaktu kovu se vzduchem a následně s vyzdívkou licí pánve. Po dobu přelévání a při homogenizaci a čištění kovu byl dmýchán inertní plyn v objemu 10 Nl·min⁻¹. Vzhledem k tomu, že zvolený způsob přelévání lze fyzikálně přirovnat k běžnému odpichu z EOP, bylo možné empiricky určit nezbytné přehřátí kovu v rafinační pánvi před přeléváním o 50 °C nad požadovanou licí teplotu. Vlastní přelévání probíhalo při maximálním otevření šoupátka průměru 80 mm a do licí pánve byla přelita veškerá tavenina, tzn. ocel včetně veškeré tekuté rafinační strusky. Výchozí teploty taveniny před přeléváním a naměřené teploty taveniny v licí pánvi po přelití a krátkém dmýchání argonu po ukončení přelití (cca 2 minuty) uvádí **tab. 5**.

Tab. 5 Teploty taveniny v rafinační a licí pánvi

Tab. 5 Melt Temperatures in the Refining and Casting Ladles

Jakost	Hmotnost oceli	Teplota kovu Měřeno na LF	Teplota kovu Měřeno v licí pánvi	Změna teploty
GS25CrNiMo4	14,6 t	1 661 °C	1574 °C	87 °C
G17CrMoV510	17,8 t	1 662 °C	1607 °C	55 °C

Jak vyplývá z **tab. 5**, dochází u přelévání taveb k významnému poklesu teploty kovu. U tavby o hmotnosti tekuté oceli 14,6 tuny došlo k poklesu teploty kovu téměř o 90 °C. V případě tavby s hmotností tekuté oceli 17,8 t byl pokles dle očekávání na úrovni 55 °C. Rozdílné poklesy teploty kovu dle zjištěných údajů souvisí jednak s různou tonáží sledovaných taveb a také s dosaženým stupněm přehřátí vyzdívky licí pánve. Další hodnocení vlivu použité technologie lití a přelévání bylo zaměřeno na chemické složení a metalografickou čistotu oceli.

5. Výsledky hodnocení vybraných parametrů

Pro zvolený způsob výroby oceli s následným přeléváním vakuově zpracované taveniny do licí pánve se předpokládaly změny chemického složení oceli a mikročistoty vlivem kontaktu taveniny s atmosférou a keramikou licí pánve.

5.1 Chemické složení

Posouzení vlivu zpracování taveniny bylo provedeno ověřením změny chemického složení oceli. Porovnání analýzy vzorku odebraného na pánvové peci před odléváním odlitku nebo přeléváním kovu do licí pánve s analýzami z hotového odlitku uvádí pro jakost GS25CrNiMo4 **tab. 6** a pro jakost G17CrMoV510 **tab. 7**.

Tab. 6 Základní chemické složení vzorků jakosti GS25CrNiMo4 (hm.%)

Tab. 6 Basic Chemical Composition of GS25CrNiMo4 Grade Samples (wt. %)

Analyzovaný vzorek		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
Standardní lití	LF	0,27	0,86	0,38	0,008	0,003	1,19	0,90	0,26
	Odlitek	0,26	0,85	0,39	0,008	0,003	1,20	0,89	0,25
Přelitá tavba	LF	0,27	0,79	0,28	0,009	0,005	1,08	0,94	0,26
	Odlitek	0,27	0,79	0,27	0,009	0,005	1,10	0,94	0,26

Tab. 7 Základní chemické složení vzorků jakosti G17CrMoV510 (hm.%)

Tab. 7 Basic Chemical Composition of G17CrMoV510 Grade Samples (wt. %)

Analyzovaný vzorek		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Sn
Standardní lití	LF	0,19	0,66	0,40	0,010	0,002	1,26	0,25	0,10	0,95	0,22	0,006
	Odlitek	0,18	0,66	0,41	0,009	0,001	1,27	0,25	0,10	0,96	0,21	0,006
Přelitá tavba	LF	0,18	0,68	0,39	0,007	0,001	1,32	0,24	0,11	0,98	0,22	0,006
	Odlitek	0,17	0,68	0,39	0,008	0,001	1,31	0,24	0,11	0,97	0,21	0,006

Z **tab. 6** a **tab. 7** je zřejmé, dle předpokladu, že porovnávané technologie odlévání neovlivňují koncentrace základních legujících a doprovodných prvků. Zjištěné odchylky koncentrací lze přisuzovat přesnosti použitých analytických metod a chemické heterogenitě analyzovaných vzorků.

Tab. 8 a **tab. 9** dokládá obdobně s ohledem na technologie odlévání koncentrace dalších sledovaných prvků, hliníku, vápníku a plynů, vodíku, dusíku a kyslíku.

Tab. 8 Sledované prvky taveb jakosti GS25CrNiMo4 (hm.%)

Tab. 8 Monitored elements in melts of GS25CrNiMo4 Grade (wt. %)

Analyzovaný vzorek		Al	Ca	H (ppm)	N	O
Standardní lití	LF	0,023	0,0010	1,6	0,0029	0,0026
	Odlitek	0,016	0,0005	1,2	0,0048	0,0025
Přelitá tavba	LF	0,022	0,0010	1,2	0,0040	0,0017
	Odlitek	0,010	<0,0005	2,3	0,0079	-

Tab. 9 Sledované prvky taveb jakosti G17CrMoV510 (hm.%)

Tab. 9 Monitored elements in melts of G17CrMoV510 Grade (wt. %)

Analyzovaný vzorek		Al	H (ppm)	N	O
Standardní lití	LF	0,016	1,4	0,0050	0,0016
	Odlitek	0,013	1,6	0,0065	0,0025
Přelitá tavba	LF	0,021	0,7	0,0040	0,0015
	Odlitek	0,011	-	0,0087	0,0030

Z **tab. 8** a **tab. 9** je patrné, že zjištěné koncentrace sledovaných prvků jsou do značné míry ovlivněny aplikovanou technologií odlévání. Současně je možné konstatovat, že změny koncentrací sledovaných prvků vlivem zvolené technologie odlévání jsou rozdílné.

V případě hliníku je v obou případech aplikovaných technologií zřejmý pokles jeho koncentrace v odlitku, přičemž pro případ přelévání oceli je změna významnější. Koncentrace vápníku, v souladu se změnami koncentrace kyslíku a aplikovaným způsobem odlévání, vykazuje snížení hodnot vlivem přelévání a následného odlití kovu do formy.

U koncentrací vodíku ve dvou případech došlo k růstu hodnot a v jednom případě je zřejmý pokles bez logické souvislosti se způsobem odlévání. U jedné taveniny nebyl obsah vodíku v odlitku úspěšně analyzován z důvodu značné heterogenity vzorku, resp. velkého rozptylu naměřených hodnot. K měření koncentrací vodíku je třeba také zmínit metodiku měření, kdy koncentrace v tavenině je měřena přístrojem HYDRIS® a v odlitku pak ze vzorku kovu na zařízení LECO. Koncentrace vodíku je rovněž ovlivněna chladnutím odlitku ve formě a následným tepelným zpracováním. Proto je třeba zjištěné hodnoty koncentrace vodíku v odlitku uvažovat i s ohledem na uvedené skutečnosti.

Koncentrace dusíku dle zjištěných hodnot vykazuje trend nárůstu v souvislosti jak s odléváním, tak i s přeléváním a následným odléváním. V případech přelévání taveb byly v odlitku zjištěny vyšší koncentrace i větší nárůsty koncentrace dusíku než u taveb standardní technologie, kdy byl kov přímo odléván z rafinační pánve do forem.

Z hlediska koncentrace kyslíku byly změřeny hodnoty pouze pro 3 vzorky oceli odebrané z odlitku. Jeden vzorek vykazoval příliš velkou heterogenitu naměřených hodnot, a proto nebyl do hodnocení zařazen. Ve dvou případech dle **tab. 9** pak pozorujeme nárůst obsahu kyslíku v oceli ve vzorcích odebraných z odlitků proti výchozí koncentraci zjištěné ze vzorku odebraného na LF, a to jak pro stav přímého odlévání oceli, tak pro ocel přelévanou s následným odléváním. V případě jedné taveniny dle **tab. 8** z výsledků analýzy odebraných vzorků není změna koncentrace kyslíku přelitím kovu z pánve do formy zřejmá.

V případě koncentrací vápníku, vodíku a kyslíku je třeba zmínit možnost relativně vysoké chyby měření, které vychází jednak z nízkých hodnot koncentrací uvedených prvků, dále z přesnosti měřících zařízení a v neposlední řadě i z možné chemické heterogenity odebraných vzorků. Přesto výsledky potvrzují očekávaný trend změny koncentrací a dokládají i absolutní nárůsty koncentrací sledovaných prvků.

5.2 Mikročistota oceli

Hodnocení vlivu způsobu zpracování taveniny bylo také provedeno z pohledu dosahované úrovně metalografické čistoty oceli. Na **obr. 2** a **obr. 3** jsou zobrazeny snímky z hodnocení mikročistoty oceli odebrané z výrobků odlitých dvěma porovnávanými způsoby odlévání.



Obr. 2 Mikročistota oceli standardně odlévané tavby jakosti GS25CrNiMo4

Fig. 2 Micropurity of steel from a standard GS25CrNiMo4 melt



Obr. 3 Mikročistota oceli přelévané tavby jakosti GS25CrNiMo4

Fig. 3 Micropurity of GS25CrNiMo4-grade steel cast from molten metal

Z **obr. 2** a **obr. 3** je patrné, že v oceli obou variant odlévání odlitků se vyskytují poměrně velké nekovové vměstky. V oceli odlitku litém standardním způsobem jsou přítomny různorodé, ostrohranné i globulární vměstky velikosti až 40 μm a protáhlé vměstky až 100 μm. V oceli odlitku z přelévané tavby dle **obr. 3** jsou patrné globulární vměstky do velikosti 12 μm. Lze tedy konstatovat, že byla zjištěna mírně lepší mikročistota vzorku oceli z odlitku odlévaného z taveniny přelité z rafinační do licí pánve. K hodnocení je třeba podotknout, že mikročistota oceli, odlévané do slévarenských forem z chromitového písku s vtoky tvořenými šamotovými kanálky, může být značně ovlivněna kontaktem odlévaného kovu s materiálem formy. Vliv na mikročistotu oceli má rovněž způsob plnění formy při odlévání a úroveň reoxidace odlévaného kovu.

Z uvedeného porovnání dosahované mikročistoty oceli lze usuzovat, že technologie přelévání vakuované oceli z rafinační pánve do licí pánve s následným odléváním odlitků zásadním způsobem nezhoršuje běžně dosahovanou mikročistotu oceli. Úroveň znečištění nekovovými vměstky je pro daný způsob odlévání oceli srovnatelná se standardní technologií výroby ocelových odlitků odlévaných z rafinační pánve přes šoupátkový uzávěr.

6. Závěr

V podmínkách Ocelárny společnosti ŽĎAS, a.s. bylo realizováno ověření technologie lití velkého množství malých ocelových odlitků s využitím tekutého kovu, přelévaného po vakuovém zpracování z rafinační pánve do speciální zátkové licí pánve.

Technologie přelévání kovu z rafinační pánve SM přes šoupátkový uzávěr do licí pánve se zátkovým uzávěrem si vyžádala určité konstrukční úpravy licí pánve a návrh i realizaci krycího víka. Zároveň byla učiněna změna u vyzdívkových materiálů, kdy namísto běžně využívaných šamotových cihel, s ohledem na teplotu taveniny a kvalitu odlévaného kovu, byly voleny materiály na bázi Al_2O_3 .

Výsledky hodnocení vlivu použité technologie zpracování taveniny před odléváním odlitků dokládají pokles teploty taveniny při přelévání z rafinační pánve do licí pánve se zátkovým uzávěrem. V rozsahu provedených analytických prací bylo hodnocením chemického složení potvrzeno, že vlivem přelévání vakuově zpracované oceli přes šoupátkový uzávěr do licí pánve nedochází ke změně koncentrace hlavních legujících prvků.

Technologie přelévání však způsobuje změnu koncentrace desoxidáčnických prvků s vysokou afinitou ke kyslíku. Dochází zejména k poklesu koncentrace hliníku a vápníku. Výsledky analýz chemického složení vzorků oceli rovněž potvrzují, že vlivem přelévání dochází v souladu s teoretickými předpoklady k růstu koncentrace plynů, kyslíku a dusíku v oceli. Z hlediska dosahované mikročistoty kovu, posuzované na základě metalografické hodnocení, nebyl vliv zvolené technologie odlévání oceli prokazatelný.

Provedené ověření technologie přelévání vakuované oceli do lící pánve, s cílem zajistit možnost odlévání velkého množství malých ocelových odlitků, potvrdilo možnost využití dané technologie v praxi bez zásadního vlivu na dosahovanou kvalitu ocelových odlitků.

„Originál tohoto článku byl publikován ve sborníku konference Oceláři 2026 a je zde uveřejněn se souhlasem autora.“

Literatura

- [1] Vrána, F., Odehnalová, A., Fila, P., Balcar, M., Uherek, J.: Provozní ověření technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci, Konference Oceláři 2025, strana 30, ISBN 978-80-88365-25-9
- [2] Odehnalová A., Vrána F., Fila P., Balcar M.: Problematika osových vad nástrojové oceli 8Cr3MoV, Sborník konference Odborné komise 04 při České slévárenské společnosti, z.s. Hotel Erich, Sázava, září 2024.
- [3] Vrána, F., Odehnalová, A., Fila, P., Balcar, M.: Zkušenosti z použití alitovaných elektrod na pánvové peci, Hutnické listy 1-3/2024.

INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

Primetals Technologies uvedl do provozu nový komplex pro výrobu pásů za tepla ve Vietnamu

23. června 2026

Společnost Primetals Technologies dokončila jednu z nejvýznamnějších letošních zakázek v jihovýchodní Asii uvedením do provozu nového komplexu pro výrobu pásů za tepla ve společnosti Hoa Phat Dung Quat Steel. Projekt zahrnuje dvě zařízení pro kontinuální lité brambory, válcovnu pásů za tepla, rozsáhlé automatizační systémy i pokročilé nástroje pro řízení kvality výroby.

Nový provoz představuje významné rozšíření výrobních kapacit vietnamského výrobce oceli. Celková roční kapacita linky dosahuje přibližně 5,5 milionu tun válcovaných výrobků, které jsou určeny především pro stavebnictví, strojírenství, výrobu potrubí a automobilový průmysl. Díky nové investici bude společnost schopna pokrýt větší část domácí poptávky po plochých výrobcích a současně posílit své exportní aktivity na asijských trzích.

Součástí dodávky je systém Through-Process Quality Control (TPQC), který propojuje jednotlivé výrobní operace od kontinuálního lité až po svinování pásu. Systém průběžně vyhodnocuje technologické parametry výroby a umožňuje včasnou identifikaci odchylek, které by mohly ovlivnit výslednou kvalitu materiálu. Nasazen byl rovněž soubor digitálních nástrojů pro optimalizaci výrobního procesu a podporu obsluhy při řízení válcovací tratě.

Originál článku naleznete zde: [Primetals](#)

Making Circular Business Models Beneficial for Steel Production, for the Environment, and for Market Protection

Vytváření cirkulárních obchodních modelů přínosných pro výrobu oceli, životní prostředí a ochranu trhu

CEng. Alejandro Sanz Lara, Ph.D.¹; prof. Ing. Jozef Vlček, Ph.D.¹

¹ MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, Vítkovice, 703 00 Ostrava, Czech Republic, EU, alejandro.sanz@mmvyzkum.cz; jozef.vlcek@mmvyzkum.cz

Abstract

From an economic burden to a competitive profitable differentiator. Reconciling the requirements for industrial production of steel with the reduction of waste (energy, materials, emissions, etc.) is a constant balance exercise of steel mills. Steel operators must define environmental and circular milestones that enhancing a viable manufacturing base that can compete in international markets. The authors elaborate on the mayor lean efficiency development of the steel industry and conceptually explore the critical strategic considerations of a fully circular steel market.

The authors explore the different learning mechanisms accompanying the transition and the consequences for the value & supply chains in both developed and emerging economies. The delicate phase of the energy and circularity transition requires adaptation to new competitive forces and legislative framework that will shape the steel market and will define new business model paradigms for a material that will continue to be an strategic component of the human society: steel.

Keywords: *Circularity, competition, value-streams, steel business models, energy efficiency, waste reduction, circular market and profitability creation*

Abstrakt

Od ekonomické zátěže ke konkurenční výhodě a ziskovému odlišení. Sladování požadavků na průmyslovou výrobu oceli se snižováním množství odpadu (energie, materiálů, emisí apod.) představuje pro ocelárny trvalé hledání rovnováhy. Výrobci oceli musí stanovovat environmentální cíle a principy cirkulární ekonomiky tak, aby podporovaly životaschopnou výrobní základnu schopnou obstát v mezinárodní konkurenci.

Autoři se zaměřují na hlavní směry rozvoje štíhlé výroby (lean manufacturing) a zvyšování efektivity v ocelářském průmyslu a současně koncepčně analyzují klíčové strategické aspekty plně cirkulárního trhu s ocelí. Dále se věnují mechanismům učení a osvojování nových přístupů, které provázejí tento přechod, i jejich dopadům na hodnotové a dodavatelské řetězce ve vyspělých i rozvíjejících se ekonomikách.

Citlivé období energetické transformace a přechodu k cirkulární ekonomice vyžaduje přizpůsobení novým konkurenčním podmínkám i legislativnímu rámci, které budou formovat budoucí podobu trhu s ocelí a určovat nové obchodní modely pro materiál, jenž zůstane i nadále strategickou součástí lidské společnosti – ocel.

