



Odborný on-line časopis pro metalurgii a příbuzné obory

# Hutnické listy

*Metallurgical Journal*

2

PROFESSIONAL ONLINE JOURNAL FOR METALLURGY AND RELATED FIELDS  
[WWW.HUTNICKELISTY.CZ](http://WWW.HUTNICKELISTY.CZ)

ROČNÍK/VOL. LXXVIII  
ROK/YEAR 2025



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 společnost 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.**



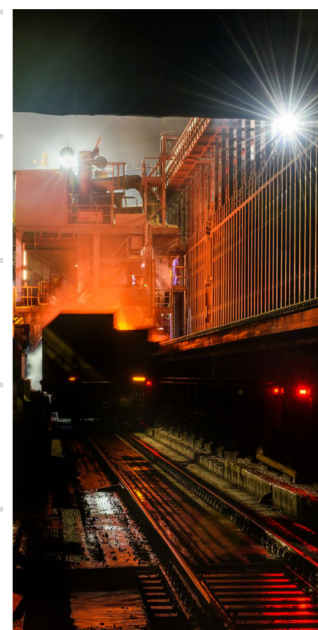
**VÚHŽ<sup>®</sup>  
a.s.**



**BOHEMIA RINGS**



**ENVIFORM<sup>®</sup>**



[www.hutnickaspol.cz](http://www.hutnickaspol.cz)

[PredsedaCHS@trz.cz](mailto:PredsedaCHS@trz.cz)



Odborný on-line časopis pro metalurgii a příbuzné obory

# Hutnické listy

## Metallurgical Journal

Ročník / Volume: LXXVIII

Rok / Year: 2025

Číslo / Number: 2

[www.hutnickelisty.cz](http://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](mailto: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 Zubeck

### Redakční rada – Předseda / Editorial Board – Chairperson

prof. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D. Česká hutnická společnost, z.s., Třinec, Česká republika

### Členové / Members

Ing. Martin Balcar, Ph.D.

doc. Ing. Branislav Bulku, PhD.

Ing. Henryk Huczala

prof. dr hab. inž. Mariola Saternus

doc. Ing. Petr Kotrbáček, Ph.D.

Dr. Ing. Ladislav Válek

prof. Ing. Bedřich Smetana, Ph.D.

doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D.

doc. Ing. Richard Fabík, Ph.D.

ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou, Česká republika

Technical University in Košice, Slovenská republika

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

Politechnika Śląska, Katowice, Polsko

Vysoké učení technické v Brně, Česká republika

MSV Metal Studénka, a.s., Česká republika

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Česká republika

Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, ČR

ŽDB Drátovna, a.s., Bohumín, Česká republika

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

Od roku 2025 vychází časopis pouze elektronicky, dvakrát ročně. Časopis je zdarma. Předchozí zpožděný otevřený přístup bude uplatněn pouze u čísel 1–3/2024 a 4–6/2024.

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](http://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. The previous delayed open access policy applies only to issues 1–3/2024 and 4–6/2024.

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](http://www.hutnickelisty.cz))

# Úvodník

---

*Vážení čtenáři Hutnických listů,*

*navzdory přetrvávající nepříznivé situaci v ocelářství můžeme konstatovat, že se časopis Hutnické listy posunul výrazně kupředu. Zejména nás těší, že si již druhé číslo elektronického vydání můžete přečíst na zcela nových webových stránkách, které jistě potěší moderním designem a přehledným zpracováním.*

*Věříme, že se vám nové webové stránky budou líbit a že úspěšně propojí tradiční obsah časopisu s moderní podobou jeho digitálního prostředí. Dobrou zprávou také je, že se redakce rozrůstá o nové aktivní členy, což je příslibem dalšího rozvoje časopisu.*

*Ve druhém čísle Hutnických listů najdete kromě čtyř odborných recenzovaných a dvou převzatých výzkumných a vědeckých článků také shrnutí několika významných mezinárodních konferencí z oblasti metalurgie a koksárenství, které proběhly na podzim tohoto roku. Třinec hostil 11. mezinárodní konferenci modelování a simulace metalurgických procesů při výrobě oceli STEELSIM 2025. V Ostravici se uskutečnil 32. ročník mezinárodní konference Modern Metallurgy 2025 a v Ostravě již 39. ročník mezinárodní koksárenské konference.*

*Kromě odborných konferencí proběhly rovněž akce propojující vědu s uměním a širokou veřejností Art & Science a Noc vědců na VŠB-TUO. Zdařilý článek z této akce přibližuje oblast archeometalurgie a popisuje simulaci výroby železné houby na replice laténské pece z 5. až 1. století př. n. l.*

*Ve druhém čísle přinášíme i rozhovor s místním rodákem a úspěšným fotografem Pavlem Zubkem, který se již 20 let věnuje industriální fotografii. Jeho snímek je použit také na titulní straně tohoto čísla.*

*Tímto vydáním uzavíráme rok 2025, který se již chýlí ke konci. V příštím roce pro vás chystáme opět dvě elektronická čísla Hutnických listů, a navíc jedno speciální, věnované konferenci STEELSIM 2025.*

*Pod záštitou České hutnické společnosti se připravuje pokračování jedinečné výstavy inovací Invent Arena 2026, která se bude v Třinci konat již počtvrté. O jejím průběhu budeme informovat v příštích číslech Hutnických listů.*

*Dovolte mi jménem celé redakce popřát vám klidné prožití vánočních svátků a v novém roce mnoho zdraví, spokojenosti a pracovních úspěchů. Děkujeme, že Hutnické listy čtete a podporujete. Nechť rok 2026 přinese českému ocelářství více optimismu a pozitivních zpráv.*

*S úctou,*

*Jana Kocurová  
Vedoucí redaktorka Hutnických listů*

## Obsah / Content

|         |   |
|---------|---|
| Úvodník | 4 |
|---------|---|

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

|                                                         |   |
|---------------------------------------------------------|---|
| <b>Mariola Saternus, Tomasz Merder, Jacek Pieprzyca</b> | 7 |
|---------------------------------------------------------|---|

Modeling of Steelmaking Process Conducted at the Department of Metallurgy and Recycling of the Silesian University of Technology

Modelování metalurgických procesů na Katedře metalurgie a recyklace Slezské polytechniky

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Markéta Tkadlečková, Jiří Cibulka, Tomáš Huczala, Martin Lasota, Jiří Cupek, Petr Kotas, David Jelínek</b> | 15 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Využití pokročilých numerických simulací pro optimalizaci plynulého lité oceli

Use of Advanced Numerical Simulations for the Optimization of Continuous Steel Casting

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Jiří Cupek jr., Markéta Tkadlečková, Jiří Cibulka, Tomáš Huczala, Petr Klus</b> | 23 |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|

CFD simulace odstraňování nekovových vměstků při proudění za různých výšek hladiny oceli v mezipánvi

CFD Simulation of Non-Metallic Inclusion Removal during Flow at Different Steel Levels in the Tundish

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Bruno Kostura, Šárka Langová, Vlastimil Matějka, Michal Ritz, Jozef Vlček</b> | 31 |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|

Sorpce kadmia, mědi a niklu z vodných roztoků pomocí ocelářské strusky – využití v cirkulární ekonomice

Sorption of Cadmium, Copper and Nickel from Aqueous Solutions Using Steel Slag – Use in the Circular Economy

### Převzaté výzkumné a vědecké články / Republished Research and Scientific Articles

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| <b>František Vrána, Pavel Fila, Martin Balcar, Jan Uherek</b> | 38 |
|---------------------------------------------------------------|----|

Provozní ověření technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci

Operational Verification of Molten Metal Decarburization Technology Using an Immersion Lance in a Ladle Furnace

|                       |    |
|-----------------------|----|
| <b>Kryštof Walica</b> | 45 |
|-----------------------|----|

Digitalization of Intra-Company Road Freight Transport

Digitalizace vnitropodnikové silniční nákladní dopravy

### Rozhovor

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| <i>Estetika průmyslu v objektivu Pavla Zubka</i> | 50 |
|--------------------------------------------------|----|

### Informační články / Informative Articles

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| <i>Informace z činnosti ČHS a partnerských spolků</i> | 57 |
|-------------------------------------------------------|----|

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| <i>Informace z Ocelářské unie, a.s.</i> | 77 |
|-----------------------------------------|----|

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| <i>Informace o konferencích, výstavách a veletrzích</i> | 83 |
|---------------------------------------------------------|----|



**TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY**



**OCEL**  
Z TŘINCE

# **OCEL**

## **PRO BUDOUCNOST**

**TRZ.CZ**

# Recenzované výzkumné a vědecké články

---

## Modeling of Steelmaking Process Conducted at the Department of Metallurgy and Recycling of the Silesian University of Technology

## Modelování metalurgických procesů na Katedře metalurgie a recyklace Slezské polytechniky

Mariola Saternus<sup>1</sup>, Tomasz Merder<sup>1</sup>, Jacek Pieprzyca<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Silesian University of Technology, Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Poland, [mariola.saternus@polsl.pl](mailto:mariola.saternus@polsl.pl)

### Abstract

*Modern metallurgical technologies are progressive in nature, requiring continuous improvement to enhance both product quality and production efficiency. The successful implementation of innovations in this field depends on a deeper understanding of the phenomena occurring during technological processes. The key sources of such knowledge are industrial practice and scientific research. The Laboratory of Metallurgical Process Modelling, operating for many years within the Department of Metallurgy and Recycling at the Silesian University of Technology, provides valuable opportunities to study the mechanisms that occur during steel production and secondary refining. Physical (water) modelling plays a crucial role in this research, as industrial installations are becoming increasingly complex. Conducting experimental studies under real operating conditions is often difficult due to the presence of high temperatures, dense fumes, and the atomization of metal and slag, as well as being prohibitively expensive. This article presents selected results of research conducted using physical (water) models that simulate processes taking place during oxygen converter operations, secondary steel refining in furnaces, and the continuous casting of steel. Both quantitative and qualitative findings are discussed to illustrate the potential of physical modelling in understanding and optimizing metallurgical processes.*

**Key words:** steel; physical modelling; continuous steel casting; tundish; modelling

### Abstrakt

*Moderní metalurgické technologie jsou progresivní povahy a vyžadují nepřetržité zlepšování s cílem zvýšit jak kvalitu výrobků, tak i efektivitu výroby. Úspěšná realizace inovací v této oblasti závisí na hlubším pochopení jevů probíhajících během technologických procesů. Klíčovými zdroji takových poznatků jsou průmyslová praxe a vědecký výzkum. Laboratoř modelování metalurgických procesů, která již mnoho let působí na Katedře metalurgie a recyklace Slezské technické univerzity, poskytuje širokou škálu možností studia mechanismů probíhajících při výrobě oceli a její následné sekundární rafinaci. Fyzikální (vodní) modelování hraje v tomto výzkumu zásadní roli, protože průmyslová zařízení se stávají stále složitějšími. Provádění experimentálních studií za reálných provozních podmínek je často obtížné z důvodu vysokých teplot, hustých dýmů a rozstřiku kovu a strusky, a také mimořádně nákladné. Tento článek představuje vybrané výsledky výzkumu prováděného pomocí fyzikálních modelů, které simulují procesy probíhající během provozu kyslíkových konvertorů, sekundární metalurgie a kontinuálního odlévání oceli. Jsou diskutovány kvantitativní i kvalitativní poznatky s cílem ukázat, jak fyzikální modelování přispívá k pochopení a optimalizaci metalurgických procesů.*

**Klíčová slova:** ocel; fyzikální modelování; plynulé odlévání; mezipánev; modelování

## 1. Introduction

The technological processes of smelting, refining, and casting metals are inherently complex. The phenomena occurring during these processes are governed by laws established in many fields of science, including physics, chemistry, thermodynamics, and fluid mechanics [1, 2]. Knowledge of these phenomena plays a key role in process control and its effectiveness in terms of expected results. Therefore, the implementation of innovative solutions requires a precise identification of the factors that determine the course of metallurgical phenomena. For this reason, conducting research under industrial conditions is of great importance. However, such studies are often extremely challenging due to the high temperatures involved—reaching up to 2000 °C—the aggressive environment of the metal bath, the isolation of the metallurgical reactor workspace from external influences, the need to maintain the uninterrupted progress of industrial processes during testing, and, above all, the safety of researchers performing the measurements [3]. Therefore, the information necessary for modernization or innovation is obtained through modelling. The goal of modelling is to analyse a given process with reduced financial outlays and a reduced risk of failure. Modelling enables visualization of the flow structure or tracer propagation, which allows for a better understanding of the analysed problem [4]. This applies to both real-time models (used for ongoing process control) and models used for problem analysis, i.e., predicting various variables and process parameters (finding optimal designs or configurations of process procedures).

## 2. Physical Modelling – Basics

Studies using physical models require compliance with the principles of similarity, which refer to the characteristic features of the real object and have a significant impact on the phenomena occurring in the studied process. The similarity conditions are geometric, mechanical, kinematic, thermal, or chemical. To accurately reproduce the phenomena under study, it is necessary to strive for complete similarity between the model and the real system. Achieving full similarity in industrial conditions, however, is extremely difficult; therefore, the dominant parameter governing the studied process is usually selected [5, 6]. To satisfy the principles of similarity, it is sufficient to ensure the equality of the relevant dimensionless criterion numbers for both the model and the actual object. Under these conditions, the results obtained from experiments performed on physical models can be reliably extrapolated to real processes. From the perspective of reactor design in steelmaking and the hydrodynamics of metal flow, the key dimensionless numbers describing the process are the Froude, Reynolds, and Weber numbers, as presented in **tab. 1**.

**Tab. 1** Characteristics of criterion numbers for physical models used in steel metallurgy

**Tab. 1** Klíčová kritéria podobnosti používaná u fyzikálního modelování metalurgických procesů

| Number                                                                                                                                                                         | Characteristics                                                                                                       | Equation                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Reynolds                                                                                                                                                                       | in the self-modelling range - the range in which it is not necessary to achieve exact equality of the criteria number | $Re = (\rho \cdot u \cdot L) / \eta$     |
| Froud                                                                                                                                                                          | in the reduced model, the liquid flow rate should be reduced accordingly                                              | $Fr = u^2 / (g \cdot L)$                 |
| Weber                                                                                                                                                                          | the ratio of the inertial force to the surface tension force                                                          | $We = (\rho \cdot u^2 \cdot L) / \sigma$ |
| where: $u$ – flow rate, $\rho$ – density, $\sigma$ – surface tension, $L$ – characteristic dimension, $g$ – gravitational acceleration, $\eta$ – dynamic viscosity coefficient |                                                                                                                       |                                          |

In the system under study, the flow is constant and the Reynolds number is within the self-modelling range (the region in which a given phenomenon is practically independent of the similarity criterion value), so there is no need to achieve equality of the criterion numbers in this region.

The Weber number, characterizing the effect of surface tension on liquid flow, is a criterion number confirming the achievement of the required similarity of the model to the real object; the dominant criterion determining the similarity of the tested model to the real object is the Froude criterion (this number is equal in water and liquid steel for each model).

The modelling studies focused on:

- visually determining the degree of dispersion (mixing) of gas bubbles in the liquid volume – tests for steel ladle,
- visually observing the degree of coloration of the solution by  $\text{KMnO}_4$  (purple), which allowed for the visualization of gas bubble mixing in the liquid and comparison of dispersion times – tests for steel ladle,
- determining the mixing time curves based on conductivity measurements by adding an aqueous  $\text{NaCl}$  solution to the model liquid – tests for steel ladle.

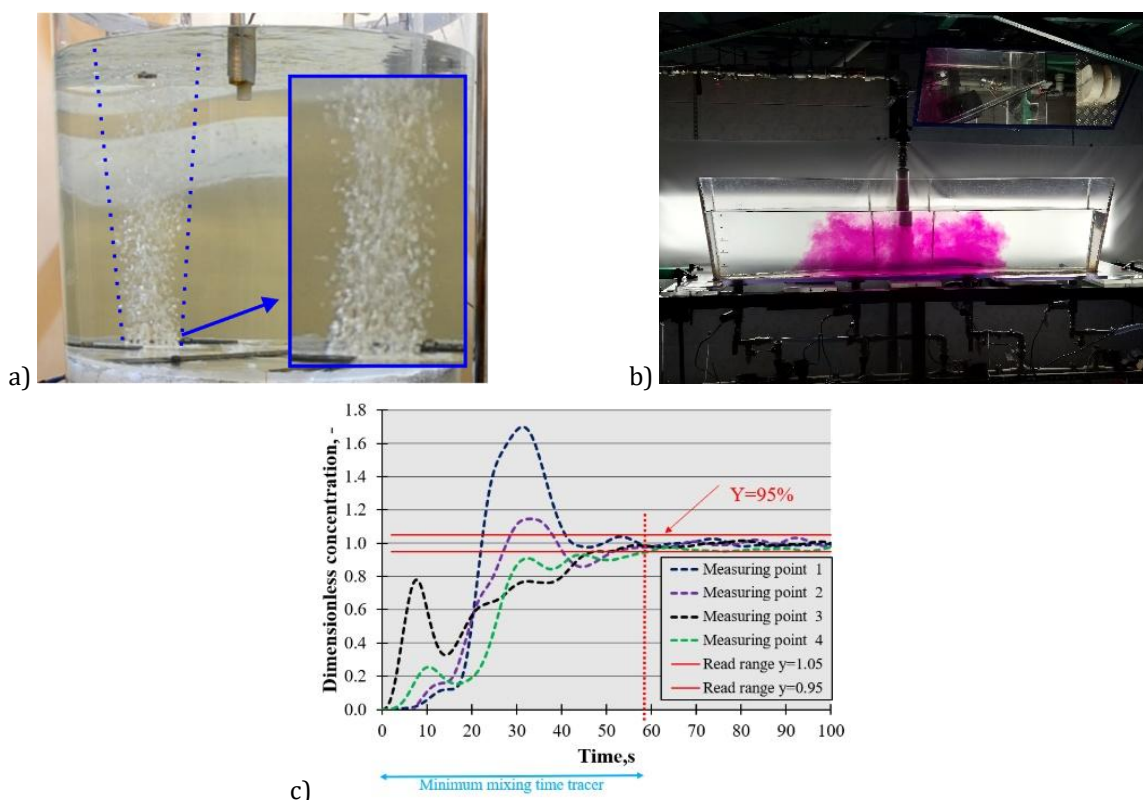
Modelling studies can be divided into two groups. Qualitative studies include visualization (introducing the  $\text{KMnO}_4$  tracer). Quantitative studies include developing mixing time characteristics (for steel ladle) and E and F RTD characteristics (for tundish).

Based on these, it is possible to obtain values of interest to the researcher, such as the tracer mixing time in the ladle, the time it takes the tracer to reach individual tundish nozzles, the extent of the transition zone, or to determine the type of flow in the tundish.

RTD curves F and E type are macromixing characteristics that provide information on the time a fraction of the liquid (substance) volume spends in the reactor, without specifying its geometric position [7, 8]. This allows for determining the device's performance. Analysis of RTD curves E type allows for the assessment of the performance of any flow device, including the flow type [9]. The following flow types are distinguished:

- *plug flow* – each element of the flowing liquid metal moves at almost the same speed, covers a comparable distance, and has a very similar residence time,
- *well mixed flow* – the tracer introduced into the bath is immediately and evenly distributed throughout the bath; this flow rate should not exceed a small volume of the bath; however, significant mixing can disrupt the continuity of the slag layer, resulting in secondary metal gasification,
- *stagnant (dead) flow* – when the tracer residence time is at least twice as long as the average residence time, the lowest possible percentage of this type of flow is desirable,
- *bypass flow* – the tracer is characterized by a very short residence time compared to the average residence time (such flow can quickly transport non-metallic inclusions in the liquid metal to the area of the outflows).

Typical examples of the research results described above are shown in **fig. 1**.



**Fig. 1** Example results obtained during model tests: a) dispersion of gas bubbles introduced through a gas-permeable plug in the ladle, b) distribution of the tracer ( $\text{KMnO}_4$ ) in the tundish, c) mixing curves plotted during argon purging

**Obr. 1** Příklad výsledků získaných během modelování metalurgických procesů: a) rozptyl bublin plynu injektovaného do lící pánve přes dmyšný element, b) distribuce trasovací látky ( $\text{KMnO}_4$ ) v mezipánvi, c) koncentrační křivky během míchání lázně oceli argonem

### 3. Characterization of the Metallurgical Process Modelling Laboratory

The establishment of the Metallurgical Process Modelling Laboratory proceeded in several stages. In the 1980s, this process culminated in the construction of a unique water-based model of an oxygen converter. The model was made of PMMA on a linear scale of 1:10 and is still in use today. Initially, measurements of the model liquid's mixing were recorded using a tracer that alternated between alkalinity and pH sensors. However, due to low accuracy and sensor contamination issues, these sensors were replaced with conductivity meters, and an aqueous NaCl solution was used as the tracer [10].