Klíčová slova: *cirkularita, konkurence, hodnotové toky, obchodní modely v ocelářství, energetická účinnost, snižování množství odpadu*

1. Circularity and steel

Steel is a significant contributor to economic potential of a given country either by its own contribution to GDP or by the ability to indirectly feed a market (construction, machinery, mining, infrastructure). Steel industry, especially in Europe, is confronted with serious competitive challenges both in its domestic and international markets [1]. The World Steel Association in its 2025 sustainability report [2] declares a dynamic industry focusing on the development of sustainable practices and adherence to several indicators that keep updating themselves in time. The figure **fig. 1** below shows in bold new milestones and criteria that have been added during 2025 [2]. They cover environmental, social, economic and governance criteria with healthy trends of modest (but positive) trends in the economics results while continuous trends diminishing the level of emissions. This reflects a dynamic industry willing to improve operations, being more efficient and environmentally conscious. At the same time the same source [3] reports that still the industry produces more tons of CO₂ than tons of steel and that the dominant route for producing steel (+60%) is based on the integrated Blast Furnace (BF) + Basic Oxygen Furnace (BOF). Significant differences exist between the main geographic areas (the Americas, Europe, Asia and India). The only geographic area losing capacity to produce steel is Europe. Overcapacity means that the mild growth from all other areas tends to be funneled to the export market. Only significant exception to this rule seems to be India that increased its production of steel but reduced its export (an indication of an internal healthy market consuming the additional production). Different levels of trade barriers and tariffs exist in all geographies to protect the ability to sovereignly produce steel locally. There is a renewed interest in reinvigorating the defense industry in Europe and therefore increasing steel production to meet the new demands [4].

The competitive position of European steel producers in the international markets is challenging as their higher manufacturing costs and the abundance of dirtier but cheaper steel in the market from multiple sources leads to an unbalanced offering situation.



Fig. 1 Sustainability indicators by the World Steel Association in its 2025 report [2]

Obr. 1 Ukazatele udržitelnosti uvedené WSA ve zprávě z roku 2025 [2]

The industry has naturally been evolving into more efficient production means by leaner and more environmentally friendly processing routes. The authors can appreciate firsthand the transition from a cost burden of some off-gas treatment plants that have given place to new preheating means to reduce the energy consumption of steel making and become a significant competitive advantage (particularly when energy prices are high and volatile) [5]. Embedding sustainability in the steel business strategy entails cultural, technical and operational paradigm changes within the organization. New processes and tools that will enable sustainable steel processes require to be truly integrated throughout the entire company’s value chain.

In present times, the concept of Circular Economy (CE) is at the core of the steel industry, as part of its production is obtained by recycling and re-melting/ transforming steel from end-of-life goods. Circularity also entails the design of steel products aiming at longer longevity in service and with proper recycling and waste management practices [6-8]. It encompasses both the direct metallic products as well as the byproducts (slag, dust, consumed refractories, etc.)

According to IRENA (International Renewable Energy Agency) [9] there are 4 circular economy pillars that have a direct impact on 10 domains evenly spread between the environmental impact and the economic aspects of the steel products in service (**fig. 2**).

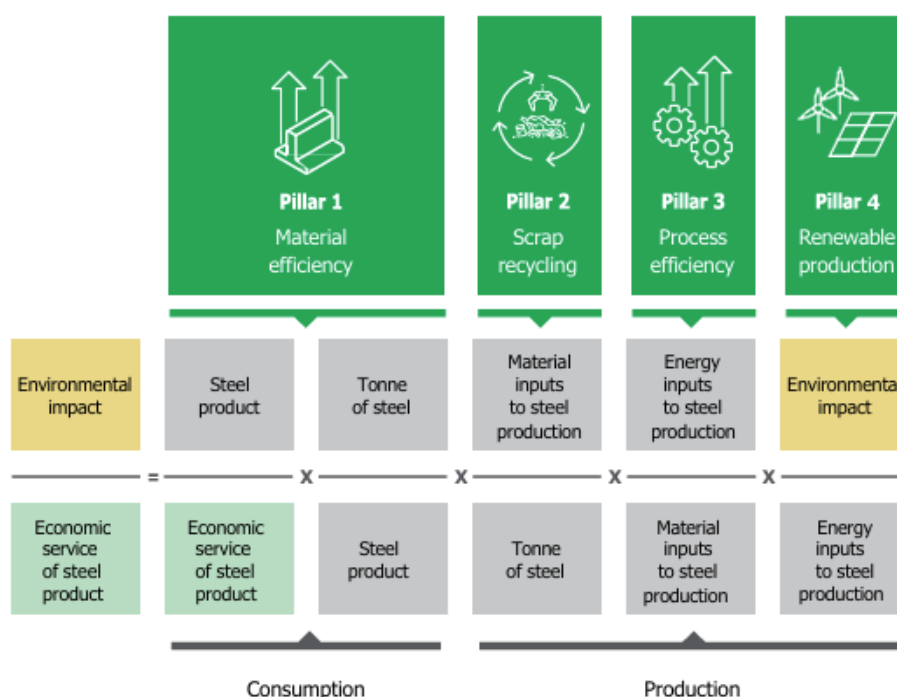


Fig. 2 Sustainability indicators by the World Steel Association in its 2025 report [9]

Obr. 2 Ukazatele udržitelnosti uvedené WSA ve zprávě z roku 2025 [9]

The impact of steel operations in the economic life of communities, industries and countries mean that economic growth and wealth cannot be decoupled from the value chain supporting them. **Fig. 3** represents how literature has treated these interactions to achieve harmonious development. The way authorities and communities are informed and take decisions with a better understanding is becoming an important pole of attraction. This type of relationship often implies working relationships and the environmental impact for those communities near the steel plants.

It involves elements of technological feasibility, combined with regulations and incentives for the successful and ecologically friend operation of the mill facility. This The public-technology interaction lies in the “Public Space” in **fig. 3**. These interactions deploy policies and rules setting the boundary conditions within which the steel plant operation could take place. It aims at deploying policies for setting the boundary limits of the operation to coexist with its surrounding communities.

It is crucial to recognize that there is no universal solution for integrating sustainable steel operations into the social and economic tissue of a given society. Even cultural differences, historical and economic differences can define and significantly shape unique solutions.

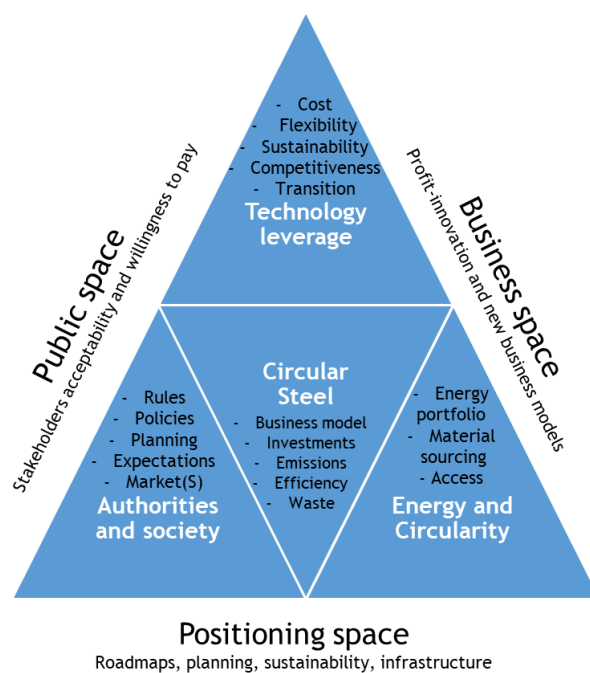


Fig. 3 Different decision spaces framing the sustainable positioning of circular steel

Obr. 3 Různé rozhodovací mechanismy vymezující udržitelné postavení oceli v oběhovém hospodářství

The “business space” in **fig. 3** is driven by the technology-enabled paradigm shift offered by renewable energies, new reducing agents (like hydrogen) and the strategic decisions related to the direction the steel company wants to pursue (partially to also align with the requested tradeoff from the public space). The technology paradigm shift offered, among other things, by new energy sources, storage capacity, AI, automation, sensing, etc. holds immense potential and it mobilizes both national and international resources pushing the boundaries of technical and deployment feasibility. It is a gradual and negotiated process.

The “positioning space” defines the strategic aim of both the country/community and the company. It looks forward to preparing the platforms to build the future and the competitive advantages. This is country specific and depends on the ability to build infrastructure for change (human and physical) and have a plan for the deployment with lower degree of uncertainty. Looking at the specific tools and criteria that might be relevant in defining the circular profile of a steel meltshop and its ecosystem, it is worth focusing on the interfaces along the different spaces as shown in **fig. 4**.

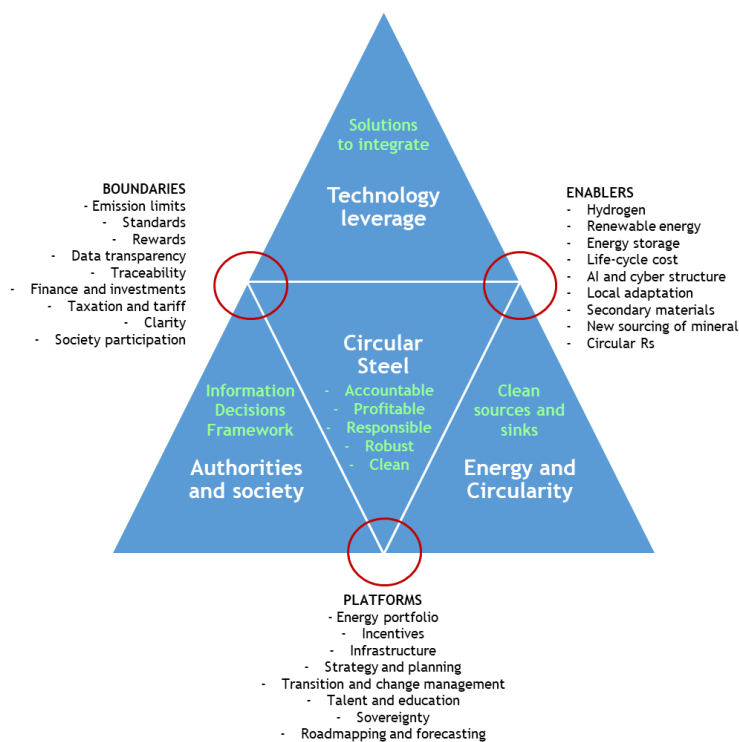


Fig. 4 Tools and criteria for the interfaces with the circular steel space

Obr. 4 Nástroje a kritéria pro propojení s odvětvím cirkulární oceli

The interfaces between technology and authorities/society have a focus on two main aspects: Creating the boundary conditions within which the steel company operate and producing the communication channels so that the society, the decision makers are properly and transparently informed and can take faster and well-informed decisions that are understandable for the whole community. The creation of such traceable and transparent information systems allows more direct information and participation of all the stakeholders.

The interface along the “business space” is mainly focused with the technological choices that are both mature enough and suitable for the specific boundary conditions and goals determined in the other two sides of the triangle. As such, there are no absolute best practices but only the best practices for specific set of conditions and with positioning goal.

The last, and not least, dimension is the long-term positioning of society vis a vis of their environment. It includes transformation and changes for energy and waste management. It looks after the preparation of the human capital and the physical infrastructure. It aims to ensure the permanence of a sustainable and profitable steel operation within the parameters set.

It should be clear that none of the three sides of the analysis is independent of each other. The approach is not deterministic and cannot avoid a degree of uncertainty that is normal for every strategic endeavor. This is the equilibrium under which the steel industry has evolved, with differences in different geographies and markets.

A different, and maybe complementary, analysis could be brought forward for a more distant time horizon. Playing on hypothetical fully circular scenario where not only the steel producers but also the steel users will be fully circular some interesting implications could be derived.

They help to understand the different implications for the structuring of the supply and value chains of the steel of the future. Pinto and Deamer [10] have approach this situation to prepare some scenarios about a future where not only the production will be circular but also the final destination of the steel (e.g. automobile) will be fully in accordance with circular economy (**fig. 5**). Their analysis takes a long period of time (up to year 2196) and their modelling looks at different strategies, hedging vs integration vertically and horizontally, for both sides of the supply chain. What is interesting to mention from the circularity point of view is more related to the consequences that this bilateral fully circular approach entails for volumes and value chains.

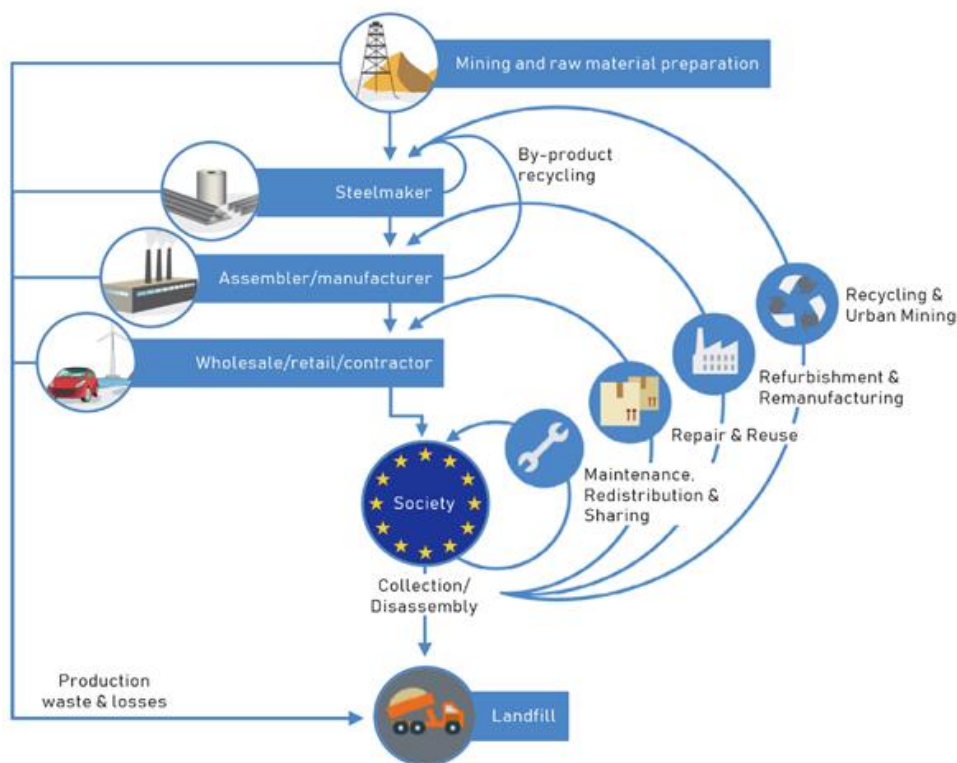


Fig. 5 Circular economy framework applied to the EU steel industry by [10]

Obr. 5 Rámec cirkulární ekonomiky aplikovaný na ocelářský průmysl EU podle [10]

The general observation of the outcome of their long-term models is that there is a reduction of the amount of new steel from BF+BOF needed and a minimal reduction on the amount of steel produced from scrap. Regarding the Blast Furnace + Basic Oxygen Furnace their models show a reduction bigger than two thirds (but not a total dispersion). Similar profiles can be observed for the amount and type of slags produced and recycled. The author's conclusion is that the steel making facilities should either integrated or hedge vertically (recycling) while for the demand side they should integrate or hedge horizontally (collect, sort, repair, reuse and refurbish).

One aspect that was not addressed by the authors is that the overall decoupling between production and consumption will significantly narrow and that scrap becomes and strategic commodity that needs transparent markets for a proper management. The moment consumption (and therefore the availability of scrap) becomes geographically close to consumption, the overall global balances and competition will change.

2. Industrial ecosystem, learning loops and arbitrage decisions

It is obvious that the steel industry has not undergo such level of circularity, sustainability and integration. It is equally important to note that the steel producers have significantly shifted their production, reducing their energy and waste footprints. It seems to the authors that the current challenges for the European steel industry are derived from the transition nature of the business and its implications for both the value chain and the competitiveness.

It is important to understand that the steel market is global, interconnected and smart. While some protective measures to fence off unfair competition from suppliers outside Europe may sound logical, their implications in the global arena might seem a bit more surprising. Some new mechanisms are becoming enforceable in the European Union in 2026, namely:

- a) The State Aid Guidelines for Emission Trading System (ETS)
- b) indirect cost compensation. Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)
- c) The Circular Economy Act (announced for quarter 4 of 2026).

While the idea of a tax on steel produced under less clean methods the moment it enters Europe may sound logical and common sense, there is risk of circumvention that could harm European exports:

- a) When goods produced in low-carbon production facilities in third countries are redirected to European customers while carbon-intensive production continues for other markets (so-called 'shuffling').
- b) Similarly, greenwashing can occur through carbon accounting practices, such as energy-intensive metals production benefiting from market-based instruments to appear low-carbon while still relying on high-emission energy sources or misleading scrap content accounting practices.

As overcapacity is here to stay, the need for exporting steel is not an accessory but a vital lifeline for the industry that should be supported either by the right balancing of tariff and incentives and by a more assumed political view of supporting green steel European producers.

On the positive side the Circular Economy Act should improve the functioning of secondary raw material markets and create a single market for waste. It is still not clear whether scrap will be covered by the Act but there certainly is a need for a single open European market for scrap. Metal scrap should circulate freely, to ensure that it can be recycled in the most performant facilities and to make use of economies of scale.

The steel industry has gone through some learning loops but has not reached a fully circular functioning. Each learning loop incorporates the precedent and adds new challenges, goals, and guiding principles (**fig. 6**).

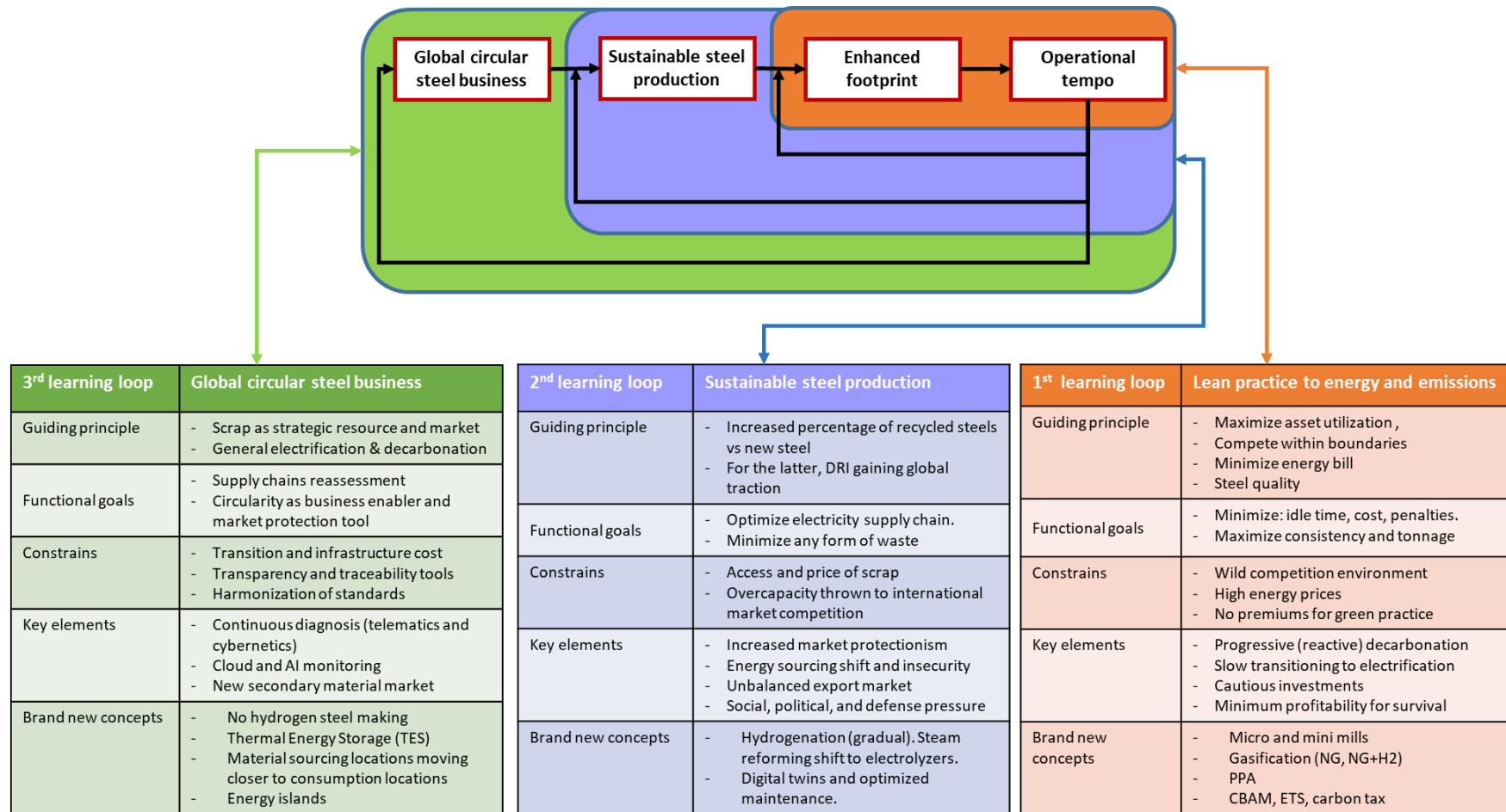


Fig. 6 Circular Steel Learning Cycles
Obr. 6 Cyklické procesy učení pro cirkuární ocelářství

3. The digital dimension

There is a digital and data dimension that is essential in the quest from steel industry to meet its compliance with International Sustainability Standards Board (ISSB) norms ensuring that steel manufacturers adopt Environmental, Social, and Governance (ESG) frameworks to minimize carbon emissions, enhance resource efficiency, and maintain a competitive edge. The use of AI, ML, digital twins and other mathematical tools is generalized in the leading steel producing companies around the world.

As per UNEFED (United Nations Economic Commission for Europe), a circular economy is an economy were

- The value of materials in the economy is maximized and maintained for as long as possible.
- The input of materials and their consumption is minimized; and
- The generation of waste is prevented as well as negative environmental impacts reduced throughout the life cycle of materials

All the above requires an ever-richer data infrastructure and advanced simulations tools to ensure transparency, enforceability of the standards and an agile adaptation to ever increasing challenges from the legitimate society quest of clean production.

4. Scenario analysis and conclusions

Efforts to green the steel industry follow at least two parallel approaches: enhancing the circularity of the operations and decarbonizing. For the latter, the steel sector requires at least a 50 % and up to a 90 % reduction in emissions by 2050 to align with global net-zero targets from the Paris Agreement. For the former there is a plethora of research ideas and piloting plants.

Fig. 7 presents some of the potential options for the liquid metal processes under fully orthogonal (completely linear independent bi-dimensional quadrants). Each of the technologies has pros and cons, but some of them are facing some of the last years in service. There is a generalized idea, that the authors do not counter, that the future of steelmaking is electrified and hydrogenated.

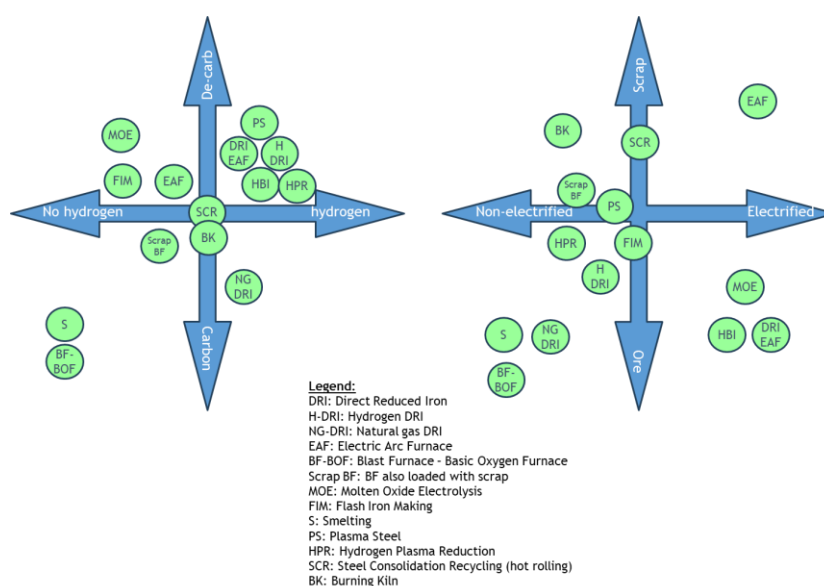


Fig. 7 Orthogonal scenario views of production alternatives for steel making

Obr. 7 Ortogonální pohledy na scénáře alternativ výroby oceli

As water is the most common source material for green (or clean) hydrogen, there is the assumption that hydrogen is unlimited and its extraction is equally unrestrained. Already in 2024 [13] the IEER (Institute for Energy and Environment Research) stated that *"The high water intensity of hydrogen production raises important issues for siting hydrogen production facilities, competition among water uses...."*. The authors, therefore have included a technology that claims its main advantage resides in producing steel or pig iron without a Blast Furnace and completely hydrogen free. The name of the technology is Molten Oxide Electrolysis (MOE) [14].

Circularity in steel making and the associated lean positions in energy and waste are clear differentiators in the market if the users themselves are willing to grant a premium for clean circular steel or if the authorities decide (as they did with renewable energy at is beginning). The steel industry will continue to face turbulence until new competing paradigms are established and the consumption and production delocalization might end.

During its recent history, sustainability and circularity have been two key allies of the steel industry allowing it to fence off competition, enjoy some incentive in key large markets. There is no rational for it to change.

„Originál tohoto článku byl publikován ve sborníku konference Oceláři 2026 a je zde uveřejněn se souhlasem autora.“

REFERENCES

- [1] OECD (2025), OECD Steel Outlook (2025), OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/28b61a5e-en>.
- [2] World Steel Association. Sustainability performance of the steel industry. Sustainability indicators report (2025). Brussels Belgium. steel@worldsteel.org
- [3] World Steel Association. World Steel in figures 2025. Brussels Belgium. steel@worldsteel.org
- [4] [How much will rising defense spending boost Europe's economy? | Goldman Sachs](#)
- [5] SANZ, A. Danieli Environmental Solutions for Steel Meltshops. *La Metallurgia Italiana*, 2/99, pp. 27-45.
- [6] HARPPRECHT, C., SACCHI, R., NAEGLER, T., van SLUISVELD, M., DAIIOGLOU, V., TUKKER, A., AND STEUBING, B. Future Environmental Impacts of global Iron and Steel Production. Royal Society of Chemistry. *Energy Environ. Sci.*, (2025), 18, pp. 8009
- [7] EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Center (JRC). Capturing the Potential of the Circular Economy Transition in the EU Steel Industry. (2025). ISBN 978-92-68-31754-9 doi:10.2760/3418709 KJ-01-25-477-EN-N
- [8] SIMONI, M.; REITER, W.; SUER, J.; DI SANTE, L.; CIRILLI, F.; PRAOLINI, F.; MOSCONI, M.; GUZZON, M.; MALFA, E.; ALGERMISSEN, D.. Towards the Circularity of the EU Steel Industry: Modern Technologies for the Recycling of the Dusts and Recovery of Resources. *Metals* (2024), 14, 233.
- [9] IRENA International Renewable Energy Agency. Towards a Circular Steel Industry. 2023. [Towards a circular steel industry](#)
- [10] PINTO, J.T.M. and DEAMER, A. Supply Chain Integration Strategies and Circularity in the European Steel Industry. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 153, (2020), pp 104517
- [11] HEDSTROM, P., LAMELAS CUBERO, V., SIDGURSSON, J., OSTERBER, V., KOLLI, S., ODQVIST, J., HOU, Z, and ARIGELA, V. G. Physics-Informed Machine Learning for Steel Development: A Computational Framework and CCT Diagram Modelling. Hedström et al. 2025 (preprint)
- [12] Sarfarazi, S.; Mascolo, I.; Modano, M.; Guarracino, F. Application of Artificial Intelligence to Support Design and Analysis of Steel. Structures. *Metals* (2025), 15, 408.
- [13] IEER. Water Requirements For Various Approaches To Hydrogen Production. [Water-requirements-for-hydrogen-production-january-2024.pdf](#)
- [14] LAMBOTTE, G. Carbon-free Iron for a Sustainable future | IEDO 2023 AMMTO & IEDO JOINT PEER REVIEW May 16th-18th,(2023) Washington, D.C.

Artificial Intelligence Tools in Industrial Control: Large Language Models, Agentic Systems and Their Current Deployment

Nástroje umělé inteligence v průmyslovém řízení: Velké jazykové modely, agentní systémy a jejich současné využití

Ing. Dagmar Špičková, Ph.D.¹; doc. Ing. Ivo Špička, Ph.D.²

¹ VŠB-TUO, FMT, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic, dagmar.spickova@vsb.cz

² BINTELL SOLUTIONS, Na Vyhlídce 465, 742 85 Vřesina, Czech Republic, ivo.spicka@gmail.com

Abstract

This paper follows on from last year's review of artificial intelligence tools in industrial control and updates it with key trends from 2025. A fundamental shift has occurred in the area of large language models (LLMs), which have become a standard part of the enterprise environment – notably models GPT-4o, Claude 3.7, Gemini 2.0 and DeepSeek R1. Concurrently, there has been a massive expansion of agentic AI systems, which – unlike conversational chatbots – autonomously plan, reason and execute multi-level workflows. The paper describes key differences between cloud-based and on-premise LLM deployment, approaches to building custom enterprise language systems (fine-tuning, RAG, private models), and methods for automated processing of corporate technical documentation. Specific industrial deployments at companies such as Siemens, ABB and SMS Group are discussed. The paper concludes with perspectives for heavy industry and steelmaking in the context of the EU AI Act regulatory framework.

Key words: large language models, agentic AI, RAG, on-premise LLM, technical documentation

Abstrakt

Tento článek navazuje na loňský přehled nástrojů umělé inteligence v průmyslovém řízení a aktualizuje jej o klíčové trendy roku 2025. Zásadní posun nastal v oblasti velkých jazykových modelů (LLM), které se staly standardní součástí podnikového prostředí. Mezi nejvýznamnější patří zejména modely GPT-4o, Claude 3.7, Gemini 2.0 a DeepSeek R1. Současně došlo k výraznému rozvoji agentních systémů umělé inteligence, které na rozdíl od konverzačních chatbotů dokážou autonomně plánovat, uvažovat a vykonávat víceúrovňové pracovní postupy. Článek popisuje hlavní rozdíly mezi nasazením LLM v cloudovém prostředí a v režimu on-premise, přístupy k budování podnikových jazykových systémů na míru (fine-tuning, RAG, privátní modely) a metody automatizovaného zpracování podnikové technické dokumentace. Dále jsou diskutovány konkrétní průmyslové implementace ve společnostech Siemens, ABB a SMS Group. V závěru jsou nastíněny perspektivy využití těchto technologií v těžkém průmyslu a hutnictví v kontextu regulačního rámce EU AI Act.

Klíčová slova: velké jazykové modely, agentní umělá inteligence, lokální LLM, technická dokumentace

1. Introduction

The previous paper [1] comprehensively mapped the main AI tools in industrial control – machine learning, computer vision, digital twins, expert systems and natural language processing (NLP) – and demonstrated their application potential in the automotive, process and energy industries. Since then, the technological landscape has changed fundamentally.

The global industrial AI market reached a value of USD 43.6 billion in 2024; analysts forecast annual growth of approximately 23% to USD 153.9 billion by 2030 [2]. A breakthrough has occurred in two areas in particular: (1) large language models (LLMs) have become an accessible tool for enterprises of all sizes; (2) agentic AI systems have moved from passively answering queries to actively and autonomously executing complex industrial tasks [3].

This paper aims to update the previous review with these new AI dimensions, with emphasis on three practical areas: the choice of deployment model (cloud vs. on-premise), the creation of custom enterprise LLM systems, and automated processing of technical documentation.

2. Large Language Models – State of the Art in 2025

2.1 Key models and their industrial relevance

A large language model (LLM) is a neural network based on the Transformer architecture, trained on billions of text tokens, capable of generating, translating, summarising and analysing natural language. The year 2025 brought several generational transitions [4]:

- **GPT-4o and the "o" model series (OpenAI):** Natively multimodal models processing text, images and audio. The "o" series introduced advanced chain-of-thought reasoning, suitable for complex technical tasks.
- **Claude 3.7 Sonnet (Anthropic):** A model excelling in complex reasoning and document analysis; preferred for industrial applications requiring high reliability.
- **Gemini 2.0 / 2.5 Pro (Google DeepMind):** Natively multimodal models with a context window of up to 1 million tokens, well suited for working with extensive technical documentation.
- **DeepSeek R1 (DeepSeek AI):** An efficient open-source model with an excellent performance-to-cost ratio, deployable on-premise without dependence on cloud providers.

A 2025 survey found that 35% of respondents from industrial enterprises had already actively deployed LLMs or AI agents in their operational environment [5].

3. Cloud vs. On-Premise LLM Deployment in Industry

3.1 Cloud deployment

Cloud-based LLM deployment (via API services such as OpenAI, Google Vertex AI or Azure OpenAI) currently represents the dominant model, accounting for approximately 65% of the enterprise LLM market [6]. The main advantages lie in immediate availability without hardware investment, automatic model updates, easy scalability and access to the most capable available models.

The critical disadvantage for industrial enterprises is the transfer of sensitive operational data (production parameters, recipes, metallurgical composition) outside the corporate network to a third-party provider. Further concerns include dependence on internet connectivity, latency unsuitable for time-critical tasks, and ongoing per-token costs that can be substantial under intensive industrial use [7].

3.2 On-premise deployment

On-premise (local) LLM deployment means running the model directly on the enterprise's own servers or on industrial edge hardware. The key enabler of this approach is the emergence of compact Small Language Models (SLMs) – Microsoft Phi-3, LLaMA 3, Mistral – with parameter counts in the range of a few billion, which achieve performance comparable to previous-generation large models and can be operated on industrial hardware without top-tier GPU accelerators [8].

Advantages of on-premise deployment:

- **Data protection:** Sensitive operational and business data never leaves the corporate network.
- **Low latency:** Response times in the millisecond range, suitable for real-time industrial control.
- **Regulatory compliance:** Fulfilment of data localisation requirements (GDPR, sector-specific regulations).
- **Predictable costs:** One-time hardware investment with no ongoing API usage fees.

Disadvantages include higher initial investment, the need for internal management, and generally lower performance compared to the latest cloud models [9].

3.3 Hybrid architecture as the industrial standard

The most prevalent approach in industry in 2025 has become a hybrid architecture in which cloud and on-premise deployments complement each other (**tab. 1**) [10]:

Tab. 1 Comparison of cloud, on-premise and hybrid LLM deployment in industry

Tab. 1 Srovnání nasazení velkých jazykových modelů (LLM) v cloudu, na místě a v hybridním režimu v průmyslu

<i>Parameter</i>	<i>Cloud LLM</i>	<i>On-Premise LLM</i>	<i>Hybrid</i>
Data security	<i>Lower (data off-site)</i>	<i>High</i>	<i>High (sensitive data local)</i>
Latency	<i>Higher (ms-s)</i>	<i>Low (< 10 ms)</i>	<i>Optimised</i>
Model performance	<i>Highest</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
Initial cost	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Medium</i>
Operational cost	<i>Ongoing (per token)</i>	<i>Low</i>	<i>Combined</i>
Scalability	<i>High</i>	<i>Limited</i>	<i>High</i>
Suitability for real-time	<i>Limited</i>	<i>High</i>	<i>High</i>

In a hybrid architecture, the local SLM handles latency-sensitive tasks (anomaly detection, real-time process control), while the cloud model performs computationally intensive analyses (model training, complex document analysis). Siemens has implemented this strategy in its Industrial Copilot platform, where edge models communicate with the Xcelerator cloud environment [11].

4. Building Custom Enterprise LLM Systems

4.1 The spectrum of approaches: from prompting to training a custom model

Enterprises have access to a full spectrum of approaches for building their own AI systems, differing in cost, complexity and degree of customisation [12]:

(1) Prompt engineering and in-context learning: The fastest and least expensive approach – an existing model is controlled through carefully designed instructions and examples in the prompt. Suitable for standardised, repetitive tasks such as report generation or incident classification.