The 1980s also saw the beginning of work on modelling ladle processes. The first models of steel ladles were created to study phenomena occurring during the argon process. In the following years, this activity expanded significantly, and today the Laboratory for Modelling Metallurgical Processes houses several stations for this type of research. Due to the dynamic development of continuous steel casting methods in the Polish steel industry at the turn of the 21<sup>st</sup> century, industry interest in modelling this process increased. In 1998, construction began on the first comprehensive physical model of a continuous steel casting (CSC) machine. Given previous experience with recording phenomena occurring in a model oxygen converter using pH meters, the CSC device model incorporated an innovative solution in the form of optoelectronic sensors that recorded changes in marker concentration based on changes in its colour. This allowed for real-time results to be obtained during the experiment.

However, a drawback of this model was that it was dedicated to only one industrial device. Therefore, the next solution was a station for modelling the flow of liquid steel in the CSC device, which allowed for easy replacement of the tundish model, i.e., the main segment. During this time, tundish models were also developed for virtually all devices operating in Poland. In 2016, the Laboratory underwent a major renovation, bringing the facility into the 21<sup>st</sup> century and adapting it to ergonomics and exceptional safety.

Newly installed plumbing and electrical systems ensure safety in the event of a leak from the models installed in the laboratory. Mobile power sources were also installed, allowing for connection of necessary equipment anywhere in the laboratory. At the same time, construction began on a modern research station for modelling phenomena occurring during the continuous steel casting process. This system meets the latest requirements for such stations and is fully automated.

As a result, a modern model laboratory was established, enabling research on the full range of technologies used in steelmaking enterprises. This includes phenomena occurring during pig iron smelting in a blast furnace; phenomena occurring during steel production in a basic oxygen converter; phenomena occurring during secondary steel processing – both in a ladle furnace and in the vacuum process in a RH device; and finally, phenomena occurring during steel casting using traditional methods, particularly in a continuous casting machine. A view of the currently operating laboratory is shown in **fig. 2**.



**Fig. 2** View of the Metallurgical Process Modelling Laboratory: a) models of the oxygen converter, ladle furnace and RH device, b) models of the CSC and crystallizers

**Obr. 2** Vybavení Laboratoře modelování metalurgických procesů: a) modely kyslíkového konvertoru, lící pánve a RH zařízení, b) modely plynulého lité a krystalizátorů

## 4. Research Capabilities of the Modelling Laboratory

The Metallurgical Process Modelling Laboratory currently possesses extensive research potential. Over the years, the laboratory has conducted numerous studies as part of projects funded by the National Science Centre (NCN), the Ministry of Science and Higher Education, the National Centre for Research and Development (NCBiR), and commissioned by industry. In addition to the aforementioned completed projects financed from external sources, research is also conducted using funds allocated to the Faculty's statutory activities. Moreover, the Laboratory functions as an important teaching facility, supporting engaging and effective learning for students pursuing engineering projects, master's and doctoral theses, and professional development courses.

### 4.1 Oxygen Converter Model

**Fig. 3** illustrates the oxygen converter model together with representative test results obtained during its operation. The model supports a broad spectrum of experimental investigations and is fitted with interchangeable nozzles in the oxygen lance head, facilitating visualization of the interaction between the injected gas stream and the modelled liquid surface. Furthermore, a configurable nozzle system mounted at the bottom of the converter model allows for testing of combined blowing processes.

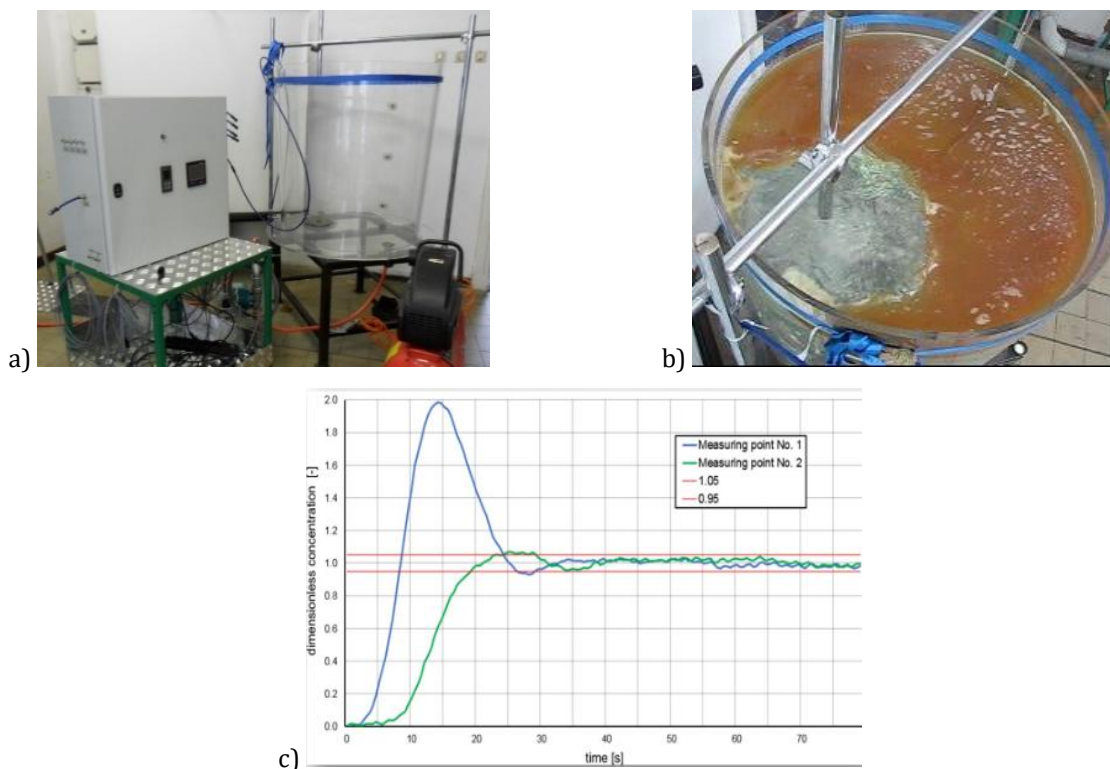


**Fig. 3** Visualization of the flow of the model liquid in the oxygen converter

**Obr. 3** Vizualizace proudění modelové kapaliny v kyslíkovém konvertoru

### 4.2 Modelling the Process of Blowing Steel with Argon in a Steel Ladle

**Fig. 4** presents a model of argon purging in a steel ladle along with sample test results obtained using this setup. The model enables a wide range of studies — from mixing and homogenization in the ladle (examining the effect of the number and arrangement of porous plugs on mixing time, the type and pattern of gas bubble flow, and the method of tracer introduction into the liquid), through investigations of gas bubble behaviour from the moment of detachment at the plug opening to their movement within the gas-liquid cone (including the frequency of bubble detachment, bubble rise velocity, and bubble dynamics within the cone), to studies of inclusion behaviour at the steel-slag interface and within the molten steel (analysing the influence of parameters such as bubble size, solid particle concentration, and inclusion size on the rate and mechanism of inclusion removal), as well as the formation of a slag eye. Furthermore, determining the mixing time under industrial conditions is challenging, as numerous processes occur simultaneously — including oxidation and deoxidation reactions, dissolution of added components, flotation of non-metallic inclusions, and temperature variations. Therefore, experimental studies using physical models are commonly employed to estimate the actual mixing time in industrial settings.

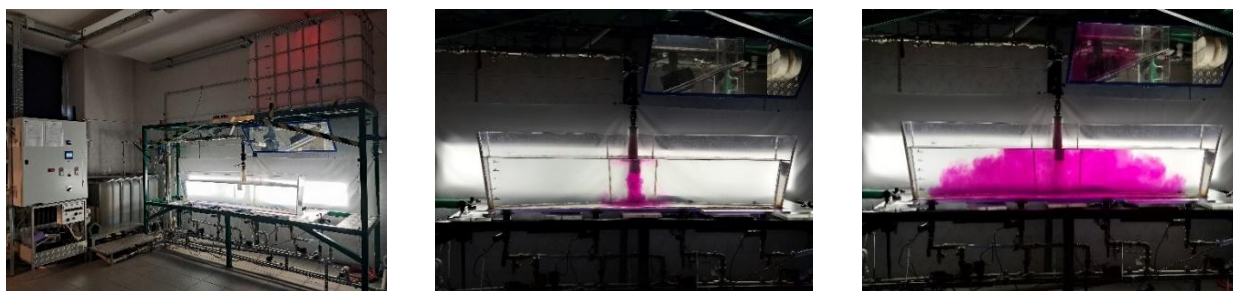


**Fig. 4** Steel ladle model: a) experimental setup for the argon purging process with control and measuring equipment, b) investigation of slag eye formation, c) example of determined mixing curves

**Obr. 4** Model lící pánve: a) sestava experimentálního modelu pro homogenizaci lázně argonem včetně řídicího a měřicího zařízení, b) výzkum oblasti struskového oka, c) příklad koncentračních křivek

### 4.3 Tundish Model

**Fig. 5** shows a view of the tundish model and sample test results obtained using it. This model enables research on: the method of mixing liquid steel in the tundish working space; estimating the extent of individual flow zones (well-mixed, plug, and dead) and selecting the appropriate proportions between well-mixed and plug flow, which affects steel purity and homogenization; selecting the appropriate type of tundish structure (turbulence inhibitors, dams, weirs, baffles) to achieve similar liquid steel inflow times to individual outlets; simulating the optimization of the transition zone size during the casting of two steel grades in a single sequence; and diagnostic testing, for example, refractory lining leaching.



**Fig. 5** A tundish model and an example study of the range of occurrence of individual flow zones (well-mixed, plug and dead) and the selection of appropriate proportions between flows

**Obr. 5** Model mezipánve a příklad studia rozsahu výskytu jednotlivých zón proudění (dokonale promíchaná, pístová a mrtvá) a výběr vhodných poměrů mezi těmito proudy

## 5. Summary

The Laboratory of Metallurgical Processes Modelling is a modern laboratory enabling research across the full range of technologies used in metallurgical enterprises. It meets the basic criteria of compactness, versatility, and mobility. It consists of a set of control and measurement devices constituting a single multifunctional control module, which allows for the installation and expansion of individual components. The laboratory is fully versatile, offering a wide range of applications for the designed control and measurement equipment. It meets the requirements of various research stations located in metallurgical furnaces, secondary furnaces, and continuous casting processes. The models can operate in isothermal and non-isothermal conditions and are characterized by mobility, meaning the entire set can be easily moved and connected to individual physical models.

## ACKNOWLEDGEMENT

*The article was created as part of the project 11/020/BK\_25/0143 - Faculty of Materials Engineering and Digitalization of Industry, Silesian University of Technology.*

*The paper was presented at the Ocelari 2025 Conference, which took place in Roznov pod Radhostem, Czech Republic, 10-11.04.2025.*

## LITERATURA

- [1] MICHAŁEK, K. Využití fyzikálního a numerického modelování pro optimalizaci metalurgických procesů. Ostrava, VŠB-TUO, 2001.
- [2] PIEPRZYCA, J., KUDLIŃSKI, Z. Modelowanie fizyczne wybranych zjawisk w procesie COS. Matematyczne i fizyczne modelowanie zjawisk w procesach technologicznych. WIMiM Politechniki Śląskiej, Katowice 2006, 21-52.
- [3] MERDER, T.: Modelowanie numeryczne i fizyczne rozkładu wtrąceń niemetalicznych podczas przepływu ciekłej stali przez każdą pośrednią urzędzenia COS, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2018.
- [4] JOWSA, J. Inżynieria procesów kadziowych w metalurgii, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2008.
- [5] MAZUMDAR, D., YAMANOGLU, G., SHANKARNARAYANAN, R., GUTHRIE, R.I.L. Similarity considerations in the physical modeling of steel making tundish systems. Steel Research. 66 (1), 1995, 14-19.
- [6] MÜLLER, L. Zastosowanie analizy wymiarowej w badaniach modeli, PWN, Warszawa 1983.
- [7] SHENG, D.Y., JONSSON, P.G. Effect of thermal buoyancy on fluid flow and residence-time distribution in a single-strand tundish, Materials, 14, 2021, p. 1-20.
- [8] YEH, J.-L., HWANG, W.-S., CHOU, C.-L.: Tree – dimensional mathematical modeling of fluid flow in slab tundishes and its verification with water model experiments, J. of Materials Engineering and Performance, 1, 1992, 625-636.
- [9] SATERNUS, M. Modelowanie fizyczne zjawisk zachodzących podczas rafinacji roztworów Fe i Al za pomocą gazów obojętnych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2020.
- [10] PIEPRZYCA, J., MERDER, T., SATERNUS, M., PANIC, B. in: Procesy metalurgii ekstrakcyjnej i odlewnictwo stopów metali: Praca zbiorowa./ Blacha L., Hordyńska M. (red.), Monografia, Politechnika Śląska, 2020, vol. 881.

## INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

### Thyssenkrupp a Salzgitter vedou napjatá jednání o prodeji podílu v HKM

11. prosince 2025

ThyssenKrupp Steel chce odejít ze společného podniku v Hüttenwerke Krupp-Mannesmann (HKM) v Duisburgu, zatímco Salzgitter usiluje stát se jeho jediným vlastníkem. Mezi oběma stranami probíhá i arbitráž kvůli nároku ve výši přibližně 1,6 miliardy EUR, což podle šéfa ThyssenKruppu Miguela Lópeze komplikace zbytečně prodlužuje. Pokud ThyssenKrupp svůj podíl prodá, zůstane i nadále aktivně zapojen do restrukturalizace, na kterou vyčlenil rezervy ve stovkách milionů EUR.

Celý článek na webu [EUROMETAL](#)

# Využití pokročilých numerických simulací pro optimalizaci plynulého lití oceli

## Use of Advanced Numerical Simulations for the Optimization of Continuous Steel Casting

Markéta Tkadlečková<sup>1</sup>, Jiří Cibulka<sup>1</sup>, Tomáš Huczala<sup>1</sup>, Martin Lasota<sup>1</sup>, Jiří Cupek<sup>1</sup>, Petr Kotas<sup>2</sup>, David Jelínek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, Staré Město 739 61 Třinec, [research@trz.cz](mailto:research@trz.cz)

<sup>2</sup> MAGMA Gießereitechnologie GmbH, org. Složka, K Vinici 1256, 530 02 Pardubice

### Abstrakt

*Virtuální pokročilé numerické simulace dnes hrají již nezastupitelnou pozici při optimalizaci metalurgických procesů. Díky poměrně široké nabídce sofistikovaných softwarových systémů lze numerické analýzy využívat jak při verifikaci dějů primární výroby, tak i dějů spojených s odléváním a tuhnutím oceli. Cílem předkládaného příspěvku je prezentace zkušeností s využíváním software MAGMASOFT® při studiu plynulého odlévání ocelových předlitků v podmínkách TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s.*

**Klíčová slova:** ocel, plynulé lití, simulace

### Abstract

*Virtual advanced numerical simulations today play an irreplaceable role in the optimization of metallurgical processes. Thanks to a wide range of sophisticated software systems, numerical analyses can be used both for verifying processes of primary steelmaking and for studying phenomena associated with casting and solidification of steel. The aim of this paper is to present the experience gained from using the MAGMASOFT® software for studying the continuous casting of steel billets under the conditions of TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.*

**Keywords:** steel, continuous casting, simulation

### 1. Plynulé odlévání oceli

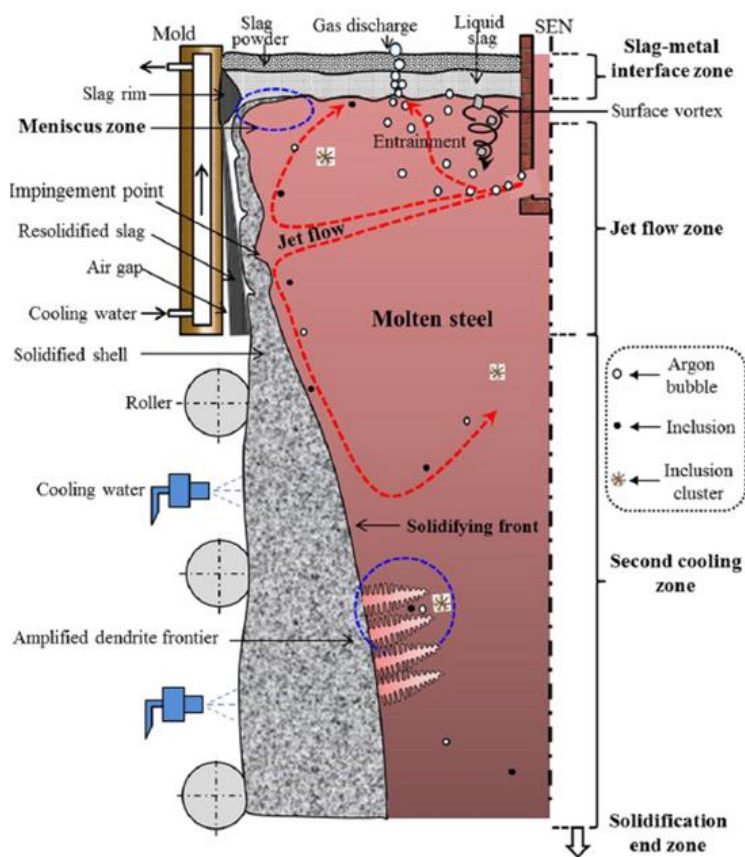
TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. provozují dvě zařízení plynulého odlévání oceli. Zařízení plynulého odlévání č.1 je blokové, pět proudé a je přizpůsobeno pro sekvenční odlévání kruhových formátů o průměru 320, 410, 470, 525 a 600 mm v délce 2,5 až 6,4 m, ale také bloků obdélníkového tvaru o rozměrech 300 x 350 mm v délce 4 až 6,5 m. Zařízení plynulého odlévání č. 2 je sochorové a umožňuje odlévání sochorů o rozměru 155 × 155 mm, v délce 10 až 12 m [1].

Během plynulého odlévání je tavenina oceli řízeně průběžně transformována na tuhý stav požadovaného rozměru a tvaru předlitku určeného k následnému tváření. Při plynulém způsobu odlévání je líc pánve s taveninou oceli umístěna na otočný líc stojan lícího zařízení. Odtud je ocel přes stínící trubici odlévána do mezipánve. Z mezipánve je ocel vedena ponornými výlevkami do oscilujících krystalizátorů (primární zóna chlazení). Pod krystalizátorem je soustava vodících a opěrných válečků (sekundární zóna chlazení) včetně chladících trysek, jež zajišťují tažení, přetváření a chlazení lícího proudu oceli [2].

Významnou úlohu při plynulém odlévání oceli sehrávají krystalizátory, které určují tvar předlitku. Krystalizátory jsou tvořeny ocelovým pláštěm a měděnou vložkou, která zajišťuje díky vysoké tepelné vodivosti rychlý odvod tepla a vznik licí kůry předlitku.

Při tuhnutí oceli vzniká mezi vnitřní stěnou krystalizátoru a licí kůrou předlitku plynová mezera, která brání intenzivnímu chlazení předlitku. Z tohoto důvodu bývá krystalizátor lehce zúžený ve své dolní části. Obvyklý úběr představuje 1 % na jeden metr délky krystalizátoru.

Vytahování předlitku z krystalizátoru je zajištěno díky oscilaci krystalizátoru, dostatečnému mazání licími prášky (které chrání i hladinu oceli v krystalizátoru před sekundární oxidací), a soustavou tažných a vodících válečků. Dnes se začíná ve větší míře prosazovat hydraulické zajištění oscilace, které umožňuje například asymetrický průběh oscilace a vede tak k redukci povrchových vad [3-7]. Schéma dějů v oblasti krystalizátoru je zachyceno na **obr. 1** [8].



**Obr. 1** Schéma dějů v oblasti krystalizátoru [8]

**Fig. 1** Schematic diagram of the processes in the mould region [8]

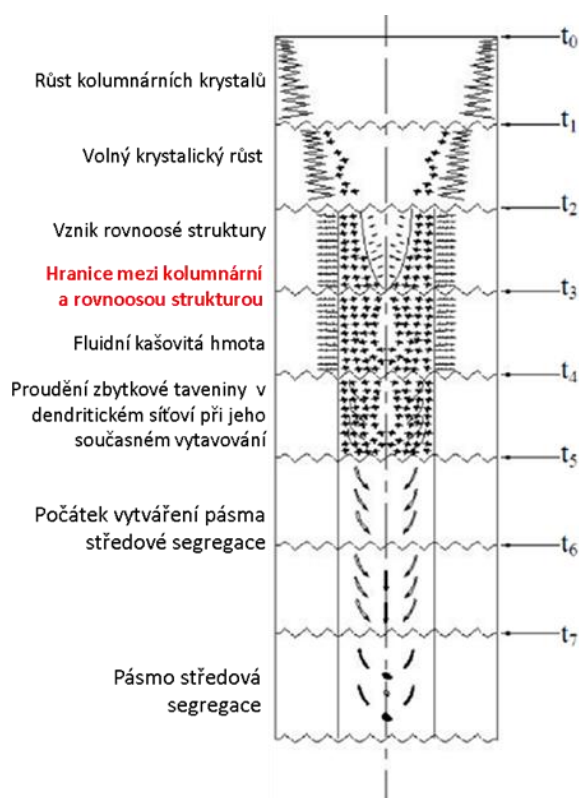
Po opuštění krystalizátoru je předlitek tedy tvořen pouze tenkou licí kůrkou s tekutým jádrem. Aby bylo zajištěno utuhnutí předlitku v celém jeho objemu ještě před jeho dělením, je předlitek v sekundární zóně ochlazován soustavou vodních ostřikových zón. Protože na předlitek s tekutým jádrem působí také ferostatický tlak spolu s gravitační silou, ale i kombinace tažných a rovnacích sil vodících a tažných válečků, je třeba zajistit takovou rychlost tažení a intenzitu chlazení, aby měla výsledná makrostruktura předlitku odpovídající kvalitu [9].