(2) Retrieval-Augmented Generation (RAG): The model is connected to the enterprise data repository via a vector database. Each query is first used to retrieve relevant documents, which are then passed to the model as context. RAG significantly reduces hallucinations and enables the model to work with up-to-date enterprise data without retraining [13]. RAG is currently the most widely adopted approach for industrial applications.

(3) Fine-tuning: An existing pre-trained model is further trained on an enterprise dataset (technical standards, operational protocols, fault records, metallurgical databases). The result is a model specialised in the enterprise's domain with improved accuracy for domain-specific topics. The key technique is LoRA (Low-Rank Adaptation), which enables efficient fine-tuning even on relatively small datasets [14]. A 2025 analysis reports that 70–80% of enterprise LLM use cases are better served by fine-tuning existing models than by the costly process of training from scratch [15].

(4) Training a custom model from scratch: The costliest and technically demanding approach, reserved for enterprises with uniquely specific needs or exceptionally large proprietary datasets. Siemens is investing in this approach with its Industrial Foundation Model project – a domain-specific generative AI model trained on industrial data across its entire ecosystem [11].

4.2 Data preparation as a critical factor

The quality of the resulting enterprise LLM system is directly dependent on the quality of the input data. Industrial datasets are typically characterised by high heterogeneity: structured data from SCADA/MES systems, unstructured textual documentation, CAD drawings and audio records from maintenance inspections. Key data preparation steps include:

Cleaning and deduplication of historical documents (particularly in archives of older standards and drawings),

Annotation of enterprise terminology and creation of a domain vocabulary (ontology),

Versioning of documentation to ensure context currency,

Anonymisation of sensitive business information before use in cloud services.

5. Automated Processing of Enterprise Technical Documentation

5.1 Challenges of industrial documentation

Industrial enterprises, and steelworks in particular, manage an extensive ecosystem of technical documentation: operational procedures, standards (EN, ISO, ASTM), drawings, incident reports, heat records, material certificates, inspection reports, and maintenance logs.

This documentation is typically stored in fragmented systems, in various formats (PDF, Word, paper scans) and in multiple languages. Surveys indicate that industrial technicians spend an average of 20–30% of their working time searching for and verifying information in documentation [16].

5.2 RAG system architecture for technical documentation

The fundamental building block of a modern enterprise documentation system is the RAG architecture complemented by a vector database [13]. The process involves two parallel branches (**fig. 1**):

Document indexing encompasses the ingestion and OCR conversion of documents in various formats, splitting them into semantic blocks (chunking), vectorising the blocks using an embedding model, and storing the vectors in a specialised database (Chroma, Pinecone, Milvus).

Querying and answer generation works as follows: the technician's natural-language query is also vectorised, the system performs a semantic search for the most relevant blocks in the database, these blocks are passed to the LLM as context, and the model generates an answer with a reference to the specific source document and page number.

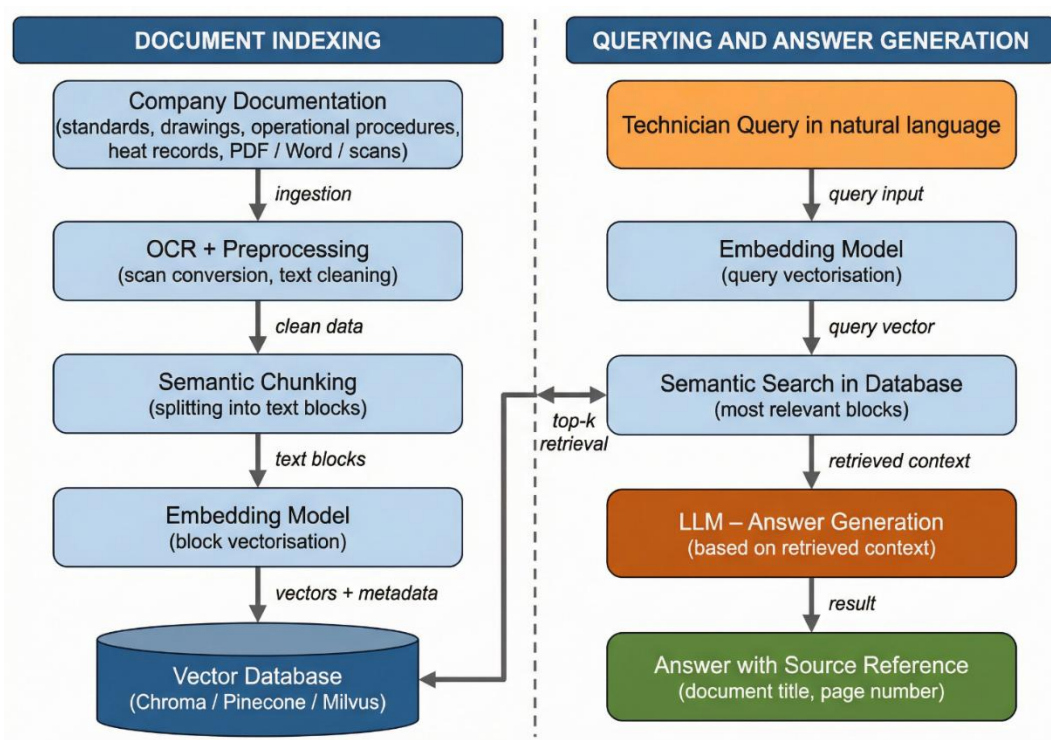


Fig. 1 RAG system architecture for processing industrial technical documentation
Obr. 1 Architektura systému RAG pro zpracování průmyslové technické dokumentace

Implementations of RAG have been shown to reduce the frequency of incorrect or incomplete answers by 40–50% compared with pure LLMs [13].

5.3 Specific applications in industrial practice

Intelligent search in standards and regulations: A technician submits a query in natural language and the system immediately returns a precise answer with a reference to the specific standard and page.

Historical fault analysis: The RAG system searches the fault protocol database and identifies whether a similar fault has previously occurred, what the root cause was and how it was resolved. Knowledge management systems built on operational logs have been shown to reduce the resolution time for recurring problems by 60–75% [17].

Operational documentation generation: Agentic systems automatically generate heat protocols, quality inspection reports or maintenance records based on structured data from SCADA/MES systems, significantly reducing the administrative burden on operators.

Multilingual documentation: For multinational steel groups, LLMs automate the translation of technical documentation while preserving domain-specific terminology – a task at which general-purpose translation tools fail.

Onboarding of new employees: The RAG system acts as an interactive guide for new workers, who can ask questions about technological procedures and safety regulations in natural language, without having to read hundreds of pages of documentation.

5.4 Case study: SMS Group

SMS Group has implemented an intelligent technical documentation management and process report automation system based on LLMs in its customer steelworks. The system encompasses autonomous recommendation of heat parameters, quality prediction and real-time operational documentation generation [18]. According to published results, the system has reduced the time needed to access relevant technical information by more than 60% and has decreased the number of errors caused by incorrect or outdated documentation.

6. Agentic AI Systems – A Breakthrough in Industrial Control

6.1 Principles of agentic AI

Agentic AI represents a qualitative leap beyond conversational LLMs. While a conventional chatbot responds to individual queries, an AI agent autonomously: (1) plans a sequence of steps to achieve a given goal; (2) decides which tools to use (databases, APIs, computational modules, sensor data); (3) executes actions in a real or simulated environment; (4) iterates based on feedback and new information [3].

The key concept is Multi-Agent Systems (MAS), in which multiple specialised agents collaborate: one monitors sensor data, another searches technical documentation, a third communicates with the ERP system, and a fourth drafts and dispatches work orders. The agentic AI market in manufacturing reached USD 5.5 billion in 2025, growing at approximately 25% per year [19].

6.2 Industrial deployments

Siemens presented its Industrial AI Agents platform at the Automate 2025 trade show, integrating agents into the SIMATIC and Xcelerator ecosystem. Agents autonomously diagnose production line faults, generate service orders and plan maintenance without direct operator intervention [11].

ABB, in partnership with Microsoft, launched the Genix Copilot application built on Azure OpenAI, combining LLMs with the ABB Ability™ data platform. The system analyses the performance of energy-intensive industrial equipment and recommends optimisation interventions [20].

SMS Group has deployed AI agents for automated process control in steelworks, encompassing autonomous heat parameter recommendation, quality prediction and real-time operational documentation generation [18].

6.3 Perspectives for agentic AI in steelmaking (tab. 2)

Tab. 2 Applications of agentic AI in the steelmaking industry

Tab. 2 Využití agentní umělé inteligence v ocelářském průmyslu

Area	Description of agentic solution	Expected benefit
EAF heat control	<i>Agent monitors spectrometric data, scrap history and energy tariff; recommends charge composition and process parameters in real time</i>	<i>Reduction of electricity consumption by 3–8%</i>
Predictive maintenance	<i>Multi-agent system collects vibration, temperature and fault history data; autonomously orders spare parts and schedules maintenance windows</i>	<i>Reduction of unplanned downtime by 20–35%</i>
Quality control	<i>Agent processes data from measuring lines and compares with EN and ASTM standards; initiates heat regrading or scrapping</i>	<i>Reduction of customer complaints</i>
Documentation management	<i>RAG agent answers technician queries from current drawings, standards and operational procedures</i>	<i>Reduction of information retrieval time by 60%</i>
Logistics optimisation	<i>Agent coordinates scrap orders, production planning and finished product deliveries</i>	<i>Inventory and transport optimisation</i>

7. Industry 5.0, EU AI Act and Future Perspectives

Agentic AI systems are the natural technological expression of the Industry 5.0 paradigm: agents take over routine cognitive tasks while the human expert focuses on creative decision-making and exception handling. In steelmaking, this means that an EAF operator becomes a "supervisor of AI agents" rather than a manual controller of process parameters. LLMs function best as an extension of human expertise, not as its replacement [21].

The entry into force of the EU AI Act (August 2025) has introduced new obligations for operators of AI systems in industry. Industrial AI systems affecting worker safety are classified as "high-risk" and are subject to requirements for transparency, auditability and human oversight. This strengthens the position of explainable AI (XAI) and hybrid approaches discussed in the previous paper [1].

8. Conclusion

This paper has updated the previous overview of AI tools in industrial control with three key dimensions of 2025. First, the choice between cloud and on-premise LLM deployment is not binary – the industrial standard has shifted towards hybrid architectures, where local models handle latency-sensitive tasks and data protection, while the cloud provides computational capacity for complex analyses. Second, building custom enterprise LLM systems is accessible even to medium-sized enterprises – the most effective path is a combination of RAG with fine-tuning of existing open-source models on enterprise metallurgical and operational datasets. Third, automated processing of technical documentation via RAG systems delivers demonstrable operational benefits: a 60–75% reduction in information retrieval time and a reduction in errors caused by outdated documentation.

For the steelmaking industry, these technologies – together with agentic AI systems – open new possibilities for heat optimisation, predictive maintenance and knowledge management. The key prerequisites for successful deployment remain a sound data infrastructure, compliance with the EU AI Act, and integration with human expertise in the spirit of Industry 5.0.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was produced within the research activities of VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Materials Science and Technology.

„Originál tohoto článku byl publikován ve sborníku konference Oceláři 2026 a je zde uveřejněn se souhlasem autora.“

LITERATURE

- [1] ŠPIČKOVÁ, Dagmar and Ivo ŠPIČKA. Artificial Intelligence Tools in Industrial Control. In: *Proceedings of the OCELÁŘI 2025 Conference*. Rožnov pod Radhoštěm: TANGER, 2025.
- [2] IOT ANALYTICS. *Industrial AI Market: 10 Insights on How AI is Transforming Manufacturing* [online]. 2024 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://iot-analytics.com/industrial-ai-market-insights>
- [3] SOLO.IO. *What is Agentic AI? Definition, Benefits & Use Cases* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.solo.io/topics/ai-infrastructure/what-is-agentic-ai>
- [4] RASCHKA, Sebastian. *The State Of LLMs 2025: Progress, Problems, and Predictions* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://magazine.sebastianraschka.com/p/state-of-llms-2025>
- [5] MIT SLOAN MANAGEMENT REVIEW; BOSTON CONSULTING GROUP. *Agentic AI, Explained* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/agentic-ai-explained>
- [6] STRAITS RESEARCH. *Enterprise LLM Market Size, Industry Trends, Share and Report* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://straitsresearch.com/report/enterprise-llm-market>
- [7] ALLGANIZE.AI. *Enterprise Guide: Choosing Between On-Premise and Cloud LLM and Agentic AI Deployment Models* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.allganize.ai/en/blog/enterprise-guide-choosing-between-on-premise-and-cloud-llm-and-agentic-ai-deployment-models>
- [8] S., Rosamma K. Small Language Models and Their Role in Hybrid AI Architectures for Big Data Analytics. In: *2024 International Conference on Sustainable Communication Networks and Application (ICSCNA)*. 2024. Available from: <https://doi.org/10.1109/icscna63714.2024.10863995>
- [9] UNIFIED AI HUB. *On-Prem LLMs vs Cloud APIs: When to Run Your AI Models On-Premise* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.unifiedaihub.com/blog/on-premise-llms-vs-cloud-apis-when-to-run-your-ai-models-on-premise>
- [10] F7I.AI. *LLM in Manufacturing: The 2025 Guide for Operations Leaders* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://f7i.ai/blog/the-ultimate-guide-to-llms-in-manufacturing-from-co-pilot-to-competitive-edge-in-2025>
- [11] ARC ADVISORY GROUP. *Siemens Introduces AI Agents for Industrial Automation* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.arcweb.com/blog/siemens-introduces-ai-agents-industrial-automation>
- [12] CIO.COM. *Developing an Approach for Industry LLMs* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.cio.com/article/4080214/developing-an-approach-for-industry-llms.html>
- [13] LEWIS, Patrick; PEREZ, Ethan; PIKTUS, Aleksandra et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. *Neural Information Processing Systems*. 2020.
- [14] SUPERANNOTATE. *Fine-Tuning Large Language Models (LLMs) in 2025* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.superannotate.com/blog/llm-fine-tuning>
- [15] AGILESOFTLABS. *Build or Buy for Enterprise LLMs and When Custom Training Truly Matters* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.agilesoftlabs.com/blog/2025/12/build-or-buy-for-enterprise-llms-and>
- [16] OXMAINT. *From Technician Notes to Institutional Knowledge: LLM-Driven Knowledge Capture* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.oxmaint.com/blog/post/knowledge-capture-automation-technician-notes-llm>
- [17] OXMAINT. *From Technician Notes to Institutional Knowledge: LLM-Driven Knowledge Capture* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.oxmaint.com/blog/post/knowledge-capture-automation-technician-notes-llm>
- [18] SMS GROUP. *How AI is Transforming the Metals Industry* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.sms-group.com/insights/all-insights/how-ai-is-transforming-the-metals-industry>
- [19] MORDOR INTELLIGENCE. *Agentic AI in Manufacturing and Industrial Automation Market* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/agentic-artificial-intelligence-in-manufacturing-and-industrial-automation-market>
- [20] ABB. *Genix Copilot: Industrial AI Assistant* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108471A6627>
- [21] NATURE / SCIENTIFIC REPORTS. *Industrial Applications of Large Language Models* [online]. 2025 [cit. 2026-02-20]. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-98483-1>

Rozhovor

Mezi matematikou a výrobou oceli: Rozhovor s RNDr. Jaroslavem Raabem u příležitosti jeho 85. narozenin o matematice, hutnictví, lidech a proměnách českého ocelářství



RNDr. Jaroslav Raab

RNDr. Jaroslav Raab patří k osobnostem, které významně přispěly k rozvoji aplikace matematických metod v českém hutnictví. Po absolvování studia matematiky a fyziky na Přírodovědecké fakultě v Brně působil nejprve v oblasti operačního výzkumu ve Vítkovických železárnách a strojírnách Klementa Gottwalda a následně dlouhodobě v Třineckých železárnách. Stál u vzniku odborné koordinační komise při Ministerstvu průmyslu a podílel se na organizaci řady konferencí s mezinárodní účastí. V průběhu transformace průmyslu zastával klíčové manažerské pozice – od předsedy rady pracovního kolektivu až po předsedu představenstva a výkonného ředitele společnosti Hutnictví železa, a.s. Byl dlouhodobým činovníkem a propagátorem České hutnické společnosti a působil jako prezidium dvaceti ročníků Hutnických pivních slavností.

Vážený pane doktore, dovoluji mi, abych Vám jménem celé redakce Hutnických listů poblahopřála k Vaším nedávným 85. narozeninám. Nelze si nevšimnout Vaší obdivuhodné životní energie a neutuchající aktivity. Mohl byste se s námi podělit o to, kde čerpáte svůj životní elán?

Myslím si, že velkou roli hraje celoživotní zvědavost. Vždy mě zajímali lidé, ale také nové myšlenky a souvislosti mezi různými obory. Hutnictví je v tomto směru mimořádně inspirativní prostředí, protože propojuje techniku, ekonomiku i lidské příběhy. Dodnes mě baví setkávat se s lidmi, diskutovat o odborných tématech, ale také o historii, kultuře nebo umění. Člověk by měl mít stále důvod se něco nového učit a o něco se zajímat.

Své dětství jste prožil na jižní Moravě ve Znojmě. Po studiu matematiky na Masarykově univerzitě v Brně jste v roce 1963 nastoupil do Vítkovických železáren, čímž se začal psát Váš celoživotní příběh spojený s ocelářstvím. Jak na tyto začátky vzpomínáte? Jaké pro Vás bylo opustit jihomoravské Znojmo a poznávat tehdy zcela odlišný svět průmyslové Moravy?

Moje cesta k hutnictví byla do značné míry dílem okolností dané doby. V době, kdy jsem studoval, probíhaly reformy ve školství a při rozhodování o vysoké škole hrála roli také tehdejší politická situace. Matematice jsem se začal věnovat již na střední škole, kde byl podle sovětského vzoru zřízen matematický kroužek a já byl vyslán na okresní kolo matematické olympiády, kde jsem uspěl. Kvůli okolnostem doby a také kvůli tzv. škraloupu mého tatínka bylo studium matematiky a fyziky nejdostupnější možností studia, a tak jsem nastoupil na pedagogický obor. Z Ministerstva školství přišlo tehdy nařízení, že je málo matematiků v průmyslu, a tak jsem vedle pedagogického směru začal ve třetím ročníku studovat také odbornou matematiku.