Způsob krystalizace a tuhnutí plynule litého ocelového předlitku lze také ovlivnit použitím tzv. elektromagnetického míchání tekutého jádra plynule litého předlitku. Kromě elektromagnetického míchání v oblasti v krystalizátoru (M-EMS = Mould Electromagnetic Stirrer) či sekundárního chlazení (S-EMS) se dnes prosazují i míchače v oblasti konce tzv. metalurgické délky (neboli konce tekutého jádra předlitku), tzv. F-EMS = Final Electromagnetic Stirrer). V tomto místě se také začíná poslední dobou zavádět i tzv. Dynamic Soft Reduction, neboli redukce průřezu předlitku [10-12].

Na konci sekundární zóny, kdy je předlitek tuhý v celém svém objemu, dochází k jeho dělení, např. kyslíko-palivovými hořáky. Obvykle jsou předlitky za dělícím zařízením ukládány na tzv. chladicí loži, kde dochází k dalšímu ochlazování předlitku sáláním, prouděním a vedením tepla do okolí a chladicího lože [3].

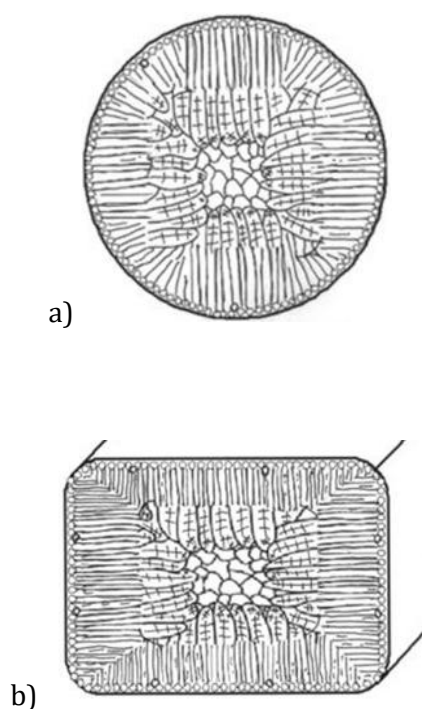
## 2. Struktura plynule litého ocelového předlitku

Růst krystalů a utváření struktury po délce předlitku je zachyceno na **obr. 2**. Typická struktura plynule litých předlitků v příčném řezu je pak schematicky zachycena na **obr. 3**. Je patrné, že primárně vzniká jemná rovnoosá struktura. Se snížením odvodu tepla se začnou vytvářet protáhlé kolumnární krystaly, které mohou dle způsobu odvodu tepla přerůstat až v dendritický růst (zejména při výrazné rychlosti ochlazování). Ve středu předlitku pak detekujeme různě orientované rovnoosé krystaly.



**Obr. 2** Schéma makrostruktury plynule litého předlitku v řezu [13, 14]

**Fig. 2** Schematic diagram of the macrostructure of a continuously cast steel billet in cross section [13, 14]



**Obr. 3** Schéma struktury plynule litých předlitků v příčném řezu pro formát a) obdélníkový, b) kruhový [15]

**Fig. 3** Schematic diagram of the cross-sectional structure of continuously cast steel billets for a) circular and b) rectangular formats [15]

Při vytváření makrostruktury plynule litého ocelového předlitku hrají velkou roli právě okrajové podmínky odlévání. Například **Sun a kol.** ve svém článku porovnával míru vlivu intenzity míchače v oblasti krystalizátoru, licí teploty a licí rychlosti na výslednou makrostrukturu. Nejvýrazněji makrostrukturu za zvolených podmínek odlévání ovlivnila intenzita míchání, kdy byl testován proud 200 A, 300 A, 400 A a 450 A. Při vyšší hodnotě proudu se zvětšil rozsah rovnoosé oblasti a současně docházelo k zmenšení velikosti zrna [16].

### 3. Metody verifikace procesu plynulého odlévání oceli

Z výčtu výše uvedených informací je zřejmé, že metalurgie oceli je složitá. V průběhu výroby a zpracování taveniny oceli dochází k řadě fyzikálně chemických jevů, z nichž některé lze v reálných podmínkách ověřovat jen omezeně nebo vůbec. Předpokladem kvalitativně stabilní výroby je pak právě správné zvládnutí nastavení okrajových podmínek technologie odlévání, respektive jejich verifikace a optimalizace. Zvláště v náročných metalurgických podmínkách dnes proto při optimalizaci postupů výroby a odlévání oceli hraje nezastupitelnou pozici tzv. metoda modelování, a to jak fyzikální, tak numerické modelování.

Numerické modelování (vytvoření numerického modelu reálného systému), nebo též numerická simulace procesů (simulace různých podmínek procesu na modelu) představuje metodu verifikace, kdy je zkoumaný systém (proces) popsán soustavou parciálních diferenciálních rovnic (PDR) doplněných i o rovnice empirické povahy a řešených numerickými metodami.

Obecně se pomocí numerických metod hledá vhodné numerické řešení (výpočet, algoritmus) PDR, tedy takové, kdy je velmi obtížné nalezení přesného analytického řešení. Každé numerické řešení je charakterizováno stabilitou algoritmu výpočtu, konvergencí a mělo by rovněž obsahovat i odhad chyby [17].

Pro uživatele by přímé řešení rovnic bylo komplikované. Aby mohla být aplikována numerická metoda, je vhodné systém proto rozčlenit na menší objemové úseky (budeme-li uvažovat o třírozměrných úlohách) a v těchto dostatečně malých podoblastech základní geometrie hledat diskrétní nebo aproximační řešení. Výsledkem řešení je hodnota hledané veličiny v diskrétním bodě tzv. výpočetní síť. Podle typu úlohy lze volit nejčastěji ze tří numerických metod, a to metody konečných diferencí (FDM), konečných objemů (FVM) a konečných prvků (FEM) [18].

Je zřejmé, že značnou nevýhodou numerického modelování je náročnost sestavování modelu a výpočtového programu (algoritmu), zejména pro komplikované systémy a děje. K řešení různých procesů z oblasti přenosu hmoty, hybnosti a energie jsou však dnes k dispozici speciální a mnohdy univerzální programové produkty, které již obsahují matematické modely proudění a tuhnutí a algoritmy jejich řešení. Jedním z těchto software je MAGMASOFT®, který je také aktuálně využíván při studiu plynulého odlévání ocelových předlitků v TRINECKÝCH ŽELEZÁRNÁCH, a.s.

### 4. Modelování plynulého odlévání oceli s využitím SW Magmasoft

MAGMASOFT® je modulární software určený pro komplexní 3D plně prostorový numerický výpočet a simulaci dynamiky proudění kovové taveniny a následné tuhnutí oceli [19]. Simulace plynulého odlévání oceli je realizována ve verzi MAGMASOFT 6.0 vybaveného modulem Continuous Casting (CC modul).

MAGMA CC, dle mota „committed to casting excellence“, poskytuje robustní řešení pro kontinuální lití oceli s důrazem na návrh procesních podmínek pro optimalizaci kvality výrobků i díky implementovanému algoritmu DOE (Design of Experiment).

Jako většina software tohoto typu uvažuje s rozdělením výpočtu do tří etap. První etapou je tvorba geometrie analyzované části procesu a definice vstupních dat, v průběhu druhé etapy probíhá vlastní výpočet a poté následuje třetí etapa s vyhodnocením výsledků.

#### 4.1 Zkušenosti s přípravou geometrie

Z pohledu uživatele nabízí SW velmi příjemné a intuitivní prostředí tvorby geometrie. Modul pro přípravu geometrie obsahuje řadu nástrojů, které tvorbu konstrukčních prvků zařízení plynulého odlévání značně usnadňují. Např. zde existuje nástroj pro přímou definici tvaru, délky a pozice analyzovaného licího proudu. V případě elektromagnetického míchače lze definovat počet vinutí.

Výpočet tuhnutí oceli tak lze, obdobně jako v případě jiných SW, realizovat buď na zjednodušené geometrii odlévaného licího proudu a okrajové podmínky definovat výběrem konkrétních ploch nebo uživatelskou funkcí.

Anebo je navíc možné v případě komplexního výpočtu, kdy cílíme i na predikci proudění v průběhu odlévání včetně elektromagnetického míchání a tuhnutí během vytahování předlitku z krystalizátoru, při tvorbě geometrie zakreslit a zhmotnit všechny důležité konstrukční prvky, které jsou zahrnuty i do výpočtu.

Vytvoření podstatných funkčních i procesních částí zařízení plynulého odlévání oceli, jež ovlivňují způsob tuhnutí předlitku, je výhodné nejen pro lepší prostorovou představu při analýze a prezentaci výsledků procesu, ale i z důvodu zpřesnění definice parametrů výpočtu.

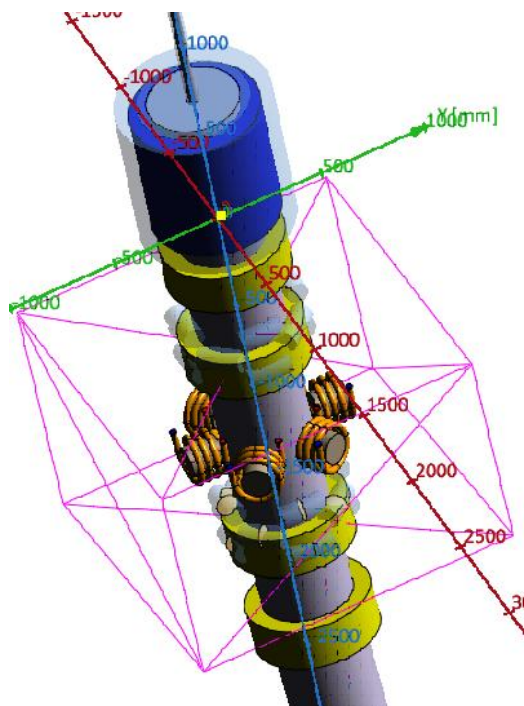
Základní geometrii tak tvoří nejen základní licí proud, ale např. i krystalizátor, chlazení krystalizátoru, výlevka, elektromagnetický míchač, konec startovací tyče, ostřikové oblasti či vodící, tažné a rovnací válečky. Příklad geometrie 3D modelu plynule odlévaného předlitku s vybranými konstrukčními prvky zařízení plynulého odlévání oceli je uveden níže na **obr. 4**.

#### 4.2 Zkušenosti s přípravou výpočetní sítě

Výpočetní síť je tvořena elementy konečných diferencí. Jedná se tedy o pravoúhlou síť, která popisuje jednotlivé konstrukční části pravoúhlými hexaedry (šestistěny). Při tvorbě výpočetní sítě je proto důležité promyslet, které konstrukční prvky jsou nejdůležitější a vyžadují zjemnění a naopak, které lze, řekněme, zvolit větší. Pro simulace plynulého lití včetně zachycení odlévání je důležité jemně vysítovat vstup (výlevku).

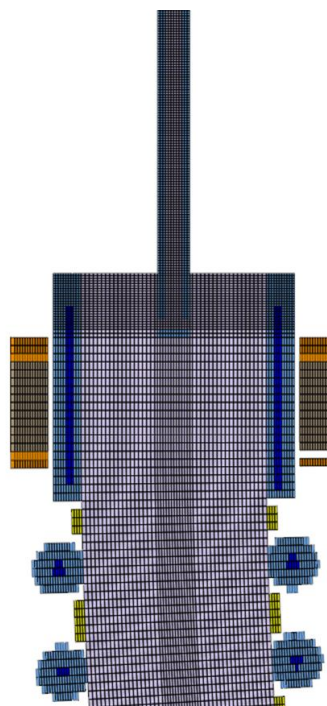
Aby byl dobře zachycen i přestup tepla mezi chlazenými válečky, ostřikovými zónami a licím proudem, je třeba zvážit i velikost výpočetních buněk těchto komponentů a ověřit velikost dotykových ploch. Z tohoto důvodu je důležité rozdělit jednotlivé konstrukční prvky ZPO do tzv. skupin.

Při přípravě jednotlivých skupin, které se liší velikostí výpočetních buněk, je také důležité pořadí jednotlivých komponent. Nejdůležitější komponenta je na konci seznamu, a „důležitost“ se směrem nahoru „snižuje“. Ukázka detailu výpočetní sítě modelu ZPO v řezu je uvedena na **obr. 5**.



Obr. 4 Příklad 3D geometrie vybrané části ZPO

Fig. 4 Example of 3D geometry of selected part of CCM



Obr. 5 Ukázka detailu výpočetní sítě v řezu

Fig. 5 Example of a computational mesh in cross section

#### 4.3 Definice parametrů výpočtu

Jakmile je hotova geometrie a výpočetní síť modelu pro simulaci procesu plynulého odlévání oceli, je třeba definovat parametry výpočtu. Pokud je geometrie a síť vytvořena správně, software automaticky předpřipraví platformu pro zadávání všech relevantních veličin a kontroluje i vzájemnou provázanost hodnot veličin či matematických funkcí, jimiž je hodnota počítána. V případě nesouladu definice veličiny se objeví v příkazovém řádku varování i se stručným popisem problému. Protože parametrů, které je potřeba stanovit, je velké množství, je tato automatická kontrola velkým pomocníkem.

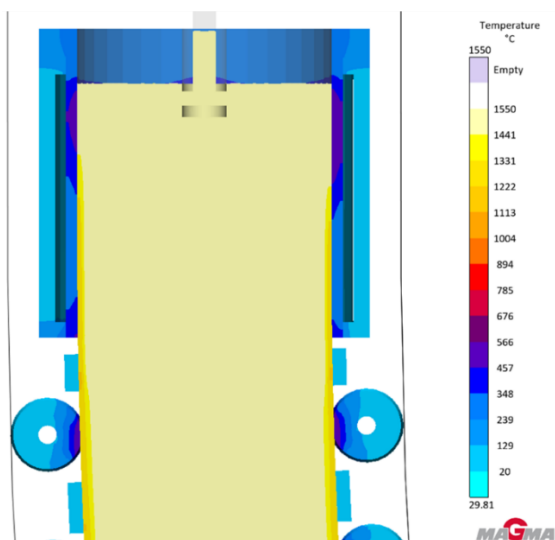
Mezi nezbytné parametry modelu obvykle patří:

- termodynamické a termo-fyzikální vlastnosti materiálů komponent modelu
- přestupy/odvody tepla na rozhraní krystalizátor – předlitek, předlitek – ostříky, předlitek – válečky, chlazení krystalizátoru, chlazení válečků
- okrajové podmínky, jako je lící teplota a lící rychlost
- operační podmínky (gravitace, operační tlak, teplota okolí atd.)

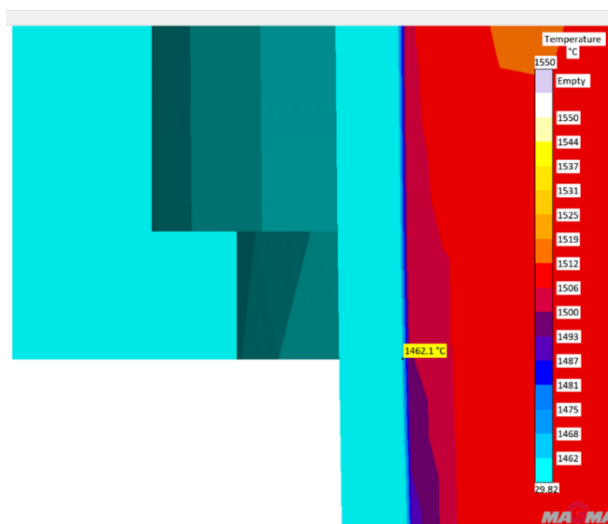
Termofyzikální vlastnosti konkrétních kovových materiálů lze do SW importovat z výpočtu v SW JatMatPro. Nicméně SW MAGMASOFT disponuje už i tak základní rozsáhlou nejen materiálovou databází, ale i databází funkcí např. pro výpočet přestupu tepla. Také okrajové podmínky, jako je např. lící rychlost, je možné definovat jako časově závislou proměnnou a nikoli jen jako konstantu. Variabilita definice parametrů výpočtu je tak široká, ale je třeba mít na paměti, že volba způsobu definice způsobu výpočtu parametrů už závisí především na zkušenostech a znalostech uživatele.

## 5. Výsledky výpočtu

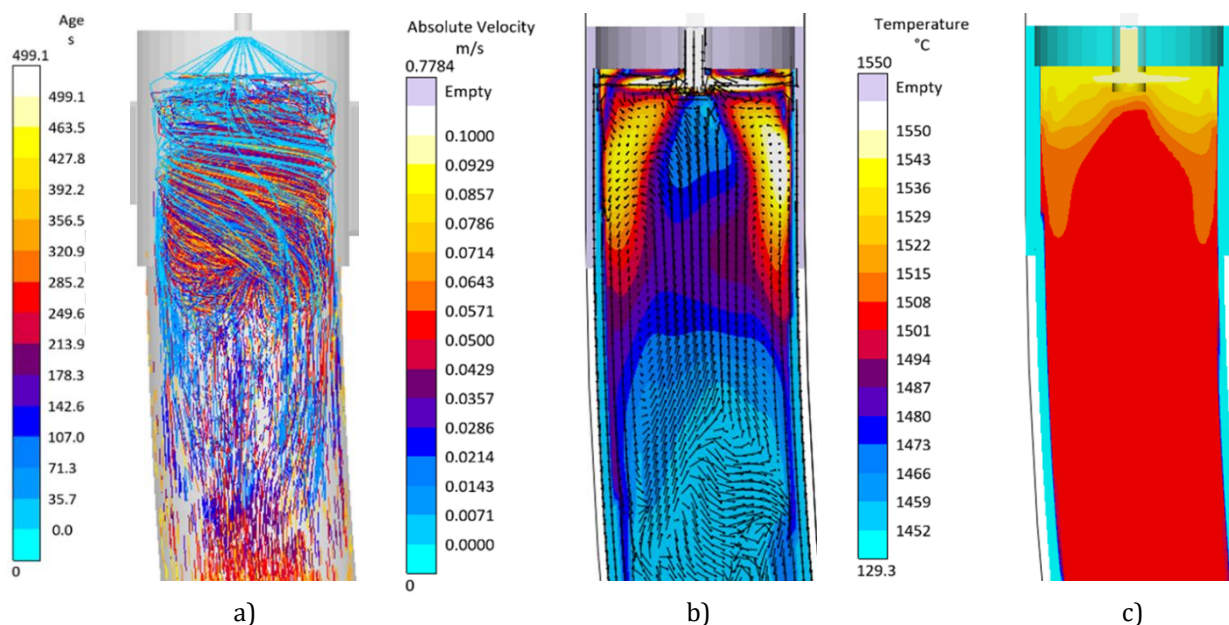
Numerickou simulací je získávána informace o rozložení rychlostního a teplotního pole po délce plynule litého předlitku, charakteru proudění při použití různých typů ponorných výlevek a elektromagnetického míchání, tloušťce licí kůry na konci krystalizátoru, metalurgické délce, ale také napěťových stavech, které mohou ovlivňovat konečnou kvalitu plynule odléváných ocelových předlitků. Příklady výsledků jsou uvedeny na **obr. 6 a obr. 7**.



**Obr. 6** Vlevo: Příklad teplotního pole v oblasti krystalizátoru, Vpravo: Ukázka stanovení tloušťky licí kůry na konci krystalizátoru



**Fig. 6** Left: Example of temperature field in the mould area, Right: Example of determining the thickness of the casting shell at the end of the mould



**Obr. 7** Ukázka výsledků simulací dějů v oblasti krystalizátoru a) proudění při použití M-EMS b) profil rychlosti v řezu středem výlevky c) profil teplotního pole v řezu středem výlevky

**Fig. 7** Example of simulation results in the mould area a) steel flow when using M-EMS b) velocity profile in a section through the centre of the nozzle c) temperature field profile in a cross section through the SEN

## 6. Závěr

Předkládaný příspěvek stručně shrnuje poznatky autorů s využíváním software MAGMASOFT® při studiu plynulého odlévání ocelových předlitků v podmínkách TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s. Výsledky simulací jsou kontrolovány v provozních podmínkách např. pomocí termovizního měření či makrolepty příčných řezů, kde je možné odečítat šířku krystalizačních pásem v závislosti na změně intenzity chlazení. Díky komplexnímu výzkumu a hodnocení procesu plynulého odlévání oceli se daří v podmínkách TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s. optimalizovat podmínky výroby oceli a udržet tak trvale kvalitní výrobu.