V posledním ročníku u státnic z odborné matematiky se začalo řešit umístěnkové řízení. Přál jsem si zůstat v Brně, ale nebylo mi to umožněno. Na výběr jsem měl mezi Vítkovickými železárnami a Košicemi, a tak jsem tedy nastoupil do Ostravy. Pro člověka z jižní Moravy to byl úplně jiný svět.

Vaše profesní začátky byly spojeny se zaváděním matematických metod do hutnické praxe. Přiblížil byste nám toto období?

Měl jsem velké štěstí, že jsem se dostal do nově vznikající skupiny zabývající se operačním výzkumem. Tehdy se československé hutnictví inspirovalo britskými zkušenostmi a začaly se hledat možnosti, jak využívat matematické metody při řízení výroby. Ve Vítkovicích byl založen tzv. „Q odbor“, který tvořili oboroví inženýři ze všech technologických částí železáren. Na pravidelných týdenních poradách byla projednávána situace v jednotlivých technologických uzlech hutě, od koksovny až po finální válcovnu. Odbor totiž zpracovával informace pro celý obor hutnictví. Ale matematické metody byly cosi nového, a tak jsem dostal za úkol na příští poradě nějakou představit. Našel jsem si k tomuto účelu v časopise Vesmír článek o aplikaci síťové analýzy v průmyslu. Na základě této prezentace jsem byl vyslán zhotovit síťový model výstavby zakladačů pro hnědouhelný průmysl, který Vítkovice dělaly ve svém závodě v Bílině.

Později jsem se více zaměřil i na možnosti matematické statistiky. Cílem bylo najít vztah mezi údaji týkajícími se výroby, včetně chemického složení a výsledných užitných vlastností konečných výrobků. V této souvislosti se zahájila spolupráce s Vítkovickým výzkumným ústavem, konkrétně s profesorem Žídkem. Řešili jsme například problematiku tlustých plechů, kde se mi podařilo aplikovat i teoretickou matematiku. Díky diskusi a řešení konkrétních úkolů jsem prostřednictvím čísel a dat postupně poznával krásy technologie výroby oceli.

Matematika sice není v hutnictví na první pohled viditelná, ale ve skutečnosti je nedílnou součástí mnoha procesů a rozhodnutí. Přistihnete se někdy, že matematicky uvažujete i v běžném životě a že nahlížíte na svět optikou pravděpodobnosti a dalších matematických zákonitostí?

Ano, a občas mi to doma bývá vytýkáno. Mám tendenci řešit problémy moc ze široka, hledat souvislosti, sbírat podklady a zvažovat důsledky. V matematice musí každé řešení splňovat určité podmínky. V běžném životě samozřejmě není možné vše spočítat, protože do hry vstupuje nejistota a pravděpodobnost. Přesto mi analytický přístup pomáhal při diskusi a spolupráci s odborníky z různých oblastí. Naučil jsem se respektovat jejich pohled na problém a hledat společnou řeč mezi matematikou a technologickou praxí.

Na vysoké škole v Brně jsme měli jako „povinnou četbu“ dílo anglického matematika a logika Charlesa Ludwidge Dodgsona, který se prezentoval pod pseudonymem Lewis Carroll. Velmi se mi líbily jeho pohádky s matematickým myšlením, které později vyšly pod názvem *Alenka v říši divů*. Jsou zde různé příběhy symetrie, například když jde Alenka na kopec, ale současně se mu vzdaluje a pak se otočí a najednou je na vrcholu kopce. Nebo vidíte na stromě kočku, která se na vás směje a než k ní dojdete, kočka mezitím zmizí a na stromě zůstane pouze její škleb. Je to stejné jako v životě, když řešíte nějaký problém a myslíte si, že jste v cíli jeho řešení, ale na konci zjistíte, že jste pouze v jeho určitém stádiu. Jsou to kroky, které je nutné absolvovat, aby se člověk dostal k určitému závěru, který ale nikdy není stoprocentní.

Od roku 1970 jste působil v Třineckých železárnách, kde jste později zastával i funkci předsedy představenstva. Jaké byly okolnosti Vašeho příchodu do Třince a čemu jste se zde v prvních letech věnoval?

Do Třince jsem se přestěhoval za svou budoucí manželkou, kterou jsem poznal na Pedagogické fakultě v Ostravě. Tehdy v Třinci dělal vedoucího obdobného odboru jako ve Vítkovicích pan František Zámečník, který také chtěl po vzoru Velké Británie zavádět operační výzkum, a proto mi nabídl možnost spolupráce. Přes určité komplikace jsem 1. dubna 1970 nastoupil do Třineckých železáren. Během tohoto působení jsem získal mnoho kontaktů také díky spolupráci s VÚHŽ v Praze. Lidé se hodně scházeli a diskutovali. Navázali jsme také spolupráci s Vysokou školou ekonomickou v Praze a Vysokou školou ekonomickou v Bratislavě.

Pod hlavičkou ministerstva jsme vytvořili tzv. „*Koordinační komisi pro aplikaci matematických metod v hutnictví*“. Jejími členy se stali zástupci téměř všech hutních podniků v naší republice, kteří se zabývali danou problematikou ve svých podnicích. Vznikla tak úžasná platforma pro vzájemnou výměnu názorů a řešení problematiky napříč celým resortem.

Jako vědeckotechnická společnost, ve které byli zástupci vysokých škol a dalších výzkumných ústavů, jsme dvakrát ročně pořádali konference ve Starém Smokovci, kde byla vlastně naše „domovská adresa“. Konferencí se zúčastňovali i zahraniční účastníci, nejvíce z Polska, a tak jsme recipročně zase jezdili například také do Katowic nebo Krakova.

Při výstavbě konvertorové ocelárny v Třineckých železárnách vznikl velký prostor pro počítačové simulování nové situace ve výrobě. Řešil se jak problém umístění konvertorů, tak například i počtu pojízdných mísičů. Konzultace probíhaly jak v „C odboru“ Třineckých železáren, tak i ve spolupráci s odborníky z Výzkumného ústavu Inorga respektive Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Bylo to mnoho let práce. Výsledky byly publikovány nejen na konferencích, ale i v odborných časopisech. Proto bylo pro mě na místě obhajovat aplikaci uvedených metod také při teoretickém studiu a obhajobě doktorátu v Bratislavě.

Po roce 1989 prošly Třinecké železářny i celé české hutnictví zásadní transformací. Vy jste byl přímo u těchto změn a zastával jste řadu významných funkcí. Jak Vás toto období profesně ovlivnilo?

Po roce 1989 došlo k výrazným změnám ve způsobu řízení podniků i celého odvětví. Následovala privatizace a později přípravy na vstup České republiky do Evropské unie, které byly spojeny s rozsáhlou restrukturalizací hutního průmyslu.

Vývoj v Třineckých železárnách probíhal v souladu se situací v republice a již počátkem roku 1989 nastaly úvahy o změnách řízení národních podniků. Třinecké železářny se z národního podniku transformovaly na státní podnik, což vyžadovalo volbu zástupců do „*Shromáždění delegátů pracovního kolektivu*“ a vytvoření „*Rady pracovního kolektivu*“. Toto shromáždění mělo v souladu se zákonem za úkol volit podnikového ředitele.

Já osobně jsem byl zvolen členem shromáždění – můžeme říct podnikového parlamentu – a po listopadu 1989 pak předsedou zmíněné rady. V roce 1991 se Třinecké železářny staly akciovou společností, kde byl jediným akcionářem stát. Byl jsem zvolen předsedou představenstva této společnosti. V rámci kupónové privatizace se podíl státu snižoval a byl předmětem privatizace v roce 1996, kdy se majoritním akcionářem stala Moravia Steel, a.s. Mým úkolem bylo začlenit Třinecké železářny do mezinárodních hutnických organizací.

O rok později, v březnu 1998, jsem nastoupil do Hutnictví železa v Praze, kde jsem byl 19 let, tedy do doby, kdy transformace vyústila v Ocelářskou unii. V době mého působení ve svazu Hutnictví železa jsme koordinovali řadu restrukturalizačních kroků, které měly zajistit konkurenceschopnost českých hutí v nových ekonomických podmínkách. Bylo to období náročných rozhodnutí a byli jsme doslova zavaleni papíry.

Co se Vám vybaví, když se řeknou Třinecké železářny? Utkvěl Vám v paměti nějaký konkrétní zážitek z provozu nebo z kontaktu s lidmi, kteří na něm pracovali, který podle Vás nejlépe vystihuje atmosféru ocelářského života?

Především lidé. Dodnes si vzpomínám na svůj nástup do Třince. Druhý den po příchodu mě pozval ředitel Boublík na rozhovor do své kanceláře a nabídl mi pivo a hned se mě ptal „Co tady budeš dělat?“ Překvapila mě otevřenost, lidskost a kolegiálnost, která zde panovala. Byla to úplně jiná atmosféra, než jakou jsem znal odjinud. Když se něco nepovedlo, tak to vyvolalo spíše úsměv než naštvání.

Velmi rád vzpomínám také na kurzy mistrů, kde jsem docházel jako školitel. Tehdy bylo v Třinci téměř 900 mistrů a třídy byly namíchaný po 30 mistrech z různých provozů. Diskuse byly otevřené a člověk díky nim získal jedinečný přehled o tom, s jakými problémy se lidé ve výrobě setkávají. Právě díky těmto kurzům a restrukturalizaci jsem poznal mnoho zajímavých osobností a na základě těchto setkání se pak snadno rodí myšlenky, kam by se hutnictví mělo ubírat.

Současný hutní průmysl čelí značným tlakům, ať už jde o systém emisních povolenek, požadavky na oduhličením nebo energetickou náročnost výroby. Jak tuto situaci vnímáte?

Já jsem toho názoru, že ocel nemá konkurenta, je to fantastický materiál. Jsem přesvědčen, že ocel zůstane i v budoucnu strategickým materiálem.

Současně však musí existovat podmínky, které umožní výrobu oceli v Evropě udržet. Pokud nastavíme pravidla tak, že výroba nebude ekonomicky možná, problém pouze přesuneme jinam. Ocel se bude vyrábět jinde a k nám se bude dovážet. Proto je důležité hledat rozumnou rovnováhu mezi ekologickými cíli a zachováním průmyslové výroby. Je třeba, aby aspoň část výroby byla v České republice zachována. Věřím, že v Třinci jsou stále lidé, kterým osud železáren není lhostejný.

Když se ohlédnete za svými 85 lety a celoživotní prací v hutnictví, co byste doporučil mladým lidem, kteří do oboru teprve vstupují?

Pro mě jako člověka z jižní Moravy bylo hutnictví pole neorané. Pak jsem zjistil, že je to mozaika velkého množství oborů. Je to dáno i náročností a řízením ocelářské výroby. Za vším ale stojí lidé a diskuse s nimi jsou mimořádně inspirativní, a protože má ocel široké možnosti uplatnění, formuje tak i určitým způsobem myšlení. Hutnictví není jen o výrobě železa a oceli. Je to obrovská mozaika technických, ekonomických i lidských činností.

Právě setkávání s inspirativními osobnostmi pro mě bylo jednou z největších hodnot, které mi profesní život přinesl. Ocel tady byla, je a jsem přesvědčen, že zde bude i nadále. Není doba železná, ale již téměř 200 let doba ocelová a stále se nacházejí nové možnosti jejího uplatnění. A stejně tak bude i potřeba lidí, kteří budou mít chuť ji vyrábět a posouvat celý obor dál.

Zajímáte se o hutnictví i nadále? Chtěl byste na závěr ještě něco dodat nebo vzkázat čtenářům Hutnických listů?

Zajímám se o náš obor stále. Pravidelně dostávám měsíčník Ocelářské unie Ocelocel, ve kterém v letošním roce prezentuji i historický pohled na hutnictví pod názvem „Královna ocel“. Podle svých možností jsem rovněž aktivní v České hutnické společnosti, které patří můj dík za pokračování v tradici vydávání Hutnických listů.

Na závěr bych rád ještě připomenul, že jsem si velmi vážil úzké a dobré spolupráce s akademickou sférou. Na Vysoké škole báňské jsem získal spoustu přátel a v současnosti se rád s některými stále stýkám, jmenovitě s Karlem Michalkem a Jirkou Kliberem. Velice mě zasáhlo úmrtí Tomáše Čermáka.

Pane doktore, děkuji Vám za rozhovor a přeji Vám jménem celé redakce do dalších let mnoho zdraví a inspirativních setkání.

Rozhovor vedla: PhDr. Jana Kocurová

INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

Technologie ENERGIRON potvrzuje rostoucí význam přímé redukce železa s využitím vodíku

16. dubna 2026

Technologie ENERGIRON Zero Reformer, vyvinutá ve spolupráci společností Tenova a Danieli, se v posledních letech stává jedním z klíčových řešení v oblasti nízkoemisní výroby železa. Aktuální provozní výsledky z průmyslových zařízení potvrzují její vysokou energetickou účinnost a schopnost využívat vysoký podíl vodíku jako redukčního média.

Technologie je založena na procesu přímé redukce železných pelet v šachtové peci, kde je redukční plyn tvořen směsí vodíku a oxidu uhelnatého. Varianta Zero Reformer umožňuje výrobu redukčního plynu bez nutnosti klasického reformeru, což přináší snížení investičních nákladů a zjednodušení technologického schématu. Významným prvkem je také možnost postupného navyšování podílu vodíku až na plně vodíkový provoz.

V posledních letech byla technologie ENERGIRON implementována v řadě průmyslových projektů po celém světě, zejména v regionech, které se zaměřují na dekarbonizaci hutnictví a snižování emisí CO₂. Provozní data z existujících zařízení ukazují stabilní dosažení velmi nízké spotřeby energie na tunu vyrobeného železa a zároveň vysokou kvalitu produktu vhodného pro navazující výrobu oceli v elektrických obloukových pecích.

Významným trendem je také integrace technologie do hybridních hutních komplexů, kde přímá redukce železa nahrazuje část produkce vysokých pecí. Tím dochází k výraznému snížení emisní stopy celého hutního řetězce. ENERGIRON je tak v současnosti jedním z hlavních průmyslově ověřených řešení pro přechod k nízkoemisní výrobě oceli.

Originál článku naleznete zde: [AIST](#)

Z činnosti České hutnické společnosti, z.s.

Česká hutnická společnost hodnotila a oceňovala

Česká hutnická společnost (ČHS) hodnotila ve čtvrtek 19. března 2026 uplynulý rok. Zároveň představila plány do budoucna a ocenila nejaktivnější členy své organizace. Za vedení Třineckých železáren se zúčastnil technický ředitel Pavel Machovčák. Mezi hosty se zařadil i ředitel Energetiky Třinec Petr Matuszek.



Úvodní slovo předsedy ČHS Jiřího Cupka

Předseda ČHS Jiří Cupek vyzdvihl dohodu o spolupráci mezi partnery nejen v České republice, ale i v zahraničí. „Dohoda není pouze formálním dokumentem. Je to nástroj, který určuje konkrétní směr činnosti odborných skupin a propojuje naši činnost s reálnými potřebami průmyslu,“ řekl Jiří Cupek.

Dle jeho slov je nejdůležitější vědecko-technická výchova a propagace nových technických směrů, vzdělávání na všech úrovních technických profesí či v hutních oborech. Důležitou součástí této činnosti jsou odborné semináře, workshopy a vzdělávací akce, které umožňují pracovníkům nejen sledovat nové trendy, ale také vzájemně sdílet zkušenosti napříč provozy a firmami.

„Velmi cennou roli hrají také tematické cesty, díky nimž mají naši členové možnost poznávat výrobní provozy přímo v praxi a přenášet získané poznatky do svého pracovního prostředí,“ dodal Cupek.

„Hutnictví prochází v posledních letech složitým obdobím. Právě proto je klíčové být aktivní a připravený na aktuální výzvy reagovat. Vedení Třineckých železáren si velmi váží činnosti Českého hutnického svazu, který sdružuje více než tisíc lidí ochotných věnovat svůj volný čas a aktivně se podílet na zlepšování situace v oboru,“ uvedl na výroční schůzi Pavel Machovčák.

„Pozitivní je také skutečnost, že se zde setkávají zástupci všech generací i provozů – od juniorů po seniory, od koksovny až po tažírnu oceli. Zůstaňte i nadále aktivní. Právě tímto přístupem můžeme přispět ke zlepšení současné situace,“ doplnil technický ředitel.



Členové ČHS na výroční konferenci spolku

Propagace a prezentace

Podle Jiřího Cupka je neméně důležitá i publikační a prezentační aktivita. Tedy šíření dosažených výsledků prostřednictvím odborných časopisů, konferencí a seminářů. „Proto nový web ČHS vnímám jako důležitý krok ke zkvalitnění komunikace uvnitř společnosti, ale také směrem k odborné i širší veřejnosti. Věříme, že se stane moderním a živým prostorem pro sdílení informací o naší činnosti, odborných akcích a připravovaných projektech,“ přeje si Cupek, podle něhož zůstávají odborné skupiny základním pilířem ČHS. V uplynulém roce se jejich členové podíleli na řešení řady odborných úkolů souvisejících s výrobou, technologiemi i kvalitou v průmyslu.

Výsledky jednotlivých skupin jsou ohodnoceny i finančně, což skupině pomáhá v další činnosti. V loňském roce vyhrála odborná skupina slévárenství. „Za každým výsledkem stojí konkrétní lidé. Proto byli i za loňský rok oceněni nejlepší členové ČHS. Bylo jich 34. Významně přispívají nejen k rozvoji ČHS, ale i celého oboru,“ vypočetl Cupek.

Navíc byla ředitelka SPŠ TŽ Markéta Tkadlečková honorována oceněním ZSVTS za podporu mezinárodní spolupráce členů ČSVTS a ZSVTS. Ocenění předal místopředseda ZSVTS Pavol Radič. V uplynulém období ČHS převzala i odborný časopis Hutnické listy, který má více než 80letou tradici.