## PODĚKOVÁNÍ

*Příspěvek byl vypracován za podpory projektu TŽ - TT/TTw/2/TVP-507.*

## LITERATURA

- [1] © TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY – MORAVIA STEEL. *Polotovary*. Online. [2024]. Dostupné z: <https://www.trz.cz/produkty/polotovary/>. [citováno 2024-04-12].
- [2] TKADLEČKOVÁ, M.: *Numerické modelování metalurgických procesů*. Habilitační práce. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Katedra metalurgie a slévárenství, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2013.
- [3] DOLEJŠÍ, Zdeněk. *Plynulé odlévání oceli: tepelné technické poměry při plynulém odlévání oceli*. Poradenská příručka, č. 42. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [4] DOLEJŠÍ, Zdeněk. *Plynulé odlévání oceli*. 2. díl, Nové systémy v technologii plynulého odlévání oceli. Poradenská příručka, č. 42/2. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988.
- [5] BÖHM, Zdeněk. *Plynulé odlévání oceli*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992. ISBN 80-03-00661-9.
- [6] BHATTACHARY, A. K.; DEBJANI, S.; ROYCHOWDHURY, A.; DAS, J. Optimization of Continuous Casting Mould Oscillation Parameters in Steel Manufacturing Process Using Genetic Algorithms. In: *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*. New York City, USA: IEEE, 2007, pp. 3998-4004. ISBN 14-244-1339-7.
- [7] CIBULKA, J.; PINDOR, L.; CUPEK, J.; KUFA, J.; KAWA, F. První zkušenosti s provozováním hydraulické oscilace na sochorovém zařízení plynulého odlévání v TŽ, a. s. In: *Iron and Steelmaking*. Horní Bečva, Česká republika, 2011.
- [8] LIU, Z., LI, B. Effect of vertical length on asymmetric flow and inclusion transport in vertical-bending continuous caster. Online. *Powder Technology*. 2018, vol. 33, pp. 403-415. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.10.034>. [citováno 2024-04-12].
- [9] PŘÍHODA, M.; BAŽAN, J.; DOBROVSKÁ, J.; JELÍNEK, P.; JONŠTA, Z.; VROŽINA, M. *Nové poznatky z výzkumu plynulého odlévání oceli*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2001. ISBN 80-248-0037-3.
- [10] CUPEK, J.: *Vliv technologických parametrů plynulého odlévání oceli na makro a mikrostrukturu ocelí určených ke kování*. Disertační práce. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2017.
- [11] BRIDGE, M. R.; ROGERS, G. D.: Structural effects and band segregate formation during the electromagnetic stirring of strand-cast steel. *Metallurgical and Materials Transactions*. 1984, vol. 15, no. 3, pp. 581-589. ISSN 1073-5615.
- [12] DOMANSKI, D.; KIM, K. S. et al.: Optimized electromagnetic stirring for continuous casting of steel billets and blooms. *SEAIQ Quarterly Journal*. 2010, vol. 39, no. 2, pp. 46-52. ISSN 0129-5721.
- [13] HOU, Z.; CHENG, G.: Characteristics and a novel quantitative model of macrosegregation in continuously cast high-carbon billets. In: *AISTech Proceedings*. Atlanta, 2012, pp. 1229-1238. ISBN 978-1-935117-24-7.
- [14] CIBULKA, J.: *Studium tvorby segregací v podmínkách sochorového zařízení plynulého odlévání oceli*. Disertační práce. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2015.
- [15] Yang, X. G.; Xu, Q. T.; Wu, C. L.; Chen, Y. S. (2017). Experimental study of the continuous casting slab solidification microstructure by the dendrite etching method. Online. *Materials Science and Engineering(283)*. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/283/1/012017>. [citováno 2024-04-12].
- [16] Sun, T.; Yue, F.; Wu, H.-J.; Guo, C.; Li, Y.; Ma, Z.-C. (2016). Solidification Structure of Continuous Casting Large Round Billets under Mold Electromagnetic Stirring. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 23(4).
- [17] KOZUBKOVÁ, M.; DRÁBKOVÁ, S. Numerické modelování proudění - FLUENT I. Online. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2003. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/>. [citováno 2024-04-12].
- [18] TKADLEČKOVÁ, M.; MICHALEK, K.; SVIŽELOVÁ, J.; WALEK, J.; STROUHALOVÁ, M. Termodynamické, termochemické a numerické výpočty v metalurgii a jejich využití při optimalizaci technologie výroby oceli. In: *Oceláři: 35. ročník konference o teorii a praxi výroby a zpracování oceli: sborník konference: 4.-5. 4. 2019, Rožnov p. Radhoštěm, Česká republika*. CD-ROM. Ostrava: TANGER spol. s r.o., 2019, s. 93-100, ISBN 978-80-87294-90-1.
- [19] MAGMA Gießereitechnologie GmbH. *Modul CC*, software MAGMASOFT. Dostupné z: <https://www.magma-soft.de/cs/reseni/continuous-casting/stranguss-steel/>. [citováno 2024-04-12]

## CFD simulace odstraňování nekovových vměstků při proudění za různých výšek hladiny oceli v mezipánvi

### CFD Simulation of Non-Metallic Inclusion Removal during Flow at Different Steel Levels in the Tundish

Jiří Cupek jr.<sup>1,2</sup>, Markéta Tkadlečková<sup>1</sup>, Jiří Cibulka<sup>1</sup>, Tomáš Huczala<sup>1</sup>, Petr Klus<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, Třinec. E-mail: [jiri.cupek2@trz.cz](mailto:jiri.cupek2@trz.cz)

<sup>2</sup> VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, Katedra metalurgických technologií, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba

#### Abstrakt

*Příspěvek se zabývá analýzou proudění a distribucí nekovových vměstků v mezipánvi během nestacionárních podmínek, které vznikají při výměně licích pánví, při plynulém odlévání oceli. V tomto období dochází k poklesu hladiny oceli, což snižuje ferostatický tlak a zpomaluje přítok oceli do mezipánve a krystalizátorů. Následné doplnění mezipánve je doprovázeno neizotermickým prouděním (je přiváděna ocel s vyšší teplotou než ta, která se již v mezipánvi nachází), což vytváří kladný teplotní rozdíl. Vyšší teplota na vstupu ovlivňuje charakter proudění, podporuje odstraňování vměstků, snižuje náchylnost ke zkratovému proudění a zvyšuje podíl pístového objemu taveniny.*

*Pokles hladiny zároveň podstatně mění tvar proudového pole, zvyšuje náchylnost ke zkratovému proudění a negativně ovlivňuje retenční časy mezi jednotlivými licími proudy. Také může přispět ke stržení strusky do oceli. Příspěvek se proto zabývá hodnocením vlivu různých výšek hladiny oceli v mezipánvi na proudění a distribuci nekovových vměstků v těchto podmínkách. Pro numerické simulace byl použit software ANSYS Fluent. Výsledky byly hodnoceny především na základě retenčních časů a modelu DPM (Discrete Phase Model).*

**Klíčová slova:** ocel; výška hladiny oceli; ANSYS Fluent; nekovové vměstky; mezipánve

#### Abstract

*The paper deals with the analysis of flow behaviour and the distribution of non-metallic inclusions in the tundish during non-steady casting conditions that arise when ladles are being changed in continuous steel casting. During this period, the steel level decreases, which reduces the ferrostatic pressure and slows down the inflow of steel into the tundish and moulds. Subsequent refilling of the tundish is accompanied by non-isothermal flow (steel with a higher temperature than that already present in the tundish is supplied), creating a positive temperature difference. The higher inlet temperature affects the flow pattern, promotes inclusion removal, reduces the tendency to short-circuit flow, and increases the plug volume of the melt.*

*The drop in the steel level also significantly alters the flow field, increases the tendency to short-circuit flow, and affects residence times between individual casting strands. It may also contribute to slag entrainment into the steel. Therefore, this paper focuses on evaluating the influence of different steel levels in the tundish on flow behaviour and the distribution of non-metallic inclusions under these conditions. ANSYS Fluent software was used for numerical simulations. The results were evaluated mainly on the basis of RTD analysis (residence time distribution) and the DPM model (Discrete Phase Model).*

**Key words:** steel; steel level height; ANSYS Fluent; non-metallic inclusions; tundish

## 1. Úvod

Mezipánve představuje klíčový prvek plynulého odlévání oceli. Jeho hlavní funkcí je tvořit zásobník tekuté oceli a současně rozdělovat ocel mezi jednotlivé lící proudy. Mezipánve významně ovlivňuje výslednou kvalitu odlévané oceli, zejména obsah nekovových vměstků nebo homogenitu oceli [1-3].

Jedním z hlavních úkolů mezipánve je zajištění čistoty oceli. Metalografická čistota je definována obsahem nekovových vměstků v oceli, jejich velikostí a množstvím. Nekovové vměstky se obecně klasifikují podle několika kritérií, především podle jejich chemického složení, původu a velikosti. Základní dělení však vychází z jejich původu, a to na:

- *Exogenní vměstky* – vznikají při reoxidaci oceli, například při kontaktu taveniny se vzduchem nebo oxidující struskou. Dalším zdrojem je stržení strusky nebo vyzdívky do taveniny. Tyto vměstky mají obvykle větší velikost a obtížně se odstraňují.
- *Endogenní vměstky* – vznikají v pánvi reakcí mezi kyslíkem rozpuštěným v tavenině a dezoxidačním prvkem, jako je hliník nebo křemík, přidaným do oceli. Tyto vměstky jsou obvykle malé, a proto nemusí významně ovlivnit vlastnosti oceli, pokud nedojde k jejich shlukování.

Nekovové vměstky mohou výrazně zhoršit mechanické vlastnosti oceli a způsobovat vady v produktech. V mezipánvi dochází k flotaci vměstků a tím, ke snížení jejich množství v tavenině. Použití modifikátorů proudění jako jsou přepážky nebo porézní tvárnice pro dmýchání argonu může účinnost odstraňování vměstku nadále zvýšit [1-3].

Teplota je dalším klíčovým faktorem ovlivňující kvalitu odlévané oceli. Udržení vhodné teploty a požadovaného přehřátí je nezbytné pro minimalizaci defektů. Stabilní teplotní podmínky jsou žádoucí pro dosažení vysoké kvality výroby [3-5].

Výkonnost mezipánve dále souvisí s hydrodynamickým chováním tekuté oceli. Charakter proudění je ovlivněn konstrukcí nebo použitými prvky řízení toku. Tyto prvky zásadně určují účinnost odstraňování vměstků i míru teplotní a chemické homogenizace.

Rovněž změna výšky hladiny oceli (zejména její pokles) v mezipánvi může mít několik zásadních dopadů na proces plynulého odlévání:

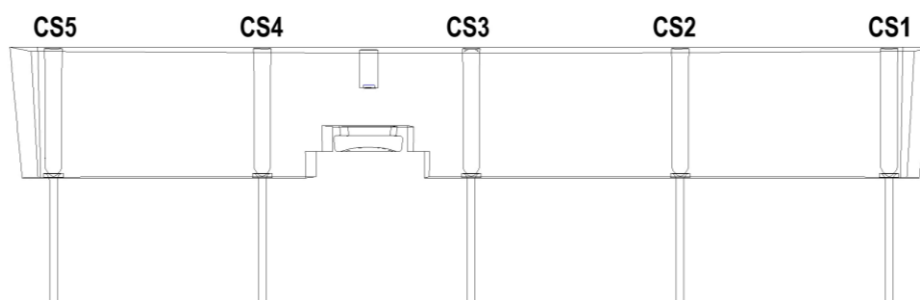
- Pokles hladiny snižuje ferostatický tlak, což způsobuje nestabilní přítok oceli do krystalizátorů. Tento nestabilní tok může vést k nepravidelné krystalizaci a vzniku povrchových vad, jako jsou trhliny. Nižší hladina oceli také zvyšuje kontakt taveniny s atmosférou, což podporuje povrchovou oxidaci a následnou tvorbu oxidických vměstků, které dále snižují kvalitu oceli.
- Dalším důsledkem poklesu hladiny je zkrácení retenčního času oceli v mezipánvi, což vede k nerovnoměrnému rozložení teploty a neoptimálním podmínkám odlévání. Tím může být negativně ovlivněna homogenita i mechanické vlastnosti odlévané oceli. Navíc při nižších hladinách roste riziko nasávání plynů a strhávání vměstků do proudu oceli, což způsobuje další vady.
- Při výrazně nízké hladině může dojít až k přerušování odlévání, což vede k prostojům a zvýšeným nákladům. Z těchto důvodů je nezbytné pečlivě řídit výšku hladiny oceli v mezipánvi, aby byla zajištěna stabilita procesu, optimální teplotní podmínky a vysoká kvalita konečného produktu.

Pro analýzy proudění oceli v mezipánvi se mohou použít nástroje numerického modelování a mezi nejčastěji využívané metody patří tzv. CFD simulace (Computational Fluid Dynamics). Při numerickém modelování je skutečné provozní zařízení nahrazeno matematickým modelem. V modelu je možné pomocí parciálních diferenciálních rovnic popsat například přestup tepla, proudění kapalin a plynů či chemické reakce. Jednotlivé děje jsou v matematickém modelu vyjádřeny jako funkce času. Pro systém diferenciálních rovnic se následně hledá řešení ve výpočetní síti. Rovnice jsou řešeny samostatně v každé buňce této sítě. S jemností sítě a rostoucí přesností modelu se také zvyšuje počet řešených rovnic. Proudění kapalin zde představuje zásadní proces, protože ovlivňuje průběh chemických reakcí, odstraňování nekovových vměstků i homogenizaci oceli. Nalezení vhodného konstrukčního řešení pomocí numerického modelování může významně intenzifikovat proudění a odstraňování vměstků [1-7]. Výsledky numerických simulací je vhodné dále verifikovat pomocí metod fyzikálního modelování a také provozními experimenty.

Pro optimalizaci provozu je nutné zajistit ideální proudění oceli v mezipánvi, použitím dříve zmíněných přepážek, poréznic tvárnic nebo dopadového místa. Mezipánev představuje poslední metalurgický prvek ve kterém je ještě možné ovlivnit výslednou kvalitu a čistotu odlévané oceli, a proto je její optimalizace nezbytná. Přímé sledování proudění oceli v provozní mezipánvi je obtížné, a proto se využívá kombinace numerického a fyzikálního modelování. Tento příspěvek se soustředí na numerické modelování a jedná se o děj, při kterém je provozní zařízení nahrazeno matematickým modelem, jenž je popsán soustavou parciálních diferenciálních rovnic [1-7].

## 2. Použitá metodika

Veškeré simulace a přípravy na simulace probíhaly v softwarovém prostředí ANSYS 2022 R2. Prostředí ANSYS zahrnuje software ANSYS Fluent, ve kterém byly řešeny CFD simulace. 3D geometrie pětiproudé mezipánve byla vytvořena v CAD systému ANSYS DesignModeler. Pro numerické simulace byla vytvořena pouze vnitřní geometrie mezipánve. Schématické zobrazení vytvořené geometrie s popsánými licími proudy (CS1-CS5) je zobrazeno na **obr. 1**.



**Obr. 1** Geometrie pětiproudé mezipánve

**Fig. 1** Geometry of a five-strand tundish

V **tab. 1** jsou zobrazené nastavené okrajové podmínky pro numerické modelování. Pro řešení numerické simulace byla použita metoda konečných objemů, jako materiál proudění byla nastavená ocel s definovaným přestupem tepla přes stěny mezipánve a hladinu oceli. Standardní výška hladiny oceli v mezipánvi je 925 mm (konfigurace A). V této publikaci byl zkoumán pokles hladiny na úrovně: 875, 825, 775 a 725 mm (konfigurace B-E).

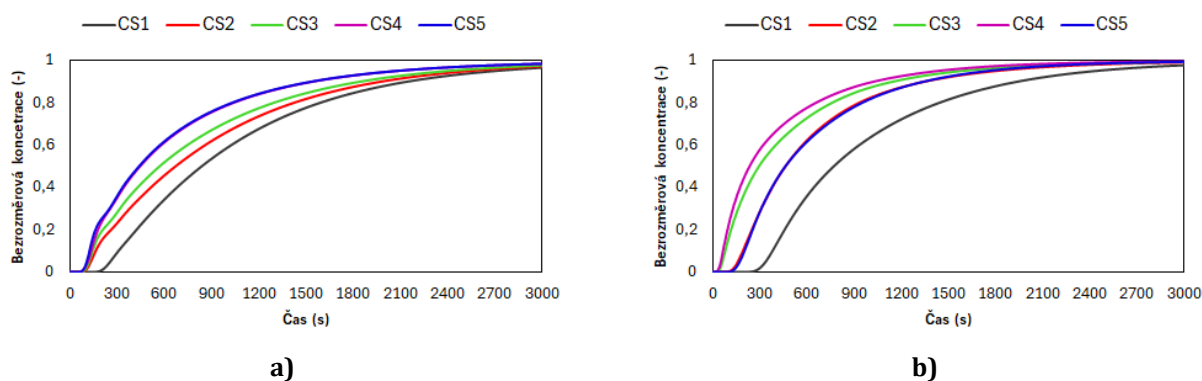
**Tab. 1** Okrajové podmínky pro numerické simulace

**Tab. 1** Boundary conditions for numerical simulations

| Parametr                                                             | Hodnota |
|----------------------------------------------------------------------|---------|
| Objemový průtok ( $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )                | 6,62    |
| Licí teplota                                                         | 1 500   |
| Gravitace ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )                         | -9,81   |
| Provozní tlak (Pa)                                                   | 101 325 |
| Ztráta tepla přes hladinu ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )         | 15 000  |
| Ztráta tepla přes stěny mezipánve ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) | 2 500   |

### 3. Výsledky a diskuze

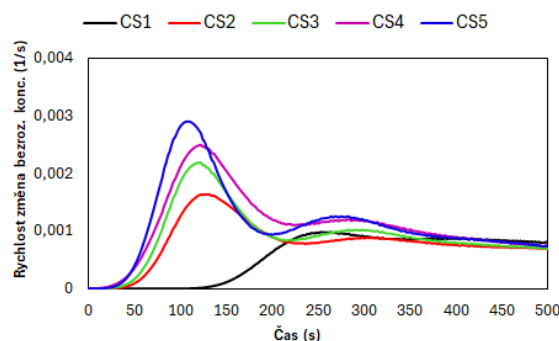
Hlavním výsledkem je analýza retenčních časů. Retenční čas je doba, která popisuje, jak dlouho stráví jednotlivý element taveniny v mezipánvi. Retenční čas je zásadní pro další optimalizaci proudění. Výsledky RTD analýzy jsou zobrazeny na **obr. 2**. Pro stanovení retenčních křivek byl použit model species. Na **obr. 2** jsou srovnány konfigurace A a E.



**Obr. 2** RTD F analýza: a) A - 925; b) E - 725

**Fig. 2** RTD F analysis: a) A - 925; b) E - 725

Získané křivky (**obr. 2**) byly derivovány a byly z nich stanoveny křivky, které odpovídají Diracovu impulsu (C křivka). Na **obr. 3** je uveden příklad C křivky pro konfiguraci A - 925. Z křivky byly odečteny minimální (doba od vstupu po první detekci na výstupu) a maximální (doba od vstupu po detekování maximální koncentrace) retenční čas. Hodnoty všech retenčních časů z C křivek jsou uvedeny v **tab. 2**.



**Obr. 3** RTD C analýza: A - 925

**Fig. 3** RTD C analysis: A - 925

**Tab. 2** Minimální a maximální retenční časy všech konfigurací

**Tab. 2** Minimum and maximum retention times for all configurations

| Konfigurace    | Minimální retenční čas (s) - $\tau_{\min}$ |     |     |     |     | Maximální retenční čas (s) - $\tau_{\max}$ |     |     |     |     |
|----------------|--------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                | CS1                                        | CS2 | CS3 | CS4 | CS5 | CS1                                        | CS2 | CS3 | CS4 | CS5 |
| <b>A - 925</b> | 208                                        | 96  | 88  | 78  | 78  | 250                                        | 128 | 120 | 122 | 108 |
| <b>B - 875</b> | 216                                        | 100 | 74  | 72  | 80  | 270                                        | 134 | 110 | 118 | 116 |
| <b>C - 825</b> | 402                                        | 104 | 68  | 58  | 110 | 634                                        | 158 | 122 | 106 | 177 |
| <b>D - 775</b> | 390                                        | 102 | 50  | 40  | 94  | 616                                        | 224 | 98  | 72  | 138 |
| <b>E - 725</b> | 290                                        | 118 | 34  | 26  | 130 | 396                                        | 180 | 60  | 52  | 210 |

Jelikož retenční čas na nejbližších licích prouděch (CS3 a CS4) má největší vliv na kvalitu oceli a jsou nejvíce náchylné na zkratové proudění, byly vyhodnoceny retenční časy právě na těchto licích prouděch.

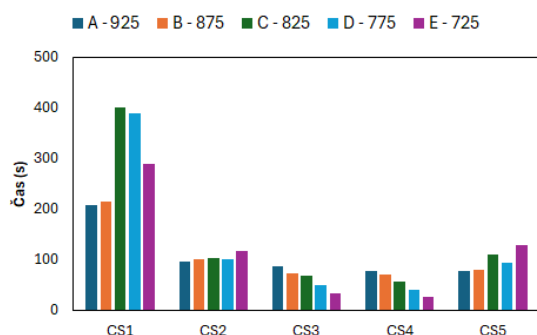
**Tab. 3** uvádí průměrné retenční časy na všech licích prouděch a průměrné retenční časy licích proudů CS3 a CS4. Je patrné, že dochází k souvislému poklesu retenčních časů na nejbližších licích prouděch. Z výsledku je zřejmé, že při nižší hladině v mezipánvi ocel téměř okamžitě mezipánvev opouští bez potřebné homogenizace.

**Tab. 3** Minimální a maximální retenční časy všech konfigurací

**Tab. 3** Minimum and maximum retention times for all configurations

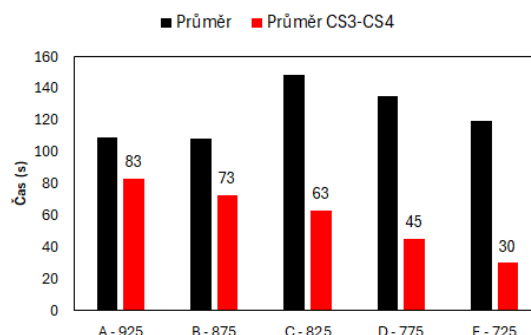
| Konfigurace    | $\tau_{\min}$ (s) |                | $\tau_{\max}$ (s) |                |
|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
|                | Průměr            | Průměr CS3-CS4 | Průměr            | Průměr CS3-CS4 |
| <b>A - 925</b> | 110               | 83             | 146               | 121            |
| <b>B - 875</b> | 108               | 73             | 150               | 114            |
| <b>C - 825</b> | 148               | 63             | 239               | 114            |
| <b>D - 775</b> | 135               | 45             | 230               | 85             |
| <b>E - 725</b> | 120               | 30             | 180               | 56             |

Obdobné výsledky lze pozorovat i z **obr. 4**, kde jsou zobrazeny všechny licí proudy pro všechny konfigurace. Zejména je patrný pravidelný pokles retenčního času na licích prouděch CS3 a CS4 a výrazné zvýšení retenčního času na nejvzdálenějším licím proudě CS1, což dokládá značnou heterogenitu proudění. Na **obr. 5** je vidět, že i když průměrný retenční čas roste (zejména vlivem odchylky CS1), retenční časy na nejbližších licích prouděch CS3 a CS4 stále klesají, což představuje negativní vliv na kvalitu procesu.



**Obr. 4** Minimální retenční časy pro všechny konfigurace

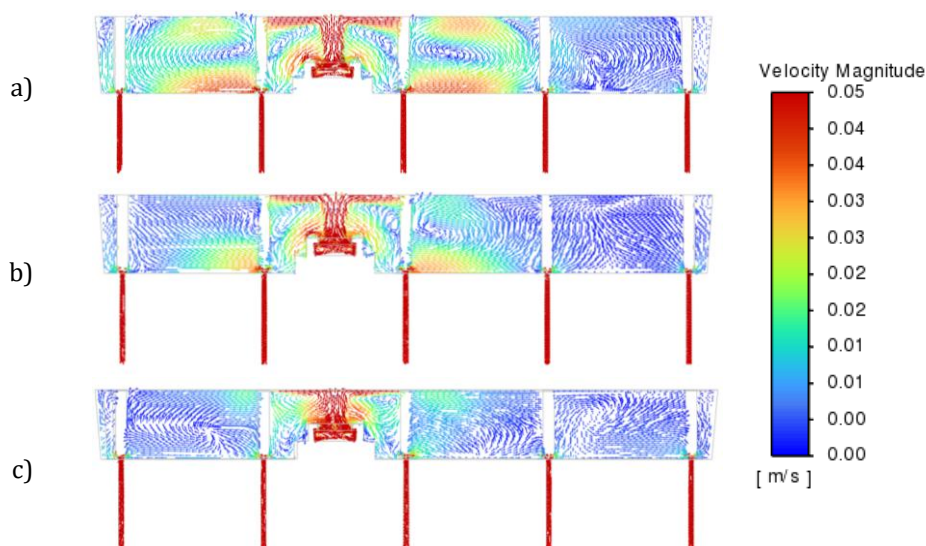
**Fig. 4** Minimum retention times for all configurations



**Obr. 5** Min. průměr. retenční časy pro všechny konfigurace

**Fig. 5** Min. average retention times for all configurations

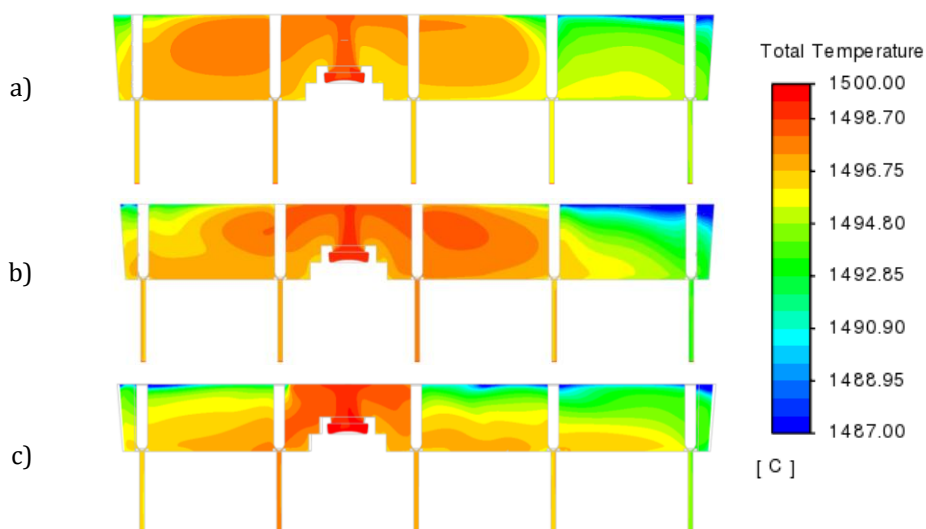
Na **obr. 6** jsou zobrazena proudová pole pomocí vektorů rychlosti. Největší oblasti aktivního proudění jsou patrná při zaplnění mezipánve na standardní provozní hladinu (**obr. 6a**), kdy lze pozorovat rozsáhlé oblasti cirkulace taveniny. Tyto oblasti podporují intenzivní promíchávání oceli, čímž přispívají k lepší teplotní homogenizaci i flotaci vměstků. S klesající hladinou oceli se však charakter proudění výrazně mění a začíná převažovat zkratové proudění. V nejnižší konfiguraci (**obr. 6c**) je aktivní objem zmenšený, což vede ke snížení promíchávání a vysokému riziku heterogenity teploty i strhávání vměstků do licích proudů.



**Obr. 6** Vektory proudění v mezipánvi: a) A - 925; b) C - 825; c) E - 725

**Fig. 6** Flow vectors in the tundish: a) A - 925; b) C - 825; c) E - 725

Podobné výsledky jsou zřejmé i z **obr. 7**, kde jsou zobrazena teplotní pole. Při plné hladině lze rozlišit dvě výrazné cirkulační oblasti. S poklesem hladiny se však tyto oblasti výrazně zmenšují, což opět vede ke zkratovému proudění a ke zhoršení teplotní homogenizace. To poukazuje na nutnost udržování standardní hladiny v mezipánvi, které je klíčové pro dosažení stability odlévání.

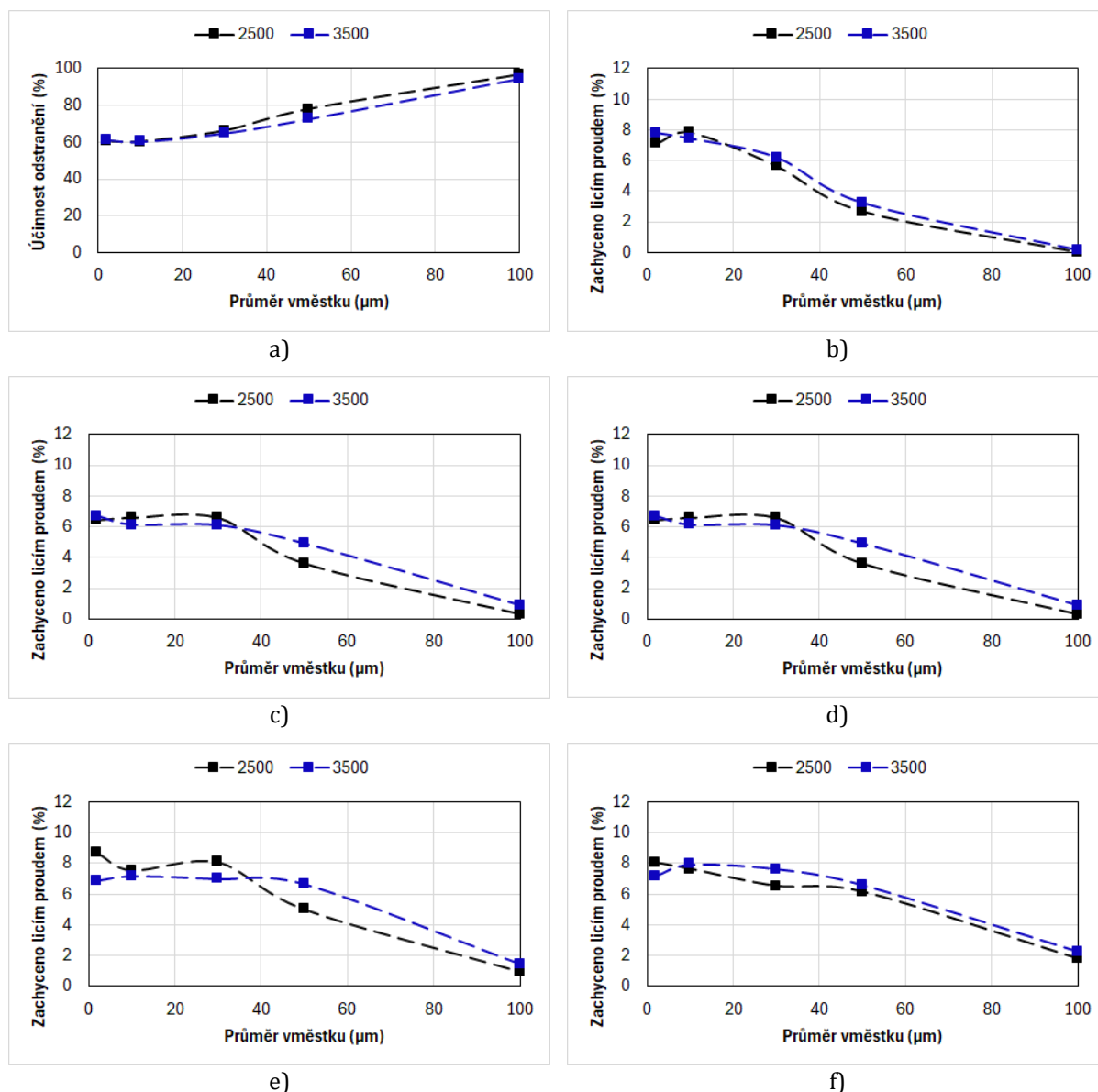


**Obr. 7** Teplotní pole v mezipánvi: a) A - 925; b) C - 825; c) E - 725

**Fig. 7** Temperature fields in the tundish: a) A - 925; b) C - 825; c) E - 725

Distribuce nekovových vměstků byla analyzována podle modelu DPM. Bylo hodnoceno chování vměstků při hladinách 925, 825 a 725 mm. Byly také porovnány vměstky s hustotami 2500 a 3500 g·m<sup>-3</sup>.

Na **obr. 8** je zobrazeno porovnání hustot vměstků pro konfiguraci 925 mm. Je patrné, že vměstky s vyšší hustotou měly větší tendenci být strhávány licími proudy. Vměstky s nižší hustotou byly snáze odstraňovány.

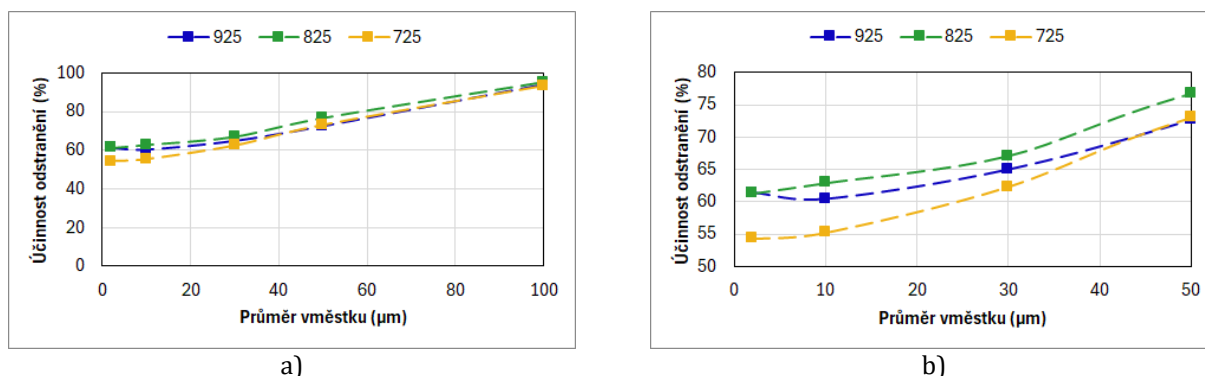


**Obr. 8** Distribuce nekovových vměstků: a) celková účinnost odstraňování vměstků přes strusku; b) vměstky strženy licím proudem CS1; c) CS2; d) CS3; e) CS4; f) CS5

**Fig. 8** Distribution of non-metallic inclusions: a) total efficiency of inclusion removal via slag; b) inclusions removed by casting stream CS1; c) CS2; d) CS3; e) CS4; f) CS5

Jelikož hustota vměstků neprokázala výrazný vliv, byla následná analýza výšky hladiny provedena pouze s hustotou 3500 g·m<sup>-3</sup> (**obr. 9**). **Obr. 9a** znázorňuje odstraňování vměstků při různých výškách hladiny oceli, **obr. 9b** uvádí graf se zúženým rozsahem pro lepší přehlednost.

S rostoucí velikostí vměstků docházelo k jejich snazšímu odstranění. Projevoval se také vliv výšky hladiny. Nižší hladina oceli v mezipánvi měla negativní dopad, jelikož zabráňovala odstraňování nekovových vměstků. Odstraňování nekovových vměstků bylo omezené, zejména z důvodu zkratového proudění a nízkých retenčních časů. To potvrzuje nutnost udržovat optimální výšku hladiny oceli v mezipánvi.



Obr. 9 a) Účinnost odstraňování nekovových vměstků za různých výšek hladiny; b) Detail na užší oblast grafu

Fig. 9 a) Effectiveness of removing non-metallic inclusions at different steel height levels; b) Detail of a narrower area of the graph

#### 4. Závěr

Z provedené analýzy vyplývá, že změna hladiny oceli v mezipánvi má výrazný vliv na proudění i účinnost odstraňování nekovových vměstků. Při snižování hladiny se sice projevila efekt navýšení retenčních časů, avšak současně došlo ke snížení retenčních časů na nejbližších licích prouděch, což vede k nestabilnímu a nehomogennímu proudění oceli do krystalizátorů.

Při poklesu hladiny dochází ke zhoršení podmínek odstraňování nekovových vměstků, a to zejména z důvodu nedostatku aktivního objemu a času pro jejich odstranění. Numerické simulace potvrdily, že vměstky s vyšší hustotou jsou méně ovlivňovány vztlakem a jejich rychlost vyplavání je nižší. V důsledku toho se snáze pohybují spolu s proudem kovu a mohou být častěji strhávány licím proudem, zatímco velké nízkohustotní vměstky se díky vyššímu vztlaku naopak lépe odlučují směrem k hladině.

Nedostatečné promíchávání oceli v mezipánvi vede k patrné teplotní heterogenitě a může vést až k nutnosti zastavit odlévání. Celkově je tedy udržování optimální hladiny oceli v mezipánvi klíčové pro stabilní proudění, efektivní odstraňování vměstků a dosažení vysoké čistoty oceli.

#### LITERATURA

- [1] Ferreira, F. Continuous casting tundish inertization: a comparative study. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5151/2594-5300-34883>
- [2] Ferreira, F., Klug, J., Pereira, J., Bielefeldt, W., Vilela, A. Laboratory evaluation of tundish covering powders and rice hull ash on cleanliness for a sae 1055 modified steel. Materials Research, 26. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2022-0216>
- [3] Zhao, S., Zhu, S., Ge, Y., Wang, J., Xu, D., Li, Z., Chen, C. Simulation of fluid flow and inclusion removal in five-flow t-type tundishes with porous baffle walls. Metals, 13(2), 215. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/met13020215>
- [4] Ye, M., Zhao, M., Chen, S., Yang, S., Li, J. Influence of plasma heating on the metallurgical effects of a continuous casting tundish. (2020). DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202010.0422.v1>
- [5] Wang, Y., Song, J., Nai-liang, C., Guo, Z., Li, J., Yang, S., ... & Wang, C. Application of graphite electrode plasma heating technology in continuous casting. Materials, 15(7), 2590. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15072590>
- [6] Li, Q., Qin, B., Zhang, J., Dong, H., Li, M., Tao, B., Liu, Q. Design improvement of four-strand continuous-casting tundish using physical and numerical simulation. Materials, 16(2), 849. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16020849>
- [7] Jin, Y., Dong, X., Fu, Y., Cheng, C., Li, Y., Wang, W. Removal mechanism of microscale non-metallic inclusions in a tundish with multi-hole-double-baffles. Metals, 8(8), 611. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/met8080611>

# Sorpce kadmia, mědi a niklu z vodných roztoků pomocí ocelářské strusky – využití v cirkulární ekonomice

## Sorption of Cadmium, Copper and Nickel from Aqueous Solutions Using Steel Slag – Use in the Circular Economy

Bruno Kostura<sup>1</sup>, Šárka Langová<sup>2</sup>, Vlastimil Matějka<sup>2</sup>, Michal Ritz<sup>2</sup>, Jozef Vlček<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, Ostrava – Vítkovice, 703 00, Česká republika, EU, korespondenční email: [bruno.kostura@mmvyzkum.cz](mailto:bruno.kostura@mmvyzkum.cz)

<sup>2</sup> VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, Katedra chemie a fyzikálně-chemických procesů, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba

### Abstrakt

*Byla studována možnost využití ocelářské strusky (SFS) k odstranění iontů kadmia, mědi a niklu z vodných roztoků. Struska, tvořená převážně oxidy vápníku, železa a křemíku, vykazovala vysokou sorpční kapacitu přes 100 mg.g<sup>-1</sup>. Adsorpční chování odpovídalo Langmuirově izotermě a kinetice pseudo-druhého řádu. U Cd(II) byl pozorován mechanismus výměny iontů Cd–Ca, zatímco u Ni(II) a Cu(II) šlo převážně o povrchovou sorpci a precipitaci. Desorpční pokusy potvrdily možnost selektivního získání Ni a Cu pomocí hydroxidu amonného. Výsledky ukazují, že ocelářská struska může sloužit jako levný a účinný sorbent pro předčištění odpadních vod a současně přispět k principům cirkulární ekonomiky.*

**Klíčová slova:** ocelářská struska; těžké kovy; adsorpce; kadmium; měď; nikl; cirkulární ekonomika

### Abstract

*The removal of cadmium, copper, and nickel ions from aqueous solutions using steelmaking furnace slag (SFS) was investigated. The slag, composed mainly of calcium, iron, and silicon oxides, exhibited a high sorption capacity exceeding 100 mg/g. The adsorption behaviour followed the Langmuir isotherm and pseudo-second-order kinetics. For Cd(II), an ion-exchange mechanism with Ca(II) released from the slag was observed, while Ni(II) and Cu(II) were predominantly bound by surface adsorption and precipitation. Desorption tests confirmed the selective recovery of Ni and Cu using ammonium hydroxide. The study demonstrates that steelmaking slag can serve as a low-cost and efficient sorbent for the pre-treatment of industrial wastewater, contributing to the principles of the circular economy through the reuse of metallurgical by-products.*

**Key words:** steelmaking slag; heavy metals; adsorption; cadmium; copper; nickel; circular economy

### 1. Úvod

Princip oběhového hospodářství spočívá v opětovném využívání surovin a minimalizaci odpadů. V hutním průmyslu vzniká při výrobě oceli značné množství strusky, která se pro svoji objemovou nestabilitu nehodí pro stavební účely. Proto je obvykle skládkována, což zvyšuje environmentální zátěž. Současně čelí průmysl problémům se znečištěním odpadních vod těžkými kovy. Odpadní vody z galvanických a metalurgických procesů často obsahují toxické kovy jako kadmium, měď či nikl, které jsou nebezpečné již v nízkých koncentracích [1, 2]. Tradiční metody, jako srážení, flotace nebo iontová výměna, bývají nákladné a produkují velké množství odpadu [3].

Sekundární produkty hutního průmyslu – zejména ocelářenské a vysokopeční strusky – tak představují atraktivní nízkonákladovou alternativu díky obsahu vápenatých a železitých složek schopných vázat těžké kovy [4–6]. Využití těchto materiálů je v souladu s konceptem cirkulární ekonomiky, kdy se vedlejší produkty výroby přetvářejí na suroviny pro nové technologické procesy [7]. Cílem této práce bylo experimentálně ověřit možnosti využití jemně mleté ocelářenské strusky k sorpci Cd(II), Ni(II) a Cu(II) z vodných roztoků a následně posoudit, zda je možné získané sorpční produkty dále využít v rámci oběhového hospodářství.