Součástí konference bylo i oceňování a posílení spolupráce partnerských spolků

Ohlédnutí a plány

Členská základna ČHS čítá kolem 1 000 členů a dlouhodobě patří k největším odborným společnostem Českého svazu vědeckotechnických společností. Vedení ČHS těší i aktivní zapojování mladších kolegů a studentů.

Rok 2025 byl pro ČHS důležitý z pohledu organizace významných akcí. Ve dnech 2. až 4. září hostil Třinec již 11. ročník Mezinárodní konference modelování a simulace metalurgických procesů při výrobě oceli nazvané STEELSIM. Do Třince tehdy přijeli odborníci z celého světa.

Ohledně společenských setkání byl největší loňskou akcí 25. ročník Hutnických pivních slavností, k čemuž byla vydána i publikace. Letošní ročník se konal 22. května.

U ČHS nastala výrazná změna v oblasti hospodaření. ČHS přešla na vedení podvojného účetnictví a zároveň se stala plátcem DPH. Tento krok byl vyvolán zejména rozšiřující se činností společnosti a organizací větších odborných mezinárodních akcí.

V letošním roce je největší akcí ČHS 4. ročník mezinárodní výstavy INVENT ARENA, která se uskuteční 17. a 18. června ve Werk Areně. Příští rok si společnost připomene 80 let od svého založení.

„ČHS stojí na tradici, odbornosti a práci lidí, kteří jsou ochotni věnovat svůj čas společné věci. Děkuji všem aktivním členům, vedení TŽ a dalším, kteří podporují činnost ČHS,“ uzavřel Jiří Cupek.

Ing. Jiří Cupek, Ph.D.

Foto: Tomáš Machálek

Zlatavý mok a skvělá nálada: Ohlédnutí za Hutnickými pivními slavnostmi

Třinecká WERK ARENA patřila v pátek 22. 5. 2026 již 26. ročníku tradičních Hutnických pivních slavností, pořádaných Českou hutnickou společností (ČHS). Na slavnostech se sešlo na pět stovek zástupců hutního průmyslu, příznivců dobré zábavy a piva a samozřejmě firem, které se rozhodly Hutnické pivní slavnosti podpořit.

Stejně jako předchozí ročníky i tento patřil k vydařeným, jak se můžete sami na přiložených fotografiích přesvědčit.



*Na zdárný průběh slavností podle jasně daných pravidel dohlíželo
Velké a neomylné pivní prezidium*



Prohřešky proti pravidlům byly ihned trestány Pivní policií



Pasování hutníků do cechu hutnického se ujal technický ředitel TŽ Pavel Machovčák



Nechyběl ani prof. Klíber s odbornou přednáškou na téma Járy Cimrmana



Zpestření programu obstaralo taneční vystoupení



Sborový zpěv účastníků HPS 2026



Stejně jako scény Hutnického pivního naivního divadla



O hudební doprovod se postaralo sdružení Radost

Česká hutnická společnost, z.s.
Foto: Martin Ševčík

Pivní slavnosti a odborné přednášky na téma Járy Cimrmana

K Pivním slavnostem, pořádaným Českou hutnickou společností již více než 20 let neodmyslitelně patří přednášky na téma Járy Cimrmana v podání prof. Ing. Jiřího Klibra, CSc. a Ing. Jaroslava Pindora, Ph.D. Tito pánové se s úctou a vřelým poděkováním k autorům Járy Cimrmana Jiřímu Šebánkovi, Zdeňku Svěrákovi a Ladislavu Smoljakovi a dalším cimrmanologům nechali inspirovat postavou tohoto českého génia a dále po svém a pro pobavení účastníků Pivních slavností rozvíjejí jeho odkaz.

Proto se s potěšením i s vámi, čtenáři Hutnických listů, rádi postupně podělíme o některé z přednášek, které v minulých letech zazněly v rámci tradičních Pivních slavností. Věříme totiž, že i na stránky odborného časopisu může patřit trocha inteligentního humoru, který dokáže osvěžit mysl a podpořit dobrou náladu.

Cimrmanovo setkání s Einsteinem

Prof. Ing. Jiří Kliber, CSc.

Během slavných hutnických Pivních slavností, každoročně, s výjimkou dvou kovidových let, si zde připomínáme nezvykle výjimečný život Járy Cimrmana. Bylo by nošením dříví do lesa, kdybych zde připomínal všechny zásluhy českého velikána. Jen namátkou – byl znám jako autor mnoha libret k operám, většinou k vlastním (které se ovšem nikdy nehrály), byl sportovcem; Jednou, při přespolním závodě v běhu na jednu míli, když byl jasně těsně před cílem první, tak se zastavil, nechal proběhnout druhého a pronesl památnou větu: „Není důležité zvítězit, ale zúčastnit se.“ Spolupracoval s mnoha vědci – Eiffelovi v Paříži pomohl s pronájemem bytu, a to, že Graham Bell měl při vynalezení telefonu už tři SMS od Cimrmana je taktéž známo.



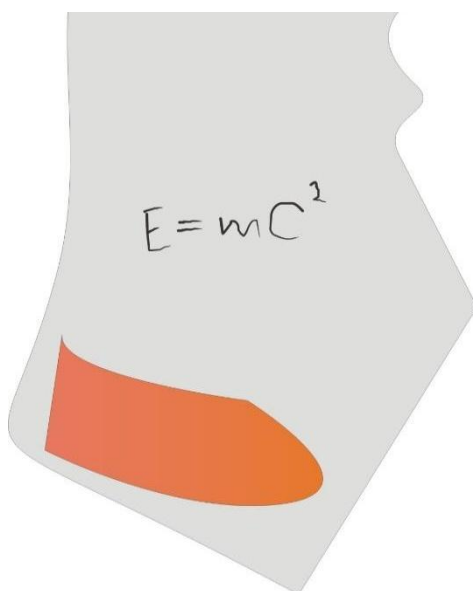
Historicky první telefon z roku 1876 (Zdroj: <https://ouriowaheritage.com/>)

Nanosil Marii Curie-Sklodovské do sklepa na vlastních zádech 22 puten smolince. Sbíral lidové písničky v Podještědí a pod názvem Moje písňe je vydával – ve Vídni je ale pro velký rozsah odmítli vydat, takže je zkomprimoval do verze Moje Písňe 3, tedy MP3. O tom, že stál na počátku počítačové revoluce nikdo nepochybuje, vždyť CD je Cimrmanův Disk, a to už ani nehovořím o tom, jak mu Bill Gates ukradl název Microsoft.



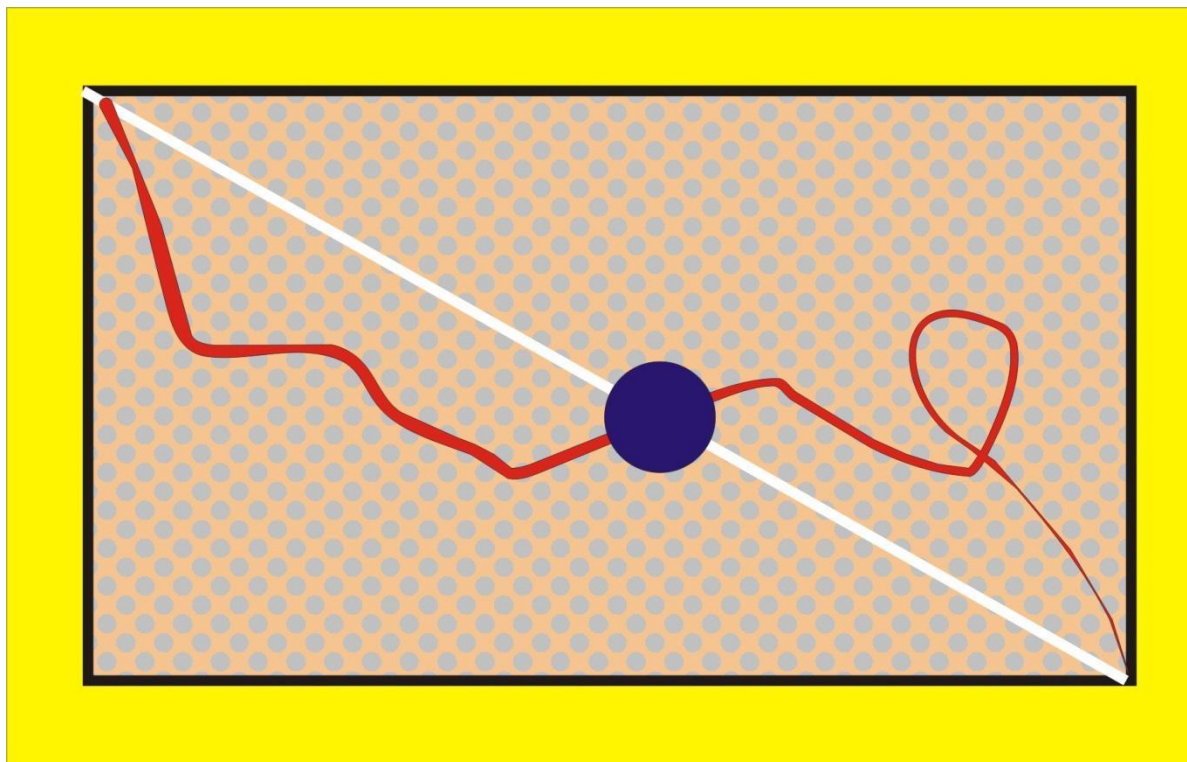
CD – Cimetrmanův Disk (Zdroj: <https://www.shutterstock.com/>)

V dnešní přednášce si připomeneme Cimetrmanovo setkání s Einsteinem, které před mnoha lety zpracoval pan Martin Reis, jemuž tímto děkuji za inspiraci. Když spolu chodili do hospody U Fleků v Praze, začal jednou Cimetrman na pivní táce pomocí kružítko, malého trojúhelníku a ostře zastrouhané tužky (kteréžto pomůcky vždy nosil) rýsovat řadu soustředných kružnic s vycházející přímkou, Albert se naklonil, pronesl něco o tom, že by to mohl být náznak tzv. zhroucení vesmíru do singularity, ale nervózně tácek rukou odsunul na okraj stolu. Tento pohyb nešel bedlivému zraku číšníka, který se domníval, že oba vědci chtějí další piva a bohatě je jimi na jejich stůl zásobil. Když chtěl Cimetrman platit, řekl číšníkovi: „Einstein měl 4 piva a já Cimetrman 2“. Dostal neobvyklou účtenku v podobě matematického zápisu: velké E rovná se m krát C na druhou, kde konstanta úměrnosti malé m se rovnala jedné, protože pili stejná piva. Tato účtenka Einsteina zaujala a bezmyšlenkovitě si ji strčil do kapsy svého saka.



Útržek účtenky z hospody U Fleků (Zdroj: autor)

Když vyšli z hospody, pronesl Albert, že se mu zdá časoprostor nějaký zakřivený, přesto ho Jára vyzval, aby přešel rovně na druhou stranu ulice. Po několika váhavých krocích to učinil a Cimetrman za ním kusem cihly vyrýval na dlažbě jeho stopu.



Cimrmanův náčrt trajektorie chůze Alberta Einsteina po návštěvě hospody U Fleků (Zdroj: autor)

Když se pak druhého dne k Flekům vrátili, s údivem zjistili, že trajektorie chůze Alberta není přímková, ale naopak, byla velmi klikatá, a dokonce se v jednom místě vracela ve smyčce zpátky, což opět Einstein využil k poznámce, že se může jednat o jakýsi návrat v čase.

Největší překvapení je ovšem čekalo uprostřed ulice, kde čára cihlou zmizela, aby se pak zase za chvíli objevila, Einstein totiž prošel přes kanál, z něhož přes noc zmizel poklop. "Musím vyslovit domněnku," krabatil čelo Einstein, "že výskyt singularit v časoprostoru je principiálně možný." Cimrman si poklekl, aby mohl vzniklý otvor lépe ohledat: "Zcela s vámi souhlasím, Alberte, a vzhledem k temnému charakteru singularity navrhuji jméno černá díra, která ten poklop jistě pohltila." Dohodnuto. Ujednáno. Oba vědci si plácli a s pocitem dobře vykonané práce se odebrali opět k Flekům a pokračovali v pití piva.

Cimrman si vzpomněl na včerejší účtenku, po chvíli neochoty ji Einstein v kapse našel a spolu šli za majitelem restaurace s tím, že tento způsob zaznamenávání útraty je moderní, i majitel souhlasil, že je jistější než do té doby děláni pouhých čárek a Cimrman na počest vzácného hosta navrhl nazvat tuto metodu jako Einsteinova evidence tržeb, tedy EET.

Cimrman se pak na dlouho z Prahy ztratil, aby po několik let vykonával náročnou práci porodního dědka v Alpách, takže veškerá sláva s teoriemi relativity zůstala na Einsteinovi.

Děkujeme tvůrcům Divadla Jára Cimrmana a ostatním cimrmanologům za inspiraci k volnému navázání na jejich dílo.

Tube and Wire 2026 (Düsseldorf)

V dubnu letošního roku (13. 4. - 17. 4. 2026) se v Düsseldorfu konal prestižní veletrh Tube and Wire, kterého se zúčastnili i zástupci společnosti VÚHŽ.



Veletrh Wire 2026 s celkovým počtem téměř 1500 vystavovatelů potvrdil dramatický posun trhu směrem k Východu. Zatímco Čína (356 firem) a Turecko (129 firem) masivně posilují a kvalitativně dohánějí západní lídry, společnosti jako VÚHŽ sází na specializaci a unikátní portfolio.

Pro Válcovnu VÚHŽ je veletrh Wire klíčovou událostí, přestože firma dráty přímo nevyrábí. Její speciální válcované profily totiž logicky doplňují trh válcovaných profilů z drátů o větší průřezy. Díky souběžnému veletrhu Tube mohla VÚHŽ navíc prezentovat i výrobky své Slévárny odstředivého lití.

Obchodníci VÚHŽ na místě potvrdili rostoucí tlak na cenu a stabilitu dodávek. Turečtí a asijské výrobce, kteří před 10 lety nabízeli pouze komodity, dnes vystavují technologicky srovnatelné produkty i celé linky. Dřívější výhoda evropských firem – vysoká spolehlivost dodávek – se v posledních letech vlivem posílení konkurence vytrácí.

Technický úsek VÚHŽ navštívil řadu různých vystavovatelů, kteří se zabývají zařízeními pro zpracování trubek, tyčí a profilů, jako jsou válečkové rovnačky, válečkové dopravníky a naváděcí komponenty, in-line měření přímosti nebo bezkontaktní měření tvaru tyčí a další technické prvky.

Veletrh potvrdil, že svět se již nedělí na „kvalitní Západ“ a „levný Východ“. Pro VÚHŽ a další evropské výrobce je proto klíčová orientace na automatizaci, udržitelnost a dodávky speciálních profilů formou ultra-specializace, které vyplňují technologické mezery na trhu.

*Ing. Michal Sikora
Předseda odborné skupiny VÚHŽ
Foto: účastníci*

Technologická konference AISTech 2026 v Pittsburghu

Společnost VÚHŽ se počátkem května aktivně zúčastnila konference AISTech 2026, jedné z předních světových událostí v oblasti technologií ocelářského průmyslu.

Letošní ročník se konal 4. 5. - 6. 5. 2026 v Pittsburghu ve státě Pensylvánie v USA. Obecně široký záběr této výstavy a konference byl zaměřen na dva hlavní aspekty. Japonská společnost Nippon Steel převzala tradičního amerického výrobce oceli US Steel, což byla nadmíru medializovaná transakce. Japonská společnost se zavázala proinvestovat nemalé prostředky okamžitě po převzetí, čímž spustila řadu modernizačních projektů. Jedním z nich je modernizace prvního bramového kontinuit v závodě Gary Works, na kterém se podílí i společnost VÚHŽ dodávkou nových hladinoměřů. Nippon Steel nasadila do každého amerického závodu řadu výzkumných pracovníků z Japonska, čímž chce podpořit orientaci na kvalitu a zvýšit tak přidanou hodnotu svým produktům.

Dalším velkým tématem byla ochrana amerického trhu před dovozem ze zahraničí. Loni uvalené tarify značně prodražily dovozy do USA, čímž umožnily zvýšit domácí tržní ceny. Tato politika spolu s levnými energiemi zapříčinila, že trh tarify v podstatě akceptuje. Všeobecně se mezi zákazníky projevovala dobrá nálada a tlak na maximalizaci výroby.

Na této akci VÚHŽ sdílela společný výstavní stánek se svým partnerským podnikem Amepa America. Prezentovala nejnovější inovace a pokroky v systémech měření na zařízeních pro plynulé odlévání bram a bloků. VÚHŽ se během veletrhu podařilo zapsat na 2 projekty s potenciálem dalších dvou. Dále byl se zákazníkem projednán start aktuálně největšího projektu VÚHŽ, Nucor West Virginia, který je naplánován na podzim letošního roku.



*Ing. Michał Sikora
Předseda odborné skupiny VÚHŽ
Foto: účastníci*

Tematická cesta ČHS VÚHŽ do společnosti Řetězárna a.s.

V rámci plánu své činnosti se odborná skupina VÚHŽ dne 20. 5. 2026 zúčastnila exkurze do sesterské společnosti Řetězárna a.s.

Pracovníci společnosti VÚHŽ, jako minoritního dodavatele vstupního válcovaného materiálu pro speciální výrobky Řetězárny projevili zájem seznámit se s výrobním procesem svařovaných článkových řetězů.



Po úvodním představení společnosti, jejíž historie sahá do roku 1894, kterého se ujal výrobní ředitel Ing. Vratislav Bártek, Ph.D., byla realizována technická prohlídka výrobních prostorů. Zástupce výzkumu Dominik Jaroň představil proces výroby od vstupu, kde byly uskladněny svazky z KDT TŽ a tyče ve svazcích z KJT TŽ, přes přípravu svitků na mořárně a v žíhacích pecích, následné řezání tyčí, jejich ohýbání a zpracování na kovacích lisech a strojích s odporovým svařováním, včetně odstranění otřepů. Následovala prohlídka finalizace výroby průběžným tryskáním, průběžným tepelným zpracováním, povrchovou cementací a finální kalibrací řetězů na lisech.