## 2. Materiály a metody

Výchozí zásobní roztoky Cd(II), Ni(II) a Cu(II) (1000 mg dm<sup>-3</sup>) byly připraveny rozpuštěním Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O a Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O v deionizované vodě. Ředěním zásobních roztoků bylo připraveno 50 cm<sup>3</sup> roztoků Cd(II), Ni(II) a Cu(II) o různých koncentracích (10–1000 mg·dm<sup>-3</sup>). Ocelářská struska (SFS) byla rozemleta pomocí kulového mlýna RETSCH a proseta na frakci pod 0,1 mm. 0,1–1 g této jemně mleté strusky bylo umístěno do plastových lahví, doplněno 50 cm<sup>3</sup> roztoků Cd(II), Ni(II) nebo Cu(II) a mícháno po dobu 0,5–24 hodin při pokojové teplotě. Obsahy sledovaných prvků ve strusce a ve výluzích byly stanoveny metodou AAS (Varian AA280FS) a vlnově disperzní rentgenovou fluorescenční spektrometrií XRF (ARL PERFORM'X 4200, Thermo Fisher, USA), funkční skupiny pak metodou FTIR. Měření specifického povrchu bylo provedeno pomocí fyzisorpce dusíku (Sorpromatic 1990, Thermo Finnigan).

## 3. Výsledky a diskuze

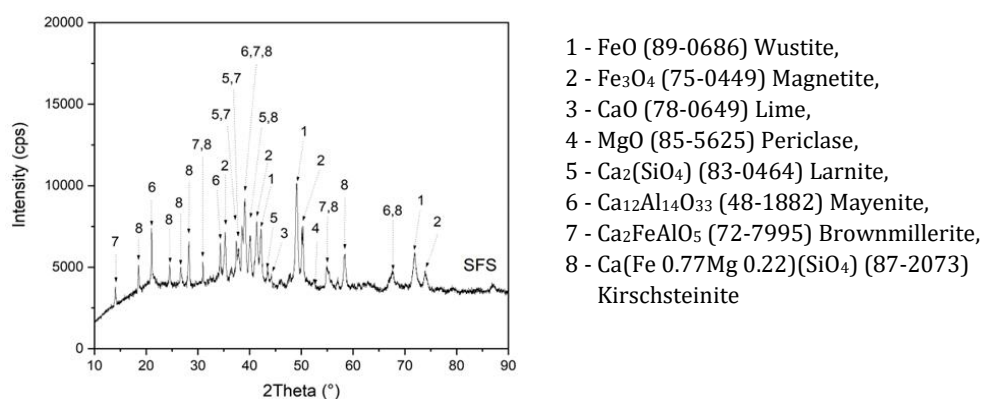
Chemická a fázová analýza (**tab. 1, obr. 1**) prokázala, že dominantními složkami ocelářské strusky jsou CaO, FeO<sub>x</sub> a SiO<sub>2</sub>, což odpovídá typickému složení strusek z kyslíkových pecí.

**Tab. 1** Chemické složení strusky stanovené pomocí AAS a XRF (hm. %)

**Tab. 1** Slag chemical composition determined by AAS and XRF methods (wt. %)

| Ca   | Mg  | Fe   | Mn  | Al  | Si  | Zn   | Cr   | Pb    | Cd     |
|------|-----|------|-----|-----|-----|------|------|-------|--------|
| 21,8 | 4,1 | 28,3 | 4,4 | 1,4 | 6,7 | 0,10 | 0,28 | 0,028 | 0,0014 |

Tyto složky podmiňují alkalickou reakci systému (počáteční pH ≈ 11,8), která významně ovlivňuje chování iontů kovů v roztoku. Přítomnost CaO vede ke vzniku OH<sup>-</sup> iontů a následné precipitaci kovů ve formě hydroxidů a uhličitů.

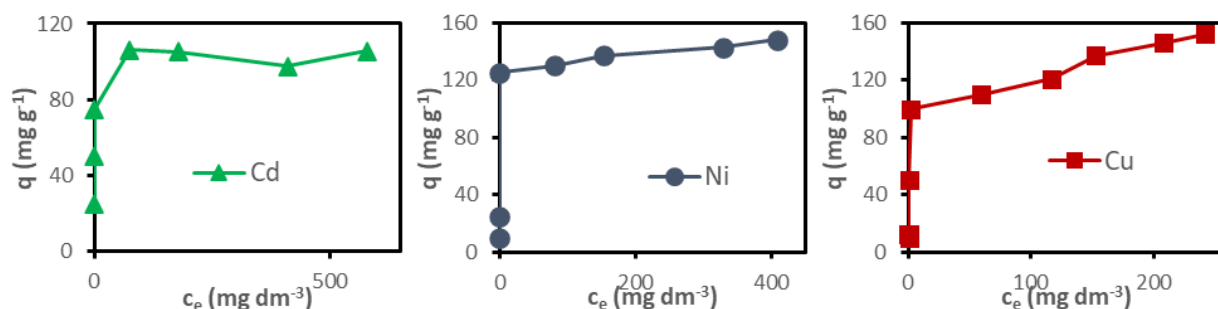


**Obr. 1** RTG záznam původní ocelářské strusky

**Fig. 1** RTG curve of original steelmaking slag

Specifický povrch strusky byl stanoven na  $6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , objem mezopórů činil  $0,074 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  a objem mikropórů byl  $0,003 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ . Z naměřených hodnot vyplývá, že se jedná o nízko porézní materiál. Přestože má struska nízkou pórovitost, vykazovala vysokou sorpční schopnost, což dokládají výsledky sorpčních testů.

Pro stanovení sorpčních mechanismů bylo 0,1, 0,2, 0,5 a 1 g strusky smícháno s roztoky iontů kovů Cd(II), Ni(II) a Cu(II) o různých koncentracích. Výsledky sorpce studovaných iontů struskou lze vidět na **obr. 2**. Sorpční kapacita dosáhla pro Cd(II) hodnoty  $102 \text{ mg/g}$ , pro Ni(II) to činilo  $147 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  a obdobně vysoké hodnoty bylo dosaženo také pro Cu(II).



**Obr. 2** Adsorpce Cd(II), Ni(II) a Cu(II) na strusce po 24 hodinách

**Fig. 2** Adsorption of Cd(II), Ni(II), and Cu(II) on slag after 24 hours

Nejrychlejší pokles koncentrace iontů kovů ve sledovaných roztocích byl zaznamenán během prvních 30 min, což odpovídá okamžitému obsazení aktivních míst na povrchu strusky. Po 2 hodinách proces přešel do pomalejší fáze řízené difuzí, kdy ionty kovů pronikaly do vnitřní struktury zrn. Tento dvoufázový průběh je typický pro sorpci na nerovnoměrně porézních oxidických materiálech [8, 9].

Na naměřená adsorpční data byly následně aplikovány modely Freundlichovy, Langmuirovy a Dubinin-Radushkevichovy adsorpčních izoterem. Kinetika sorpčního procesu byla vyhodnocována pomocí kinetických modelů pseudo-prvního a pseudo-druhého řádu. Ukázalo se, že data byla v dobré shodě s Langmuirovou adsorpční izotermou **rov. (1)**, zatímco Freundlichova i Dubinin-Radushkevichova izoterma dostatečně nevystihovaly chování studovaných systémů.

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{c_e}{q_m} \quad (1)$$

kde:  $c_e$  je rovnovážná koncentrace iontu ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )  
 $q_e$  – sorpční kapacita v rovnovážném stavu ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )  
 $K_L$  – Langmuirova konstanta ( $\text{Pa}^{-1}$ )  
 $q_m$  – maximální sorpční kapacita ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )

Langmuirova izoterma indikuje vznik monovrstevné pokrývky aktivních center. V porovnání s literárními daty pro podobné materiály (např. vysokopecní strusky  $\sim 40\text{--}70 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  [4, 6]) dosahuje použitá ocelářská struska výrazně vyšších hodnot sorpční kapacity (přes  $100\text{--}150 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ), což lze přičíst jejímu specifickému mineralogickému složení a přítomnosti reaktivního volného CaO.

Z kinetických modelů vyhovoval pro všechna naměřená data nejlépe model kinetiky pseudo-druhého řádu **rov. (2)** s korelačním koeficientem  $R^2 > 0,99$ , jak ukazuje **obr. 3**.

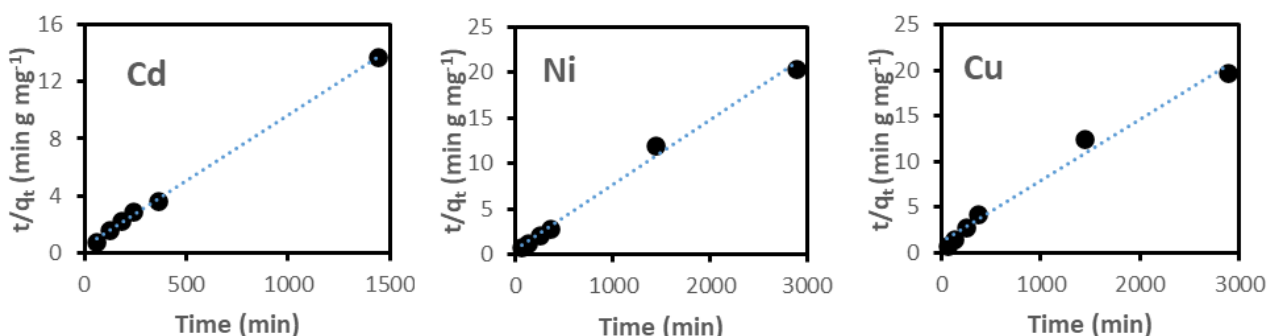
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2)$$

kde:  $q_t$  je sorpční kapacita v rovnovážném stavu ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )

$t$  – čas (min)

$k_2$  – rychlostní konstanta kinetického modelu pseudodruhého řádu, charakterizující rychlost adsorpčního procesu ( $\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )

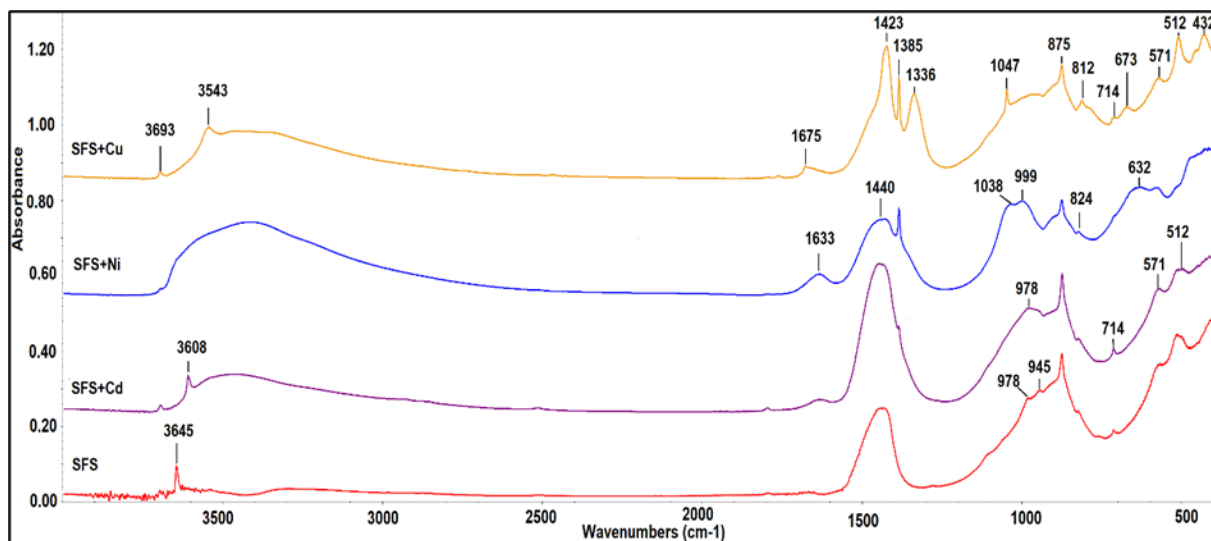
Kinetický model pseudo-druhého řádu je považován za difuzně řízený model, který indikuje chemisorpční mechanismus a je často používán k popisu adsorpce těžkých kovů na různých adsorbentech [8, 9]. Jeho platnost pro naměřená data potvrzuje, že dochází k chemické interakci mezi ionty kovů a funkčními skupinami povrchu strusky ( $-\text{OH}$ ,  $-\text{O}-\text{Fe}$ ,  $-\text{O}-\text{Ca}$ ).



**Obr. 3** Aplikace kinetického modelu pseudo-druhého řádu na sorpční data iontů Cd(II), Ni(II) and Cu(II)

**Fig. 3** Application of a pseudo-second-order kinetic model to sorption data for Cd(II), Ni(II), and Cu(II) ions

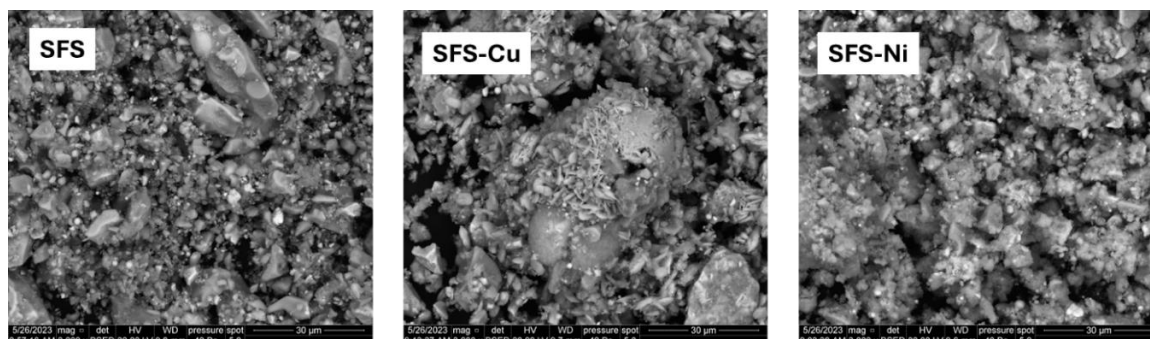
FTIR (**Obr. 4**) a SEM analýzy poskytly detailní pohled na mechanismus vazby kovů. Po adsorpci Cd byl ve spektrech pozorován úbytek pásů odpovídajících  $\text{Ca}-\text{O}$  vazbám a současně vznik nových pásů v oblasti  $\sim 670 \text{ cm}^{-1}$ , typických pro  $\text{Cd}-\text{O}$  vibrace, což potvrzuje mechanismus výměny  $\text{Cd}^{2+} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ .



**Obr. 4** FTIR spektra strusky před a po sorpci Cd(II), Ni(II) and Cu(II)

**Fig. 4** FTIR spectra of slag before and after sorption of Cd(II), Ni(II), and Cu(II)

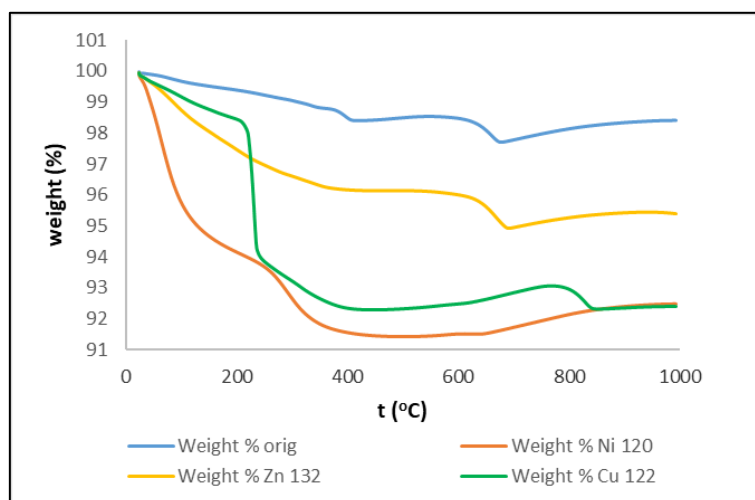
Naproti tomu u Ni a Cu byla detekována tvorba karbonátových a hydroxidových fází na povrchu částic, přičemž SEM záznamy prokázaly růst drobných krystalů těchto sloučenin, jak ukazuje **obr. 5**. Tato kombinace adsorpce a precipitace je typická pro silně alkalické prostředí [10].



**Obr. 5** Srovnání SEM záznamů povrchů původní strusky (SFS) a strusky po sorpci Cu (SFS-Cu) a Ni (SFS-Ni)

**Fig. 5** Comparison of SEM images of original slag surfaces (SFS) and slag surfaces after Cu (SFS-Cu) and Ni (SFS-Ni) sorption

Sorpční produkty SFS-Cd, SFS-Cu a SFS-Ni byly podrobeny tepelnému zpracování. Získané termogravimetrické křivky (**obr. 6**) ukázaly vícefázový průběh rozkladu sorpčních produktů. Od 250 °C dochází k rozkladu dusičnanů podle **rov. (3-5)**, nad 600 °C pak k dekarbonataci, což je doprovázeno ztrátou hmotnosti.



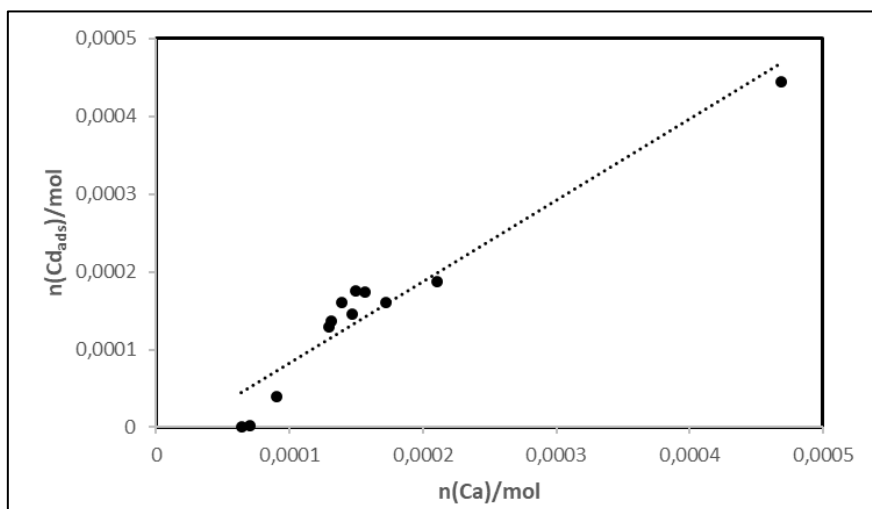
**Obr. 6** TG záznamy strusky před a po sorpci Cd(II), Ni(II) and Cu(II)

**Fig. 6** Thermogravimetric (TG) curves of slag before and after sorption of Cd(II), Ni(II), and Cu(II)

V oblasti > 700 °C byl pozorován nárůst hmotnosti související s oxidací magnetitu na hematit. Tyto změny naznačují, že kovové ionty byly stabilně začleněny do oxidických matic. Významný rozdíl mezi TG profily Cd a Ni/Cu sorpčních produktů naznačuje odlišnou stabilitu vzniklých fází, což má praktický význam pro potenciální následné tepelné zpracování.

Pyrometalurgická cesta vede k tvorbě vápenato-křemičitých oxidických systémů obsahujících oxidy kadmia, mědi a niklu. Výsledné oxidické směsi po sorpci Ni a Cu vykazují složení vhodné pro výrobu keramických pigmentů nebo kompozitů s antibakteriálními a fotokatalytickými vlastnostmi. Takové materiály mohou najít uplatnění např. při povrchových úpravách či výrobě funkční keramiky.

V případě Cd(II) je pravděpodobně hlavním retenčním mechanismem iontová výměna Cd(II)-Ca(II), jak naznačily předešlé výsledky. Tento závěr byl potvrzen srovnáním množství kadmia odstraněného z roztoku a vápníku vyloučeného ze strusky, jak je zřejmé z **obr. 7**.



**Obr. 7** Závislost mezi množstvím Cd odstraněného z roztoku a Ca vyluhovaným ze strusky

**Fig. 7** The relationship between the amount of Cd removed from the solution and Ca leached from the slag

Desorpční testy potvrdily rozdílné chování jednotlivých kovů.  $\text{Ni}^{2+}$  a  $\text{Cu}^{2+}$  byly úspěšně desorbovány roztokem  $\text{NH}_4\text{OH}$  (90–97 %), zatímco Cd zůstal pevně vázán, což odpovídá vyšší afinitě Cd k Ca-bohatým složkám. Tato selektivita otevírá cestu k cílenému získávání kovů a recyklaci použitého sorbentu.

Celkově lze konstatovat, že sorpční vlastnosti ocelářské strusky jsou srovnatelné či lepší než u mnoha komerčních adsorbentů, přičemž ekonomická i environmentální výhodnost jejího využití je jednoznačná.