Účastníci exkurze měli možnost vidět zkoušku na trhacím lisu a projít si skladové prostory hotových výrobků.

V rámci prohlídky byla patrná snaha o využití robotizace ve výrobě (použití robotů YASKAVA) pro opakované zavádění nařezaných kusů do indukčních predehřevů před kovacími lisy a navádění řetězů během ukládání do beden.

*Ing. Michał Sikora
Předseda odborné skupiny VÚHŽ
Foto: účastníci*

Technologický den skupiny ČHS Výroba surového železa

V úterý 12. května 2026 se v malebném prostředí chaty Lačnov v Horní Lomné uskutečnil Technologický den skupiny ČHS, organizovaný úsekem Výroby surového železa. Cílem tohoto profesního setkání bylo sdílení aktuálních poznatků, zhodnocení klíčových výrobních parametrů a představení strategických investičních i ekologických projektů, které formují moderní tvář prvovýroby Třineckých železáren.

Program akce byl rozdělen na dopolední odborný blok přednášek a navazující neformální část, která poskytla prostor k diskusi nad aktuálními výzvami oboru.

Odborný blok přinesl celkem osm specializovaných přednášek, které pokrývaly široké spektrum témat od procesního inženýrství po Průmysl 4.0:

- Hodnocení klíčových parametrů výroby surového železa (Jan Kantor, VOf) – Úvodní analýza stability a efektivity současných tavicích procesů.
- Zvýšení efektivity klopení surovin v systému Innofreight (Jakub Kantor, VOfr) – Logistická a technologická optimalizace vykládky vstupních substrátů.
- Optimalizace průmyslové filtrace se zaměřením na snížení emisí a nákladů na provoz aglomerací (Roman Szturc, VOfa) – Ekologizace provozu a snižování OPEX v oblasti spékání rud.
- Vliv vstupních surovin na stabilitu plynového hospodářství VP (Roman Taska, VOfv) – Vazba mezi kvalitou vsázky a energetickou bilancí vysokopecního plynu.
- Prediktivní údržba 4.0 (Marián Pietrzyk, VY) – Implementace prvků digitalizace a senzoriky pro předcházení neplánovaných odstávek.
- Investiční rozvoj úseků VOfr, VOfa a VOfv (Zbigniew Kantor, IV a Michael Bouček, IV) – Přehled plánovaných a realizovaných modernizačních akcí na jednotlivých úsecích.
- Cirkulární ekonomika a vedlejší produkty (Petr Faruzel, TE) – Možnosti opětovného využití hutních odpadů a snižování uhlíkové stopy.

Technologický den skupiny ČHS potvrdil, že moderní výroba surového železa je komplexní, hluboce integrovaný systém, kde výkonnost a stabilita metalurgického procesu přímo závisí na spolehlivosti navazujících logistických a ekologických uzlů. Prezentovaná řešení, od exaktního řízení parametrů vsázky na vysoké pece, přes pokročilé chemické inženýrství v oblasti čištění technologických vod, až po cílené investice do odstraňování úzkých hrdel na výklopníku Innofreight (přechod na sekční rošty, robustní dopravní pásy a zavedení paralelního zakládání s využitím VSA vozů), ukazují jasný směr rozvoje prvovýroby TŽ.

Sdílení provozních zkušeností a představení investičních záměrů na chatě Lačnov potvrdilo vysokou odbornou připravenost členů skupiny ČHS Výroba surového železa.

Realizace diskutovaných opatření, od zavádění prediktivní údržby 4.0 přes odstraňování infrastrukturních úzkých hrdel až po snižování emisní zátěže, dává odborné skupině ČHS jasný a stabilní směr pro další období, což přímo přispívá k zajištění plynulosti výroby, snížení havarijních prostojů a dlouhodobé stabilitě celého hutního provozu.



Blok odborných přednášek Technologického dne

Text i foto:

Ing. Jan Kantor

Předseda odborné skupiny Výroba surového železa

ČHS oceňovala autora nejlepší diplomové práce

V rámci každoročního hodnocení diplomových prací technických oborů bylo v akademickém roce 2025–2026 rozhodnuto o udělení ocenění za nejlepší diplomovou práci Ing. Kryštofu Byrtusovi z VŠB – Technické univerzity Ostrava. Diplomová práce vznikla na Fakultě materiálově technologické, Katedře materiálového inženýrství a recyklace, a tematicky se zaměřuje na oblast vlastností kolejnicových ocelí.

Oceněná práce s názvem „Vliv intenzity ochlazování na výslednou tvrdost kolejnice v závislosti na mezilamelární vzdálenosti perlitu“ se zabývá detailní analýzou vztahů mezi technologickými parametry ochlazování a výslednou mikrostrukturou a mechanickými vlastnostmi kolejnice. Autor v ní prokázal schopnost systematicky propojit teoretické poznatky s experimentálním ověřením a přispěl k hlubšímu pochopení vlivu mezilamelární vzdálenosti perlitu na tvrdost materiálu.

Práce vyniká nejen vysokou odbornou úrovní, ale také praktickou využitelností dosažených výsledků, které mohou nalézt uplatnění v oblasti optimalizace výrobních procesů kolejnic a zvyšování jejich užitečných vlastností. Hodnotící komise ocenila zejména komplexnost zpracování, metodický přístup autora a přínos práce pro další rozvoj materiálového inženýrství v hutnické praxi.

Slavnostní předání ocenění proběhlo v rámci akce INVENT ARENA 2026 a ocenění předávali Robert Zvoníček – personální ředitel TŽ a Jiří Cupek – předseda předsednictva ČHS. Podrobnější informace o diplomové práci a jejích výsledcích přineseme v příštím čísle Hutnických listů.



*Text: Ing. Jiří Cupek, Ph.D.
Foto: Vojtěch Vladár*

INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

SMS group dodá největší čtyřproudé zařízení pro kontinuální lití bloků

16. března 2026

Společnost SMS group získala zakázku od čínské společnosti Xiangtan Iron & Steel na dodávku nového čtyřproudého zařízení pro kontinuální lití bloků (CCM#12). Nové zařízení rozšíří výrobu vysoce kvalitních bloků typu SBQ (Special Bar Quality), které jsou určeny především pro automobilový průmysl, výrobu ložisek, energetiku a další technicky náročné aplikace.

Kontinuální lící stroj bude vyrábět bloky o průřezích až 450 × 530 mm a 395 × 410 mm, což představuje největší rozměry, jakých společnost SMS Concast u obdobných zařízení dosud dosáhla. Součástí dodávky budou systémy Dynamic Mechanic Soft Reduction (DMSR), elektromagnetické míchání oceli (EMS), přesné řízení průtoku oceli CONFLOW® a další technologie zajišťující vysokou vnitřní kvalitu odlitků. Uvedení zařízení do provozu je plánováno na konec roku 2026.

Originál článku naleznete zde: [SMS Group](#)

Český astronom a popularizátor vědy Jiří Grygar oslavil 90. narozeniny

Úctyhodného věku 90 let se dne 13. března 2026 dožil astronom, astrofyzik a popularizátor vědy Jiří Grygar, který po desítky let pomáhá přibližovat poznatky o vesmíru široké veřejnosti a je jednou z nejznámějších osobností české vědy.



Jiří Grygar se narodil v roce 1936 v tehdejší Československu. Během své kariéry působil například v Astronomickém ústavu Akademie věd České republiky, kde se věnoval výzkumu proměnných hvězd, nov a supernov. Vedle vědecké práce se však výrazně proslavil především jako popularizátor astronomie – člověk, který dokázal složité kosmické jevy vysvětlit srozumitelně, poutavě a s nakažlivým nadšením.

Široké veřejnosti se stal známým například díky televiznímu pořadu *Okna vesmíru dokořán*, který byl vysílán v 80. letech. Tento legendární popularizační cyklus přibližoval divákům aktuální poznatky z oblasti astronomie a kosmického výzkumu. Grygarův klidný a přehledný výklad pomohl zvýšit zájem o vesmír a vědu u celé generace diváků.

Jiří Grygar je také autorem řady popularizačních článků a přednášek a dlouhodobě se věnuje šíření vědeckého myšlení ve společnosti. Od roku 1966 také pravidelně připravuje přehled nových poznatků v astronomii za uplynulý rok pod názvem *Žeň objevů*.

Za svou dlouhodobou práci v oblasti popularizace vědy získal řadu ocenění. V lednu 2026 mu byla udělena Cena Neuron za lásku k vědě, kterou uděluje Nadace Neuron osobnostem významně přispívajícím k rozvoji vědy a jejímu přibližování veřejnosti.

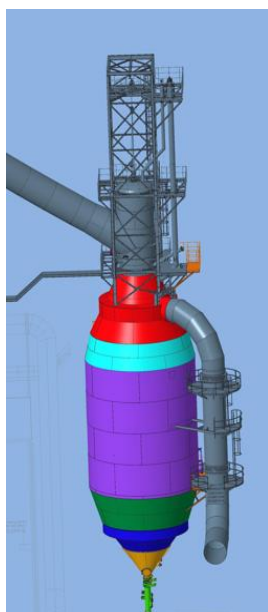
Převzato z: madrid.czechcentres.cz

Informace z partnerských spolků

Podporujeme projektově hutní průmysl již desítky let

Prvním letopočtem, který je zmiňován v historii firmy je rok 1958, kdy v Třineckých železárnách vznikla samostatná technická kancelář, která zajišťovala projektové a konstrukční činnosti modernizačních a investičních akcí. Postupně s rozvojem této projektové složky docházelo také k organizačním změnám, které byly završeny v době transformace velkého Třineckého hutního podniku a v listopadu 1994 vznikla samostatná projektová organizace TŘINECKÁ PROJEKCE, a.s.

V průběhu desetiletí jsme navázali na předchozí zkušenosti konstruktérů v hutním průmyslovém podniku, ale také prošli výraznými změnami pracovních postupů. Dříve se inženýři a architekti spoléhali na tradiční rýsovací prkna a ruční kreslení, což vyžadovalo značnou preciznost a také zručnost. S příchodem prvních počítačů se začaly objevovat první CAD (Computer Aided Design) programy, které umožnily digitální tvorbu technických výkresů a zefektivnily celý proces. Tento přechod byl revoluční, protože umožnil snadnější a rychlejší úpravy rozpracovaných zakázek. Koncem minulého století přišla digitální fotografie, což projektantům výrazně zjednodušilo mapování stávajícího okolí pro jejich další práci zejména při rekonstrukcích staveb a technologických zařízení zejména v TŽ. V posledních dvou dekadách se technologie posunuly ještě dále s nástupem 3D modelování, které umožňuje vytvářet detailní a realistické virtuální modely staveb a strojů. Aktuálně jsou hitem moderní 3D skenery umožňující přesné zachycení reálných objektů a jejich integraci do digitálních modelů, což výrazně zlepšuje přesnost, efektivitu a také představu projektantů i investorů během projektování o vznikajícím dílu.



*3D model prašníku
vysoké pece*



*Dle 3D modelu zkonstruovaný prašník
vysoké pece před montáží*

Na Třinecké projekci se z původních převážně průmyslových konstruktérů postupně vytvořil víceoborový tým, takže v dnešní době je naše projekce schopná nabízet komplexní projektovou dokumentaci zaměřenou zejména na přípravu investičních staveb. Profesionální portfolio cca 40 zaměstnanců obsahuje technology, energetiky, elektrikáře, oceláře a stavaře. Naší mateřskou společností jsou Třinecké železárny, takže logicky největší objem naší práce je směřován do přípravy investic v tomto významném hutním podniku České republiky a díky profesionálnímu portfolio jsme schopni se zapojit také do projektové přípravy v dalších průmyslových odvětvích nebo také v občanské sféře.

Naší největší devízou jsou zaměstnanci, kteří mají potřebu a chuť se dále vzdělávat a odborně růst, aby byli schopni pracovat v prostředí, které se stále dynamicky vyvíjí. Máme deset autorizovaných inženýrů a techniků, členů ČKAIT, kteří zajišťují v předepsaných oborech odbornou kvalitu projektové dokumentace počínaje studii proveditelnosti přes dokumentaci pro povolování staveb, a hlavně pro realizaci staveb včetně autorských dozorů, specializovaných výpočtů, posudků, technického poradenství apod.

Velkým tématem dnešní doby a blízké budoucnosti je BIM neboli Building Information Modeling. Jedná se o digitální model budovy, který obsahuje všechny důležité informace o stavbě od rozměrů a materiálů až po technické detaily nebo časový plán výstavby. BIM má umožnit projektantům efektivněji spolupracovat při tvorbě dokumentace, ale zejména pak majitelům a provozovatelům budov využívat vytvořený model stavby k efektivní správě a údržbě budovy. Díky digitálnímu modelu mají přístup ke všem informacím o budově na jednom místě. Prostorové 3D modelování je už u nás standardem. Zdokonalování v dalších oblastech systému BIM včetně začlenění digitálních skenů do návrhových modelů je v současné době pro naše projektanty zásadní výzvou při tvorbě projektové dokumentace.

Ing. Josef Waclawek
Ředitel Třinecké projekce, a.s.

INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

EUROMETAL vyzývá k posílení konkurenceschopnosti evropského ocelářství

15. dubna 2026

Evropská asociace EUROMETAL společně s národními svazy a zástupci ocelářského průmyslu zveřejnila v roce 2026 výzvu k urgentnímu řešení problémů konkurenceschopnosti evropského hutnictví. Dokument upozorňuje na dlouhodobý tlak globální nadkapacity, vysoké náklady na energie a rostoucí regulatorní zátěž v EU.

Podle sdružení je rok 2026 klíčový pro nastavení podmínek, které umožní udržení výroby oceli i navazujících zpracovatelských odvětví v Evropě. EUROMETAL zdůrazňuje, že bez funkčního a ekonomicky udržitelného downstream sektoru nebude možné naplnit cíle evropské průmyslové ani klimatické politiky.

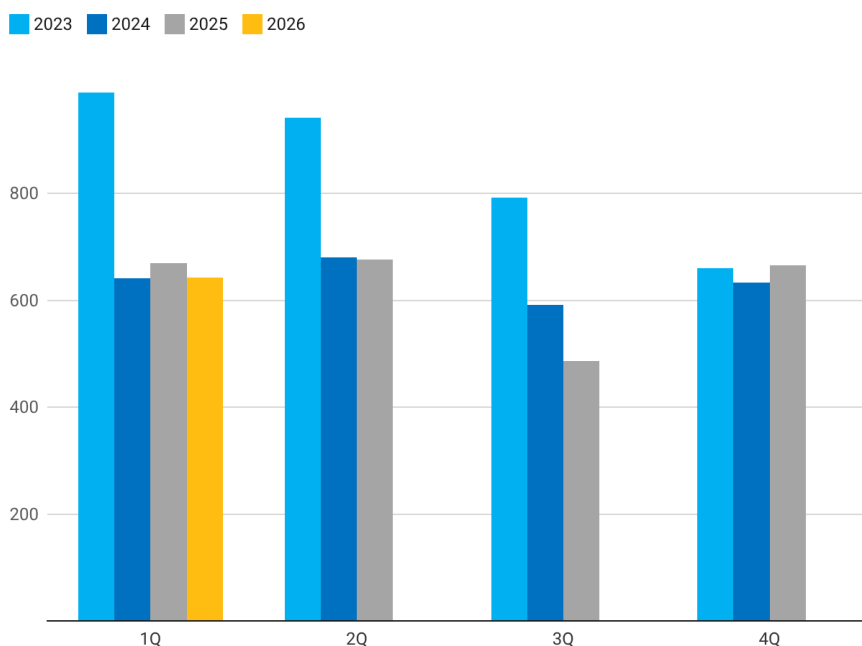
Iniciativa již získala podporu stovek firem a desítek národních asociací napříč Evropou. Diskuse se soustředí především na úpravy obchodní politiky EU, problematiku dovozů oceli a ocelových derivátů a na dopady mechanismu CBAM.

Originál článku naleznete zde: steelradar.com

Informace z Ocelářské unie, a.s.

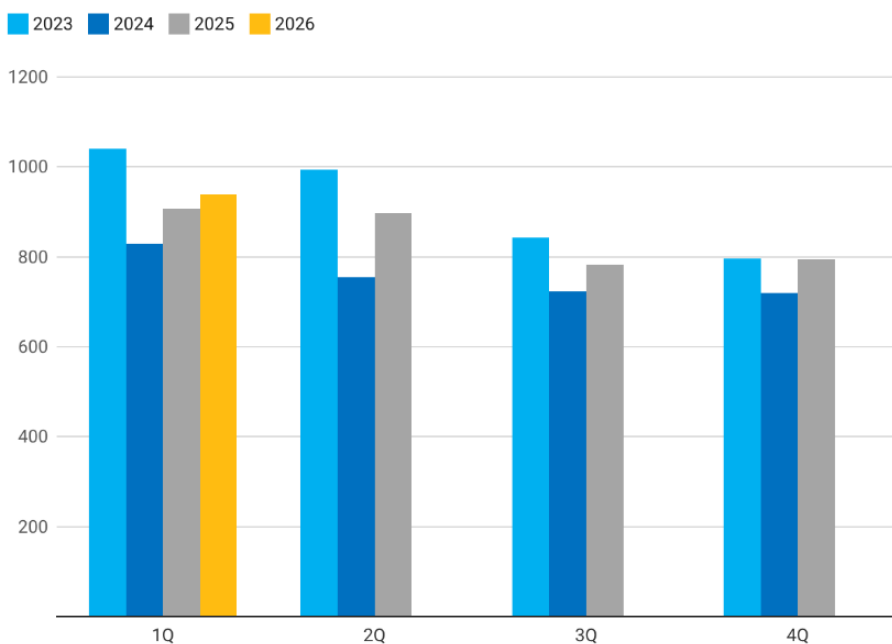
Data o výrobě a obchodu s ocelí v ČR – statistiky za období let 2023 – 2026

Produkce surové oceli v ČR v letech 2023 – 2026



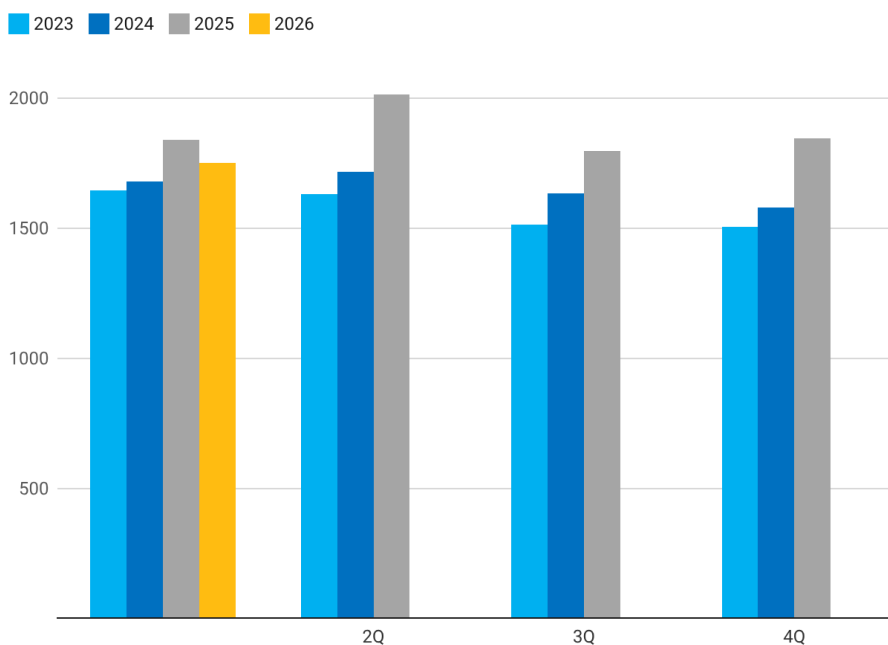
Graf: v tis. tun • Zdroj: Ocelářská unie • Vytvořeno nástrojem Datawrapper

Vývoz oceli do ČR v letech 2023 – 2026



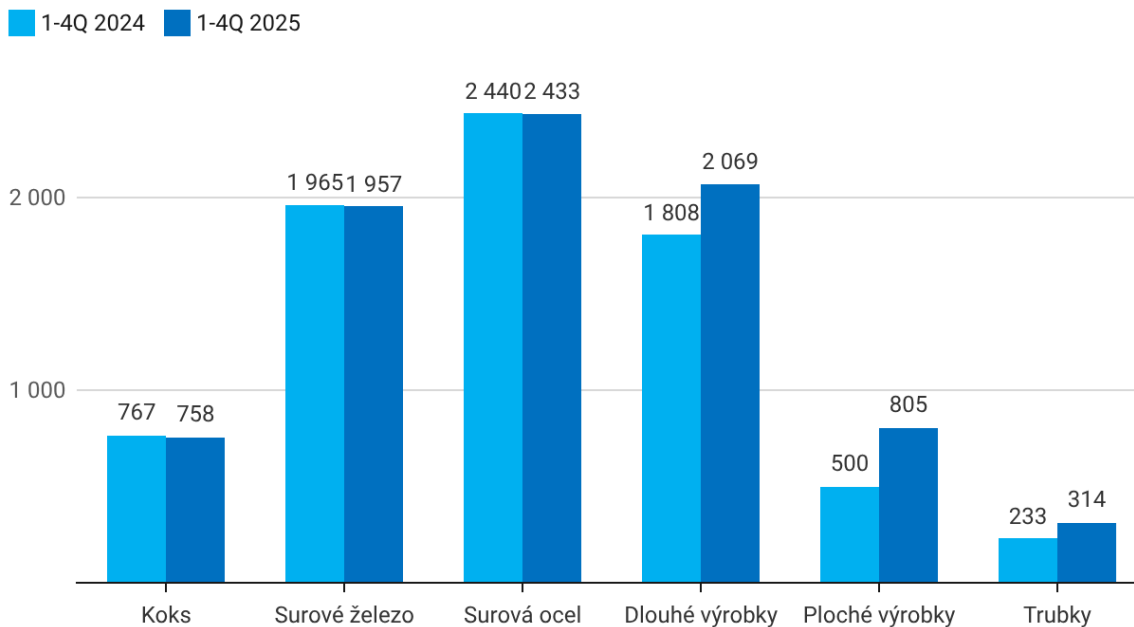
Graf: v tis. tun • Zdroj: Ocelářská unie • Vytvořeno nástrojem Datawrapper

Dovoz oceli do ČR v letech 2023 – 2026



Graf: v tis. tun • Zdroj: Ocelářská unie • Vytvořeno nástrojem Datawrapper

Objem výroby v ČR v letech 2024 a 2025



Graf: v tis. tun • Zdroj: Ocelářská unie • Vytvořeno nástrojem Datawrapper

Ocelářská unie vítá definitivní schválení nového nástroje na ochranu evropského trhu s ocelí

Praha, 8. června 2026 – Ocelářská unie vítá definitivní schválení nového nástroje na ochranu trhu s ocelí v EU, který nahradí stávající opatření (tzv. safeguard) končící 30. června 2026. Nová pravidla, která nabydou platnosti od 1. července, představují zásadní krok k ochraně evropského ocelářství před negativními dopady globální nadbytečné kapacity, neférových obchodních praktik či rostoucího tlaku levných dovozů ze třetích zemí.

Evropské ocelářství se v posledních letech potýká s kombinací vysokých cen energií, oslabené poptávky, rostoucích environmentálních nákladů a globální nadkapacitou. Zachování účinné obchodní ochrany proto představuje jeden z klíčových předpokladů pro udržení evropské výroby, investic a pracovních míst v EU.

Nový ochranný mechanismus proto zavádí výrazné omezení bezcelních dovozních kvót a současně zvyšuje ukládané clo na objemy dovozů nad stanovené limity. Evropská unie tak reaguje na dlouhodobě neudržitelnou situaci na světovém trhu s ocelí, kde přetrvává masivní nadprodukce, zejména v asijských zemích, která tak deformuje férovou hospodářskou soutěž.

„Schválení nového nástroje je důležitým signálem, že si EU uvědomuje strategický význam ocelářského průmyslu nejen pro celou ekonomiku, ale i pro zaměstnanost či celkovou transformaci průmyslu směrem ke klimatické neutralitě. Pro evropské ocelářské společnosti je stěžejní zajištění předvídatelných podmínek, bez kterých není možné zajistit investice do další modernizace výroby. Tyto předvídatelné podmínky jim nový nástroj alespoň částečně zajistí,“ uvedla Marcela Kubalová, předsedkyně představenstva Ocelářská unie.

V rámci nových opatření dojde ke snížení objemu bezcelních dovozních kvót přibližně o 47 % oproti úrovním z roku 2024 a clo na dovozy nad rámec kvót vzroste z dosavadních 25 % na 50 %. Součástí opatření je také posílení sledovatelnosti původu oceli prostřednictvím principu „melt and pour“, který má omezit obcházení pravidel přes třetí země. Ocelářská unie v tomto směru oceňuje vzácnou jednotu evropských institucí, kdy na základních parametrech nových opatření prakticky od počátku vyjednávání panovala shoda. Rovněž vítáme, že k definitivnímu schválení nových opatření došlo v dostatečném předstihu tak, aby bylo možné na stávající opatření bezprostředně navázat. Bez těchto opatření by totiž došlo k dalšímu nekontrolovanému nárůstu dovozů a tím i další destabilizaci evropského trhu. Očekáváme, že situace na evropském trhu s ocelí se bude stabilizovat postupně – a to i díky jistému předzásobením s vidinou příchodu nových opatření – v průběhu celého druhého pololetí letošního roku.

Ocelářská unie současně zdůrazňuje, že nový obchodní nástroj je pouze základním předpokladem pro zachování udržitelného ocelářství v EU. Světový trh s ocelí se vyvíjí velice rychle, je tak třeba velice bedlivě sledovat a pravidelně vyhodnocovat situaci na trzích a v případě potřeby dále posilovat ochranu evropského trhu tak, abychom dokázali reagovat na aktuální vývoj okolo globální nadkapacity a měnících se obchodních toků.

Článek převzat z webu [Ocelářské unie](#)

Proč je ocel nenahraditelná, vysvětlí série přednášek pro středoškoláky v kraji

20. února 2026

Přiblížit studentům středních průmyslových škol svět oceli a ukázat jim, že technické obory mají smysl, budoucnost i dopad na reálný život. To je hlavní cíl nového projektu Ocel do škol, který zahájily Třinecké železárny ve spolupráci VŠB – Technickou univerzitou Ostrava, v rámci programů Zlepši si techniku.

Projekt tvoří série tří interaktivních přednášek, z nichž každá trvá dvě vyučovací hodiny a nahlíží na ocel z jiné perspektivy. Studenti si mohou osahat různé materiály, porovnat jejich vlastnosti a vyzkoušet si praktické testy pružnosti, pevnosti či houževnatosti. Nejde však jen o teorii – mladí lidé sami objevují, kde všude se s ocelí během běžného dne setkávají, a proč je pro moderní společnost nenahraditelná.

Druhá část programu přibližuje historii výroby oceli a představuje Třinecké železárny jako poslední integrovaný hutní podnik svého druhu v České republice. Studenti mají k dispozici také 3D brýle s virtuální realitou, které jim umožní nahlédnout přímo do výrobních provozů.

Závěrečný blok se zaměřuje na udržitelnost, cirkulární ekonomiku a recyklaci. Studenti se dozvědí, jak se nakládá s odpady, co všechno lze znovu využít, a jaké přínosy má odpovědný přístup k surovinám pro životní prostředí i ekonomiku.

Jako první se do projektu zapojilo přibližně padesát žáků ze Střední průmyslové školy Krnov. V následujících týdnech projekt zamíří také na střední průmyslové školy v Ostravě a v Opavě. „Projekt Ocel do škol má bořit stereotypy o technických oborech a ukázat mladým lidem, že technika nespočívá jen na vzorcích a teorii, ale především na reálném světě kolem nás – o světě, který bez oceli jednoduše nemůže fungovat,“ doplňuje za Třinecké železárny Jaroslav Stebel z oddělení Komunikace.

„Náš společný Příběh oceli krásně zapadá do systému Zlepši si techniku, ve kterém dlouhodobě žákům a studentům představujeme vědomosti a šikovnost lidí, ale také je motivujeme se vzdělávat a pozitivně ovlivňovat naše životy,“ vysvětluje Jarmila Černá, členka popularizačního týmu VŠB-TUO, který společně s ní tvoří hlavní lektorky programu Silvie Brožová a Petra Váňová z Fakulty materiálů-technologické.

Projekt vyvrcholí závěrečnou soutěží. Zapojené školy mají za úkol natočit krátké video, v němž bude hlavní roli hrát ocel. Vítězná třída získá možnost navštívit třineckou huť osobně.

Projekt Ocel do škol je dalším krokem k popularizaci techniky u nejmladších generací. Přímo tak navazuje na dlouholetý a úspěšný projekt Můj Werk, který je určen žákům 7. tříd základních škol v Třinci a jeho okolí. Stejně jako u nového programu pro středoškoláky, i vyhlášení výsledků projektu Můj Werk probíhá v úzké spolupráci s VŠB – Technickou univerzitou Ostrava.

Článek převzat z webu [Ocelářské unie](#)

Konference

Ohlédnutí za výstavou INVENT ARENA 2026

Ve dnech 17. a 18. června 2026 hostila třinecká WERK ARENA čtvrtý ročník mezinárodní výstavy INVENT ARENA – jediné soutěžní výstavy svého druhu v České republice, zaměřené na inovace, vynálezy a technické novinky. Výstava se opět stala místem setkání výzkumníků, firem i mladých inovátorů a přilákala spoustu návštěvníků z řad široké veřejnosti. Na ploše přes 2 000 m² se představily firmy, výzkumné týmy i jednotlivci z mnoha zemí.



*Invent Arena 2026
Foto: Petr Bielez*

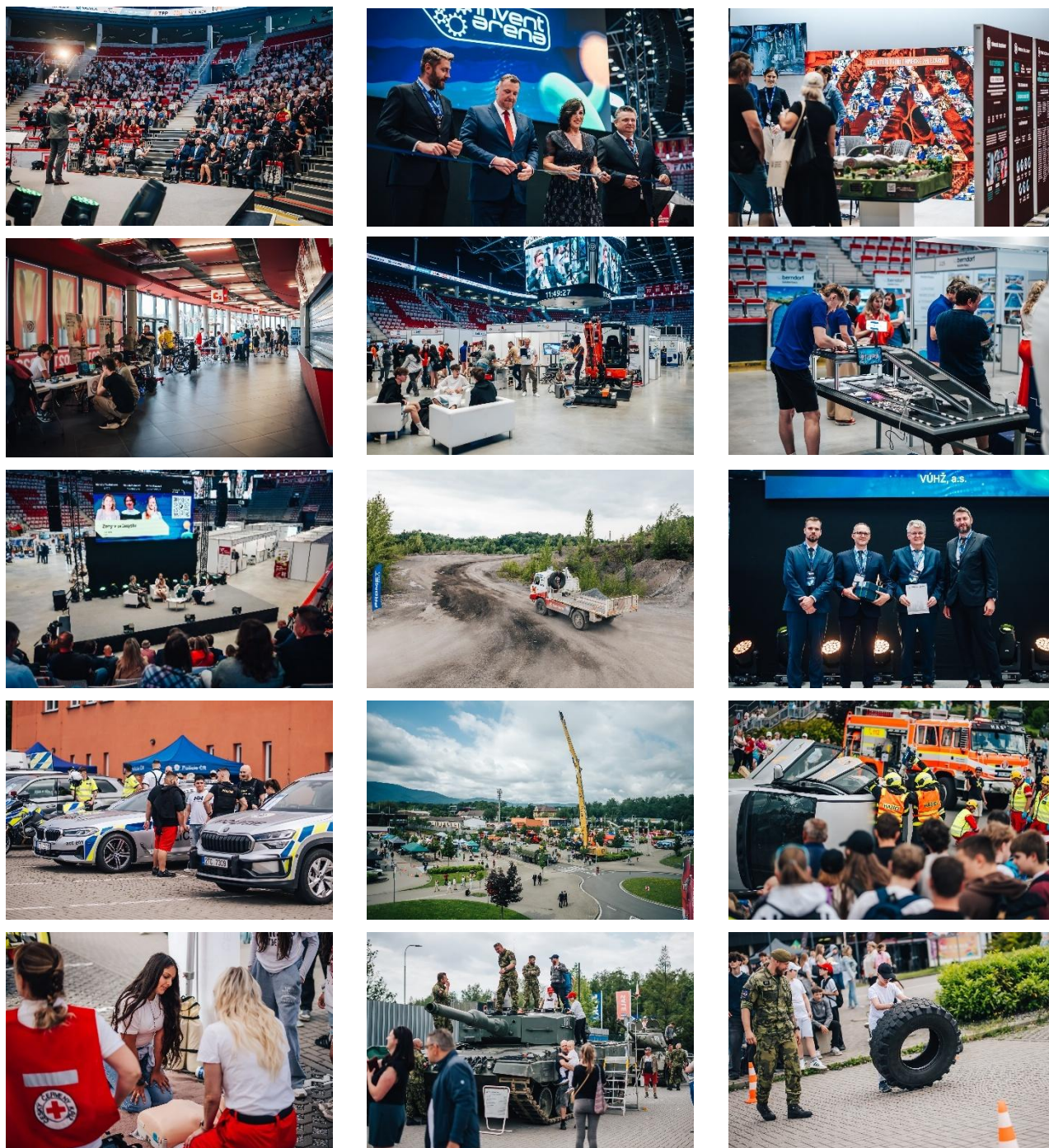
Panelové diskuse nabídlý pestrou škálu témat: od významu oceli pro lidstvo, efektivity a ekologizace v průmyslu až po inspirativní diskusi o roli žen v tomto sektoru nebo o udržitelnosti životního prostředí. Pozornost byla věnována i otázkám, jak dokáže nová éra digitálních technologií nahradit lidský faktor a jakým způsobem mění inovace dnešní svět. Zajímavý pohled na současnou kosmonautiku pak nabídla diskuse jejich popularizátorů, kteří mají na kontě úspěšné satelitní mise, prestižní mezinárodní ocenění i simulované lety do vesmíru.

Novinkou letošního ročníku byla LAB zóna – otevřený prostor pro experimentování, objevování a popularizaci vědy. Zájemci si mohli vyzkoušet nejrůznější experimenty, technologické principy i kreativní aktivity, které propojují vědu, techniku a hravé poznávání. LAB zóna nabídla program především pro žáky a studenty, ale také pro rodiny s dětmi a všechny návštěvníky, kteří chtěli technologie poznat zblízka.

Organizátoři nabídli pestrý program i mimo výstavní plochu. Na ploše před stadionem se v první den výstavy uskutečnil Den s integrovaným záchranným systémem (IZS) a Den s hrdiny, během nichž se představily jednotlivé složky záchranných služeb a Armády ČR. Návštěvníci si tak mohli prohlédnout techniku a ukázky jejich práce. Dalšími z mnoha atraktivních lákadel byla jízda dakarským speciálem Tatra areálem odvalového hospodářství Třineckých železáren nebo mobilní biatlonová střelnice, která nabídla možnost vyzkoušet si biatlonovou střelbu v praxi.

Na závěrečném ceremoniálu byli oceněni vítězové jednotlivých kategorií. Hlavní cenu GRAND PRIX INVENT ARENA získala společnost VÚHŽ za vynález Elektromagnetické detekce strusky.

Letošní ročník INVENT ARENY opět potvrdil, že technologický pokrok se nerodí jen ve výzkumu a vývoji, ale skrze nápady, odvahu a spolupráci lidí, kteří chtějí měnit svět kolem nás. Další ročník plný inovací a inspirativních setkání se uskuteční v roce 2028.



*Průběh mezinárodní výstavy Invent Arena, Dne s IZS a Dne s hrdiny 2026 v Třinci
Foto: Vojtěch Vladár*

Text: Česká hutnická společnost z.s. – hlavní organizátor výstavy Invent Arena