#### 4. Závěry

Ocelářská struska se ukázala jako perspektivní sekundární surovina pro účinné odstranění  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  a  $\text{Cu}^{2+}$  z vodných roztoků. Mechanismy sorpce zahrnují iontovou výměnu (Cd–Ca), povrchovou precipitaci (Ni, Cu) a chemisorpci. Výsledky potvrzují, že i materiál s nízkou pórovitostí může dosahovat vysoké sorpční kapacity díky své chemické reaktivitě.

Z praktického hlediska je důležitá možnost regenerace sorbentu a selektivního získání kovů, což přispívá ke zvyšování efektivity procesů čištění odpadních vod. Významným přínosem je také možnost dalšího využití vzniklých oxidických směsí v keramickém či stavebním průmyslu, čímž se uzavírá materiálový cyklus.

V rámci dalšího výzkumu je vhodné se zaměřit na dlouhodobou stabilitu sorbentů, testování v reálných průmyslových odpadních vodách a možnosti povrchové aktivace pro zvýšení kapacity.

Tyto výsledky dokládají, že ocelářská struska může být klíčovým prvkem cirkulární ekonomiky v hutním sektoru – materiálem, který se z odpadu stává zdrojem, čímž přispívá k udržitelnému a environmentálně odpovědnému rozvoji průmyslu a ke snížení environmentální zátěže hutní výroby [11].

## PODĚKOVÁNÍ

***Tato práce byla podpořena projektem č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/17\_049/0008426. Práci dále podpořil Evropský fond pro spravedlivou transformaci v rámci Operačního programu Spravedlivá transformace pod záštitou Ministerstva životního prostředí České republiky, projekt CirkArena, CZ.10.03.01/00/22\_003/0000045.***

## LITERATURA

- [1] Barakat, M.A.: New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian J. Chem.* 4 (2011), 361–377.
- [2] Qi, F. et al.: Effects of acidic and neutral biochars on properties and cadmium retention of soils. *Chemosphere* 180 (2017), 564–573.
- [3] Aziz, H.A. et al.: Heavy metals removal from water in Malaysia: post treatment by limestone. *Bioresource Technol.* 99 (2008), 1578–1583.
- [4] Nehrenheim, E., Gustafsson, J.P.: Kinetic sorption modelling of Cu, Ni, Zn, Pb and Cr ions to bark and blast furnace slag. *Bioresource Technol.* 99 (2008), 1571–1577.
- [5] Czech, B. et al.: Impact of thermal treatment of calcium silicate-rich slag on Cd removal. *J. Cleaner Prod.* 200 (2018), 369–379.
- [6] Xue, Y. et al.: Single and coadsorption of Cu, Cd, Pb and Zn onto basic oxygen furnace slag. *Desalination Water Treat.* 179 (2020), 242–251.
- [7] Park, J.H. et al.: Adsorption of Cd, Cu and Zn from aqueous solutions onto ferronickel slag. *Water Sci. Technol.* 73 (2016), 993–999.
- [8] Ho, Y.S., McKay, G. et al.: Study of the sorption of divalent metal ions onto peat. *Adsorption Sci. Technol.* 18 (2000), 639–650.
- [9] Huang, J. et al.: The sorption of Cd(II) and U(VI) on sepiolite. *J. Mol. Liquids* 209 (2015), 706–712.
- [10] Wang, S. et al.: Influence of inorganic admixtures on the 11 Å-tobermorite formation prepared from steel slags. *Constr. Build. Mater.* 60 (2014), 42–47.
- [11] Vardhan, K.H. et al.: Heavy metal pollution, toxicity and remedial measures. *J. Mol. Liquids* 290 (2019), 111197.

## INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

### Danieli dodá pokročilé jeřáby pro šrotiště společnosti voestalpine v Donawitz

19. listopad 2025

Společnost Danieli získala zakázku na dodávku pěti automatických jeřábů pro šrotiště rakouském podniku voestalpine Stahl Donawitz GmbH. Součástí projektu je také systém řízení šrotiště *Danieli Q3-DYMS*, který zajistí bezpečnější, efektivnější a plně integrovanou manipulaci se šrotem.

Zakázka navazuje na předchozí dodávky dvou elektrických obloukových pecí a poloautomatických jeřábů pro jejich zásobování a je součástí strategie voestalpine zaměřené na udržitelnou výrobu a rozvoj produkce tzv. *zelené oceli*.

Nové jeřáby budou vybaveny moderními automatizačními technologiemi, včetně přesného určování polohy, inteligentních kamerových systémů (Danieli Eye-On), elektrických protikyvňých a rekuperačních pohonů, třídění šrotu a objemové detekce pro inventarizaci skládky.

Řešení umožní plně autonomní provoz jeřábů s využitím elektromagnetů i elektrohydraulických drapáků a přispěje ke zvýšení bezpečnosti, snížení energetické náročnosti a zefektivnění výroby oceli v závodě Donawitz.

Celý článek na webu [Danieli](#)

# Převzaté výzkumné a vědecké články

---

## Provozní ověření technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci

## Operational Verification of Molten Metal Decarburization Technology Using an Immersion Lance in a Ladle Furnace

Ing. František Vrána<sup>1\*</sup>, Ing. Pavel Fila, Ph.D.<sup>1</sup>, Ing. Martin Balcar, Ph.D.<sup>1</sup>, Jan Uherek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ŽĎAS, a.s., Strojírenská 675/6, 591 01, Žďár nad Sázavou, ČR, [frantisek.vrana@zdas.cz](mailto:frantisek.vrana@zdas.cz)

<sup>2</sup> VESUVIUS MORAVIA s.r.o., Advanced Refractories, Průmyslová 726, Třinec, ČR

### Abstrakt

Výroba korozivzdorných ocelí ve ŽĎAS, a.s. probíhá s využitím technologického procesu EAF/LF/VOD. Ověření technologie oxidace uhlíku za atmosférického tlaku dmýcháním kyslíku ponornou tryskou do taveniny na LF bylo realizováno s ohledem na možnosti snížení ekonomické náročnosti výroby taveniny s vysokým obsahem chromu. V rámci experimentálního ověření nové technologie LF – OB v podmínkách Ocelárny ŽĎAS, a.s. byl proveden návrh technického řešení instalace a použití ponorné trysky a realizace provozních zkoušek dmýchání kyslíku do kovové taveniny s vysokým obsahem chromu. V průběhu realizace provozních zkoušek oxidace taveniny dmýcháním kyslíku ponornou tryskou byly sledovány a vyhodnoceny základní procesní parametry.

**Klíčová slova:** korozivzdorná ocel; vakuové oxidační oduhličení, EAF, LF, VOD

### Abstract

The production of stainless steels at ŽĎAS, a.s. is carried out using the EAF/LF/VOD process route. The verification of carbon oxidation technology at atmospheric pressure by oxygen blowing into the melt using an immersion lance in the ladle furnace (LF) was conducted with regard to the potential reduction of production costs for high-chromium melts. Within the experimental verification of the new LF–OB technology under the operating conditions of the ŽĎAS, a.s. steel plant, a technical design for the installation and application of the immersion lance was developed, and industrial trials of oxygen blowing into high-chromium metal melts were performed. During the industrial trials of melt oxidation by oxygen blowing through the immersion lance, key process parameters were monitored and evaluated.

**Key words:** stainless steel; continuous casting; vacuum oxygen decarburization; EAF, LF, VOD

## 1. Úvod

Výroba korozivzdorných ocelí probíhá na zařízeních primární a sekundární metalurgie. V podmínkách ŽĎAS, a.s. je výroba a zpracování vysokolegovaných chromových tavenin realizována na zařízení elektrické obloukové pece (EAF), pánvové pece (LF) a technologii pro vakuové zpracování oceli (VD/VOD).

Problematika výroby vysokolegovaných chromových ocelí v daném výrobním procesu v podmínkách ŽĐAS, a.s. spočívá v několika oblastech:

- a) Částečná oxidace taveniny na EAF pro snížení koncentrace křemíku a částečně i uhlíku je spojena s prudkým nárůstem teploty taveniny. V důsledku toho dochází k vysokému opotřebení vyzdívky a nístěje EAF.
- b) Řízená oxidace taveniny dmýcháním kyslíku sonickou tryskou při VOD pro dosažení požadované nízké koncentrace uhlíku je provázána nežádoucím nástřikem taveniny na stěny pánve a víko VOD. Ztráty tekutého kovu nástřikem na stěny pánve a víko VOD mohou dosahovat v podmínkách technologie ŽĐAS, a.s. až 7 % z celkové hmotnosti taveniny v pánvi.
- c) Proces VOD probíhá za podmínek sníženého tlaku plynu v kesonu a udržování podtlaku v kesonu při procesu VOD znamená vysokou spotřebu energie.
- d) Perioda dmýchání kyslíku při procesu VOD představuje vysoké kapacitní vytížení zařízení VD/VOD, které v důsledku omezuje plynulost celého výrobního cyklu při výrobě oceli.

Uvedené negativní vlivy na ekonomiku výroby vysokolegovaných chromových ocelí je možné řešit zkrácením periody dmýchání kyslíku na EAF a zařízení VD/VOD. Možným způsobem zkrácení oxidační periody na EAF a VOD je oxidace taveniny v rafinační pánvi za atmosférického tlaku.

Proto byla v Ocelárně ŽĐAS, a.s. navržena technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci. Ověření technických možností a přínosů dané technologie bylo realizováno v rámci několika provozních taveb.

## 2. Konstrukce trysky pro technologické zařízení LF-OB

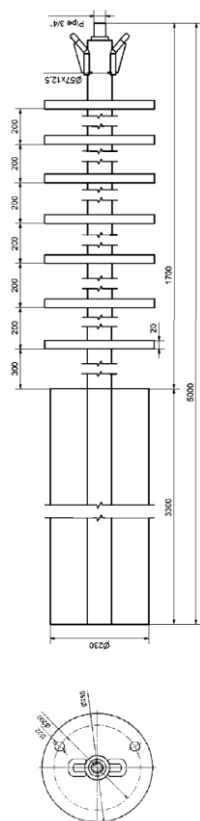
Pro instalaci kyslíkové ponorné trysky ve ŽĐAS, a.s. byla uvažována stávající pánvová pec pro zpracování tekutého kovu v rafinační pánvi v objemu od 14 do 20 tun. Návrh provedení technologického zařízení pro dmýchání kyslíku ponornou tryskou na pánvové peci byl proto pracovně označen jako LF – OB (Ladle Furnace – Oxygen Blowing).

Základní myšlenka konstrukce technologického zařízení byla instalovat keramickou ponornou kyslíkovou trysku do ramene pro grafitovou elektrodu. Kyslíková tryska byla navržena ve spolupráci s VESUVIUS MORAVIA s.r.o. Základní parametry kyslíkové trysky byly navrženy s ohledem na konstrukci pánvové pece a dostupnost připojení na kyslíkové potrubí. Tvar a rozměry trysky uvádí **obr. 1**.

Kyslíková ponorná tryska dle **obr. 1** byla navržena v délce 5000 mm, přičemž pracovní část byla v délce 3300 mm. Hlavní prvek trysky je ocelová trubka uzpůsobená pro připojení na rozvod tlakového kyslíku. Pracovní část byla odlita z korundového žárobetonu. Možnost instalace kyslíkové trysky do ramene pro grafitovou elektrodu byla zajištěna několika stupni přírub.

Instalace ponorné kyslíkové trysky na LF byla provedena pouze v případě realizace provozních zkoušek. Instalaci trysky na pánvové peci ve ŽĐAS, a.s. uvádí **obr. 2**.

Uložení trysky do ramene pro grafitovou elektrodu, jak je patrné z **obr. 2**, umožnilo plynulou regulaci pozice kyslíkové trysky a poměrně přesné nastavení potřebného ponoru do taveniny kovu. Kyslíková tryska byla připojena na rozvod kyslíku s tlakem 1,5 MPa.



**Obr. 1** Základní tvar a rozměry ponorné kyslíkové trysky

**Fig. 1** Basic design of an immersion oxygen lance



**Obr. 2** Instalace kyslíkové ponorné trysky na LF

**Fig 2** Installation of an immersion oxygen lance at the LF station

Pro ochranu ramen elektrod pánvové pece proti tepelnému namáhání při proudění spalín a zplodin v průběhu oxidace taveniny plynným kyslíkem byla ramena obalena izolačními vláknitými materiály. Další konstrukční zásahy na LF pro realizaci ověření dmýchání kyslíku ponornou tryskou při výrobě vysokolegovaných chromových ocelí nebyly realizovány.

Provedení instalace ponorné trysky s využitím ramene elektrody pánvové pece umožnilo zbývající dvě grafitové elektrody používat pro potřeby udržování teploty taveniny ohřevem elektrickým obloukem. Při potřebě zvýšení teploty taveniny bylo uvažováno s využitím druhé pánvové pece.

### 3. Realizace provozních zkoušek

Provozní ověření technologie LF – OB bylo realizováno na 2 tavbách nízkoalegovaných konstrukčních ocelích a 6 tavbách vysokolegovaných martenzitických a austenitických ocelí. Hmotnost tekutého kovu se pro jednotlivé tavby pohybovala v rozmezí od 13,5 až 20,2 tuny. Příprava tekutého kovu probíhala na EAF. Po odpichu tekutého kovu do rafinační pánve sekundární metalurgie byla pánve převezena na pracoviště LF – OB. Následně byl proveden odběr vzorků pro stanovení chemického složení tekutého kovu a měřena teplota taveniny. V dalším kroku bylo provedeno najetí trysky nad hladinu kovu a po zahájení dmýchání kyslíku za daného tlaku a průtoku byla tryska ponořena pod hladinu taveniny do požadované hloubky. Pro ukončení dmýchání byla tryska vrácena nad hladinu kovu a byl uzavřen průtok kyslíku. Následovalo měření teploty a odběr vzorků pro stanovení chemického složení kovu.

V rámci provozních zkoušek byl pozorován průběh oxidace z pohledu rozstříku kovu a chování taveniny. Oxidace taveniny probíhala ve všech případech bez rozstříku kovu. Vzhledem k soustavnému dmýchání inertního plynu přes porézní tvárnici ve dně rafinační pánve byla zajištěna rovnoměrná distribuce kyslíku v tavenině a nedocházelo k neřízeným reakcím kyslíku s uhlíkem. Kromě chemického složení taveniny a teploty kovu bylo dokumentováno opotřebení trysky. **Obr. 3** až **obr. 6** dokládají stav trysky po realizaci provozních zkoušek.



**Obr. 3** Pohled na trysku ve víku LF  
**Fig. 3** View of the lance in the LF cover



**Obr. 4** Detail ústí ponorné trysky  
**Fig. 4** Detail of lance output



**Obr. 5** Stav trysky po použití  
**Fig. 5** Condition of the lance after use



**Obr. 6** Opotřebení ústí trysky  
**Fig. 6** Wear on the lance output

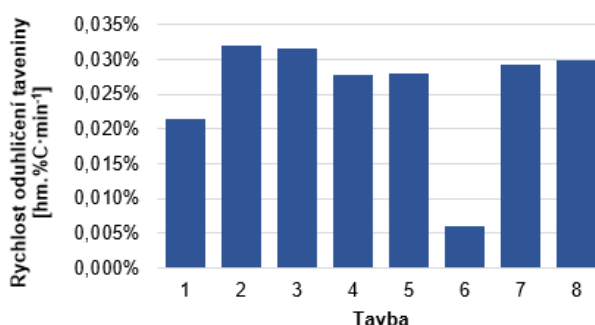
Jak je zřejmé z **obr. 3** až **obr. 6**, při dmýchání kyslíku do tekutého kovu dochází k opotřebení trysky především v oblasti ústí ocelové trubky v trysce. Vnější opotřebení trysky není z pohledu spotřeby trysky podstatné. Spotřebu trysky lze vyjádřit průměrným úbytkem délky trysky rychlostí  $1,7 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ . V některých případech docházelo při dmýchání kyslíku k namrzání kovu přímo na tělo trysky nad hladinou taveniny. Objem kovu na trysce je však z pohledu objemu kovu v pánvi zanedbatelný. Opotřebení trysky bylo v průběhu realizace experimentálních taveb dokladováno měřením délky trysky před zahájením dmýchání a po jeho ukončení. V průběhu používání trysky došlo ke vzniku podélné trhliny v betonovém obalu ocelové trubky. Vzniklá trhlina neměla negativní vliv na použití trysky a neprojevovala se ani zvýšeným opotřebením trysky. V případech některých taveb bylo pozorováno nerovnoměrné opotřebení trysky, jak např. uvádí **obr. 6**.

#### 4. Výsledky provozních zkoušek

Provozní zkoušky technologie LF – OB na 8 tavbách nízkoalegovaných a vysokoalegovaných martenzitických a austenitických ocelí potvrdily, že navržená konstrukce trysky vyhovuje pro použití při oxidaci taveniny na pánvové peci.

Ověření dmýchání kyslíku ponornou tryskou probíhalo za různých úrovní ponoru trysky do taveniny kovu. Byly ověřeny podmínky dmýchání při ponoru ústí trysky od 100 do 400 mm. Při vstupním tlaku kyslíku v rozpětí mezi 0,5 až 1,2 MPa a nastaveném ponoru trysky bylo subjektivně hodnoceno chování taveniny z pohledu možného rozstříku kovu. Bylo zjištěno, že vliv tlaku a ponoru trysky na chování taveniny je zanedbatelný. Ve všech případech se kov v pánvi v průběhu dmýchání kyslíku choval klidně a nežádoucí rozstřík kovu nebyl pozorován.

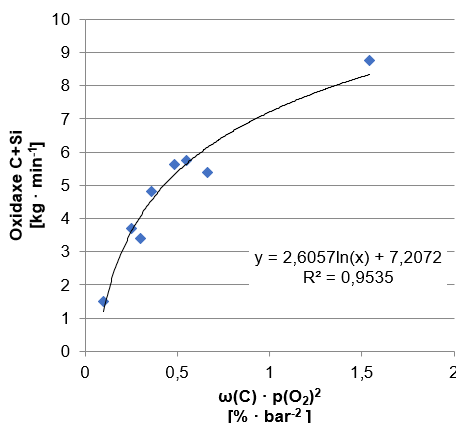
Vstupní koncentrace uhlíku u nízkoalegovaných tavenin byla v průměru 0,46 hm.% a konečná koncentrace po oxidaci taveniny ponornou tryskou činila 0,22 hm.%. Obecně je možné vyjádřit účinnost oxidace uhlíku s využitím ponorné trysky jako průměrnou rychlost oduhličení taveniny, která v případě ověřovaných taveb dosáhla hodnoty 0,026 hm.%C·min<sup>-1</sup>. Dosaženou průměrnou rychlost oduhličení taveniny pro jednotlivé tavby uvádí **obr. 7**.



**Obr. 7** Rychlost oduhličení taveniny při dmýchání kyslíku s využitím ponorné trysky

**Fig. 7** The decarbonization velocity of molten metal during oxygen blowing using an immersion lance

Oduhličovací výkon v závislosti na tlaku kyslíku a vstupní koncentraci uhlíku se pohyboval v rozpětí 1,1 až 6,4 kg·min<sup>-1</sup>. Rychlost oxidace uhlíku a křemíku v závislosti na tlaku kyslíku a vstupní koncentraci uhlíku se pohybovala v rozpětí 1,4 až 8,9 kg·min<sup>-1</sup>, jak je patrné z **obr. 8**.



**Obr. 8** Závislost intenzity oxidace C+Si na počáteční hodnotě koncentrace uhlíku a tlaku kyslíku

**Fig. 8** Dependence of C+Si oxidation intensity on initial carbon concentration and oxygen pressure

**Oxidace chromu** a dalších prvků obsažených v tavenině kovu byl přirozený důsledek dmýchání kyslíku do taveniny. U vysokolegovaných tavenin s koncentrací chromu od 12,3 hm. % do 28,8 hm. % byla průměrná koncentrace uhlíku na začátku oxidace 0,85 hm. % a po oxidaci taveniny ponornou tryskou 0,62 hm. %. V průběhu oxidace došlo ke změně koncentrace chromu ze vstupní hodnoty 19,85 hm. % na hodnotu 19,70 hm. %. Pokles koncentrace chromu byl z pohledu obdobného procesu na EAF zanedbatelný.

Současně je třeba konstatovat, že oxidace chromu v rafinační pánvi neznamena reálnou ztrátu chromu jako v případě oxidace chromu na EAF, kdy je před odpichem taveniny do rafinační pánve provedeno odstranění strusky z hladiny kovu. Chrom ve formě oxidů obsažených ve strusce na hladině kovu v rafinační pánvi je v průběhu dalšího zpracování na zařízení VD/VOD redukován zpět do taveniny.

**Teplotní bilance** taveb v průběhu oxidace taveniny ponornou tryskou výrazně závisí na chemickém složení oceli a intenzitě dmýchání kyslíku. V případě oxidace nízkolegovaných tavenin bylo oxidací zajištěno pokrytí teplotních ztrát kovu v pánvi z důvodu přenosu tepla do vyzdívky rafinační pánve a sálání. Vstupní teplota kovu před zahájením oxidace činila u první tavby 1566 °C a ve druhém případě 1577 °C. Konečné teploty po ukončení oxidace byly v obou případech taveb shodné se vstupními teplotami, přičemž průměrná doba dmýchání kyslíku činila cca 8 min 30 s.

Při oxidaci vysokolegovaných tavenin byl zjištěn nárůst teploty kovu. Nárůst teploty souvisí s exotermickými reakcemi prvků obsažených v tavenině s kyslíkem. Vstupní teplota kovu před zahájením oxidace byla měřena v rozpětí 1523 °C až 1655 °C, tj. průměrná teplota 1606 °C. Konečné teploty po ukončení oxidace byly měřeny v rozpětí 1609 °C až 1692 °C, tj. průměrná teplota 1659 °C. Naměřený rozdíl teplot v průběhu oxidace tak činil cca 53 °C. Při průměrné době oxidace 10 min 50 s to znamená **nárůst teploty taveniny o 4,9 °C·min<sup>-1</sup>**.

## 5. Závěr

V rámci provozního ověření technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci, která byla pracovně označena LF – OB (Ladle Furnace – Oxygen Blowing), byl realizován návrh konstrukce trysky vhodné pro instalaci na pánvové peci do ramene pro grafitovou elektrodu. Zkoušky technologie byly realizovány v případě 2 taveb nízkolegovaných konstrukčních ocelí a 6 taveb vysokolegovaných martenzitických a austenitických ocelí.

Výsledky zkoušek potvrdily možnost využití ponorné trysky pro dmýchání kyslíku do taveniny za atmosférického tlaku na LF. Technologie umožňuje oxidaci taveniny a snížení koncentrace křemíku a uhlíku v tekutém kovu. Při všech zkouškách bylo dosaženo požadované snížení koncentrace uhlíku. V případě vysokolegovaných ocelí docházelo současně k oxidaci chromu a manganu. Při tlaku dmýchaného kyslíku v rozpětí 0,5 až 1,2 MPa byla dosažena průměrná rychlost oduhličení taveniny na úrovni 0,026 hm.%C·min<sup>-1</sup>.

Provozní ověření technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci potvrdilo, že během dmýchání kyslíku ponornou tryskou do taveniny za atmosférického tlaku nedochází k významnému nástřiku oceli na stěny pánve a víko LF. Snížení rozstřiku taveniny v porovnání s procesem VOD může přispět ke zlepšení ekonomických parametrů výroby vysokolegovaných chromových ocelí.

Na základě dosažených výsledků a provozních zkušeností lze předpokládat, že technologie LF – OB (Ladle Furnace – Oxygen Blowing) je pro výrobu vysokolegovaných chromových ocelí v běžných průmyslových podmínkách využitelná a vhodná.

Ověření nejnížší dosažitelné koncentrace uhlíku při procesu LF – OB za přijatelných teplot taveniny bude předmětem případných dalších zkoušek. Teoreticky lze předpokládat, že oceli s obsahem do 30 hm. % Cr bude možné oduhličit za atmosférické tlaku technologií LF – OB na konečné koncentrace nad 0,10 hm. % C bez nadměrné oxidace chromu nebo nadměrného přehřátí taveniny nad teploty 1700 °C. Dmýchání argonu porézni tvárnici dnem rafinační pánve LF v průběhu oxidace by mělo oduhličení taveniny významně podpořit. Současně by mělo být zamezeno nadměrnému ohřevu taveniny. V porovnání s EAF by tak měly být zajištěny lepší podmínky pro průběh požadovaných chemických reakcí.

V případě požadavků na výrobu vysokolegovaných tavenin s koncentrací uhlíku pod 0,10 hm. % C lze ověřovanou technologii využít jako součást komplexní technologie EAF – LF – OB – VOD. Přínosy využití technologie LF – OB lze očekávat ve snížení ztrát nástřikem kovu na stěny pánve a víko VOD zařízení, zvýšení kapacity zařízení VD/VOD a celkové snížení nákladů na výrobu vysokolegovaných ocelí.

***„Originál tohoto článku byl publikován ve sborníku konference Oceláři 2025 a je zde uveřejněn se souhlasem autora.“***

## INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

### Primetals Technologies modernizuje válcovnu za studena v Eisenhüttenstadtu

2. prosinec 2025

Společnost ArcelorMittal Eisenhüttenstadt udělila firmě Primetals Technologies prozatímní certifikát převzetí (PAC) po úspěšném dokončení rozsáhlé modernizace reverzní válcovny za studena v Eisenhüttenstadtu v Německu.

Součástí dodávky bylo nové mechanické vybavení válcovny pásů, včetně nového pásového lisu systému odsávání výparů, medií systému a vnitřního zařízení válcovny. Modernizace zvýšila bezpečnost, provozní spolehlivost a připravenost zařízení na další technologický rozvoj.

Významným přínosem je nový systém automatizace řízení plochosti pásu založený na matematickém modelu. Ten umožňuje přesnější řízení procesu a zvyšuje kvalitu válcovaných produktů, zejména z křemíkové oceli.

ArcelorMittal Eisenhüttenstadt je integrovaná ocelárna pokrývající celý hodnotový řetězec výroby oceli, od výroby železa a oceli až po válcování za tepla a za studena. S roční projektovanou výrobní kapacitou až 2,4 milionu tun surové oceli zaměstnává společnost přibližně 2 650 lidí.

Celý článek na webu [Primetals](#)

# Digitalization of Intra-Company Road Freight Transport

## Digitalizace vnitropodnikové silniční nákladní dopravy

Kryštof Walica<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s, Průmyslová 1000, Staré Město 739 61 Třinec, [krystof.walica@trz.cz](mailto:krystof.walica@trz.cz)

### Abstract

*In 2023, the subsidiary transport company Doprava TŽ, s.r.o. was merged with the parent steel company TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. The digitalization of the transport process was integral part of the merger. Before the merger, there was a low level of digitalisation and a high administrative burden in subsidiary company. Data was written by hand in a paper, then repeatedly re-typed into a computer and several times checked. A SQL-based program called EDL (electronic delivery list) was developed by TŽ programmers. Transportation begins with an electronic reservation created by the client, which has a unique ID. Then the dispatcher assigns the reservation to the driver. During the shift, driver fulfils the assigned reservations, which he selects, starts and ends using a hand reader. The progress of the transport is recorded using barcodes and QR codes.*

*All data of the entire transport process from the moment of the reservation to the end of the transport are shared online in program EDL on PC or hand reader. Benefits of implementing the EDL program are reduction of administrative burden for all process participants, significant acceleration of the entire process, continuous control over the entire process, reducing the error rate, increase in productivity, data unification and on-line overview of the entire process. All paper documents were abolished.*

**Key words:** digitalization; road freight transport; SQL; hand reader; productivity; process improvement

### Abstrakt

*V roce 2023 byla dceřiná dopravní společnost Doprava TŽ, s.r.o. sloučena s mateřskou hutní společností TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. Digitalizace dopravního procesu byla nedílnou součástí tohoto sloučení. Před sloučením byla ve společnosti nízká úroveň digitalizace a vysoká administrativní zátěž. Data se zapisovala ručně na papír, následně se opakovaně přepisovala do počítače a několikrát kontrolovala. Programátoři TŽ vyvinuli SQL-based program EDL (elektronický dodací list). Doprava začíná elektronickou rezervací vytvořenou zákazníkem, která má své unikátní ID. Dispečer následně přiřadí rezervaci řidiči. Během směny řidič plní přidělené rezervace, které si pomocí ručního terminálu vybírá, zahajuje a ukončuje. Průběh přepravy je zaznamenáván pomocí čárových a QR kódů.*

*Všechna data o celém dopravním procesu od okamžiku vytvoření rezervace až po ukončení přepravy jsou online sdílena v programu EDL na počítači nebo ručním terminálu. Přínosy implementace programu EDL jsou snížení administrativní zátěže pro všechny účastníky procesu, výrazné zrychlení celého procesu, nepřetržitá kontrola nad jeho průběhem, snížení chybovosti, zvýšení produktivity, sjednocení dat a online přehled o celém procesu. Papírové dokumenty byly zrušeny.*

**Klíčová slova:** digitalizace; silniční nákladní doprava; SQL; ruční čtečka; produktivita; zlepšení procesu

## 1. Introduction

Automatic identification systems enable the shortening of activity cycles, the replacement of human labor, error-free operation and, ultimately, the growth of competitiveness [1, 2]. The most used technology in automatic identification is the barcode or QR code [3].

Barcodes have advantages over manual data entry into computer systems, such as speed, accuracy, higher productivity, savings in material movement, and quick return on investment [4]. The bar code makes it possible to track in real time the movement between the individual parts of the logistics chain [5, 6].

In 2022, it was decided to merge the subsidiary transport company Doprava TŽ, s.r.o. with the parent steel company TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. The merger also included the digitalization of the entire transport process, including the implementation of automatic identification using QR codes.

Thanks to digitalization, some of non-productive administrative activities have been canceled or significantly accelerated and the entire process is now more efficient. Information about the progress of the transport is shared online, so that all participants in the process have access to all necessary information about the transport.

This conference paper aims to analyse the implementation and impacts of automatic identification systems, specifically focusing on the use of QR codes, in the context of the merger and digitalization process at TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.

The paper will explore how the integration of QR codes has enhanced operational efficiency, reduced administrative overhead, and improved information sharing within the logistics chain. By presenting a detailed case study of TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., this paper intends to demonstrate the practical benefits of adopting automatic identification technologies in the steel industry, providing valuable insights for other organizations considering similar digital transformations.

## 2. Original state before digitalization

Before the merger, the level of digitalization at Doprava TŽ, s.r.o. was very low. Most of the records were in handwritten form. The data was not shared, and all the information had to be repeatedly retyped into computer programs. The administrative activities were time consuming and delayed not only the transport itself, but also other activities.

The reservation of transport was arranged by telephone call with the dispatcher. The dispatcher wrote down all the information manually in a notebook and passed the requests to the drivers via radio transmitter.

At the start of transport, the driver arrived to the loading point, where he received a handwritten delivery note after loading. During weighing, the weighbridge lady manually typed all the data into a weight software and printed the weighing and radiation lists. When passing through the gate, the security guard confirmed the passage on the delivery note. The delivery note was also confirmed by the employees during unloading.

At the end of the transport, the driver returned the delivery notes to the sender and filled in and had the driving report confirmed. Handwritten data were also used to record other activities, such as attendance of drivers, assigning cars to drivers, daily book of car or evidence of breakdowns.

A diagram of the entire process of the original state (old process) is shown in **fig. 1**.

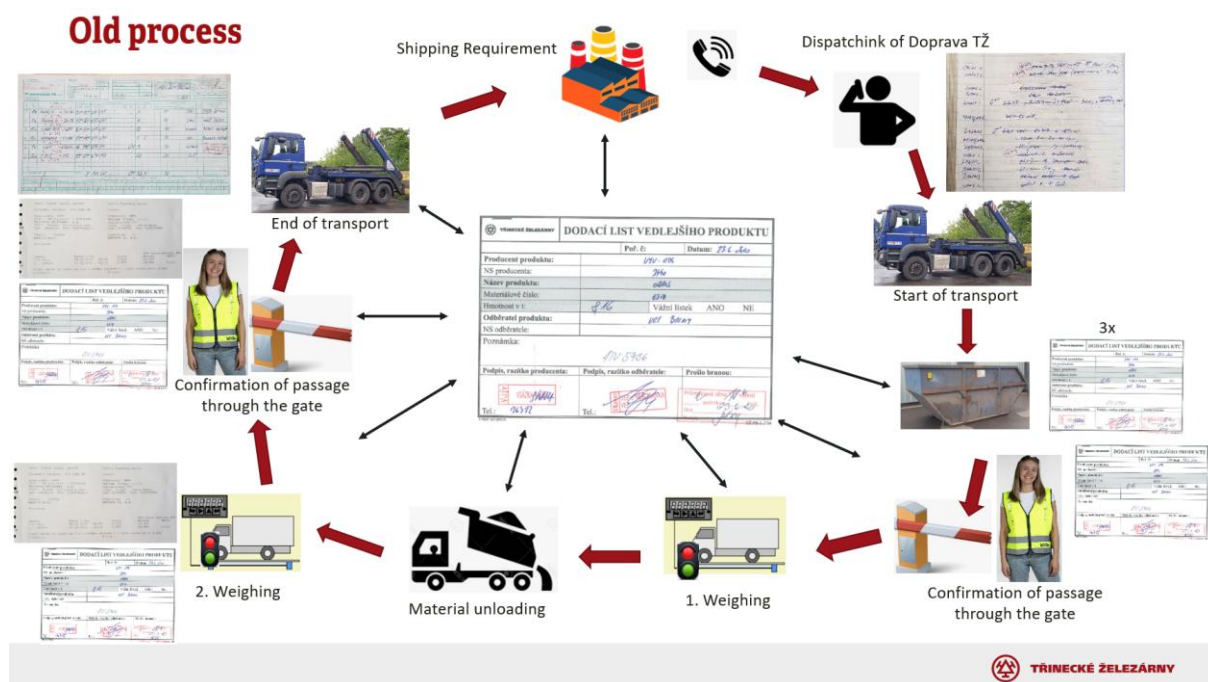


Fig. 1 Scheme of old process  
Obr. 1 Schéma pôvodného procesu

### 3. New process after implementation of digitalization

A new software based on an SQL database for mutual data sharing was created by our programmers. All transport requests are now issued electronically and hand readers are used for their handling. QR code readers are used not only by drivers, but also by the weighbridge ladies and security guards when checking in cars at the gate. Evidence of breakdowns have also been digitalized – each breakdown is reported by the driver using a reader. A photo of the breakdown can also be attached to the breakdown information. All information is in electronic form, there is no need to issue paper documents.

The dispatcher's workplace has been digitalized. The dispatcher uses the program to assign cars to drivers and plans transports. In the program, the progress of the transport is continuously monitored. All newly created transport reservations are sent to the dispatcher. The dispatcher then electronically assigns this transport to the driver, who can see it in the hand reader. At the beginning of the shift, the driver logs into the hand reader and pairs the reader with the car he will be driving. He selects the assigned transport in the reader and drives to the loading point. There he scans the QR code on the container and then he loads the container. On the weight, the weighbridge lady reads the information about transport from the driver's reader. Subsequently, the data is transferred to the weighing software and the car is weighed. On fully automated weights, the driver can weigh his car by scanning the weighbridge's QR code.

At the gate of the TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. premises, the guard scans the QR code from the car door and confirms the passage of the vehicle through the gate. The unloading is confirmed by the staff on the computer at the unloading point. The driver returns the empty container to the loading point and ends the transport in the reader. When the transport is finished, the transport is checked by the clerk responsible for invoicing. The diagram of the new process is shown in **fig. 2**.

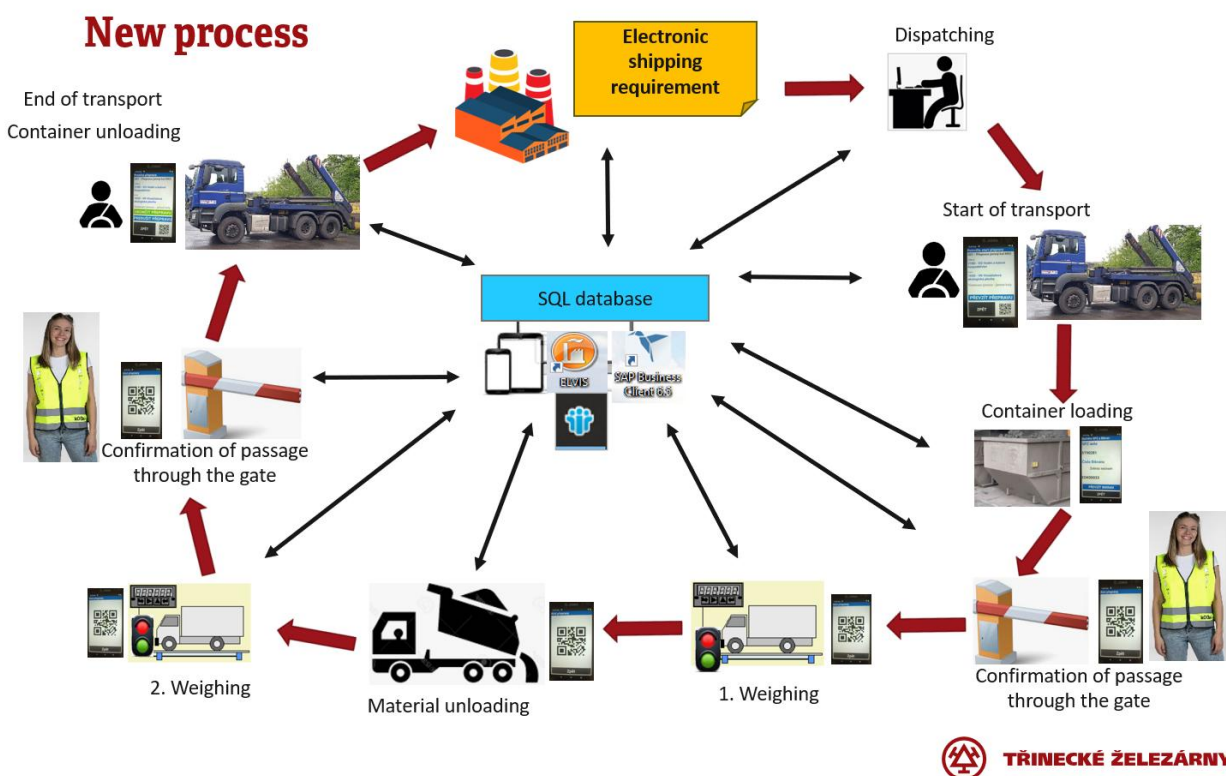


Fig. 2 Scheme of new process  
Obr. 2 Schéma nového procesu

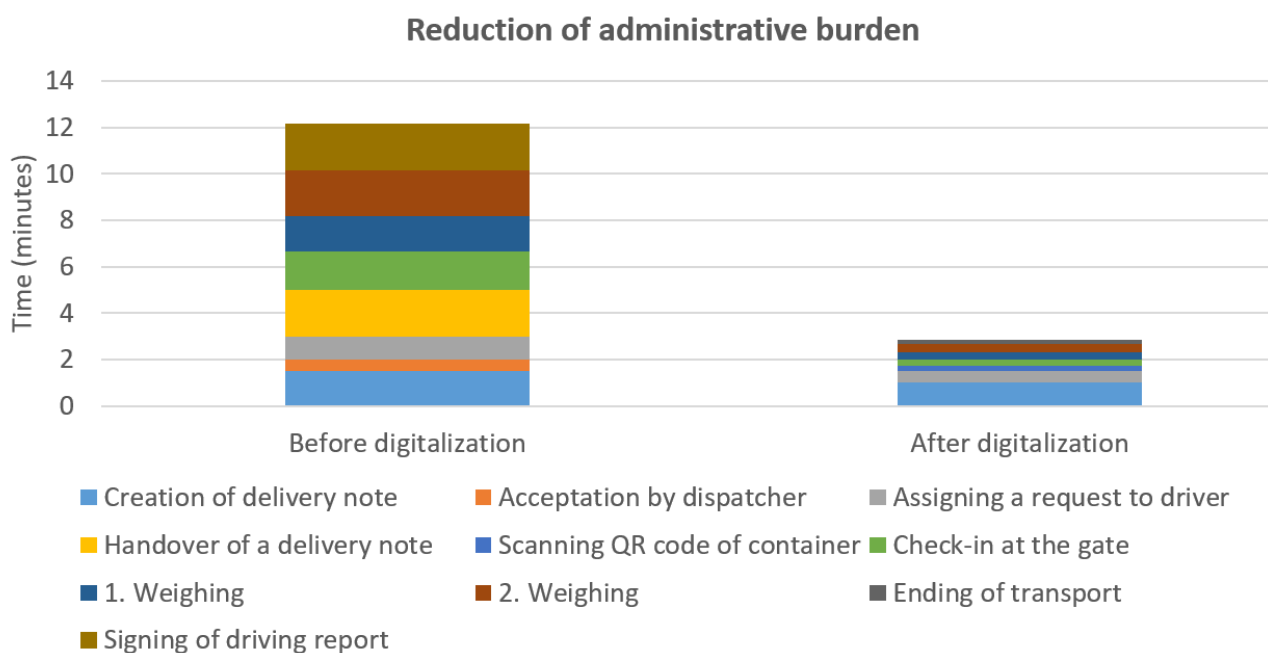
#### 4. Benefits of digitalisation of transport

The main benefits of digitalization of in-house transport are:

- Cost savings – annual savings from digitalization on labour costs amounts to EUR 100,000, another saving of EUR 5,000 is savings from printing and filling in papers.
- Acceleration of the entire transport process – by shortening administrative activities, up to 9 minutes were saved per transport. Drivers are able to make more transports during their shift. The contribution of individual measures to the acceleration of the whole process is shown in **fig. 3**.
- Data uniformity – thanks to data sharing, there is no need to retype data to the computer, that's speeds up the process and eliminates errors.
- Process control – thanks to the availability of data from the entire process, the process can be better controlled and further savings can be sought.

Costs of the digitalization were:

- Purchase of hand readers and computers for EUR 20,000.
- Programmers' work: 200 working days.



**Fig. 3** Saved time in minutes due to digitalization  
**Obr. 3** Úspora času po zavedení digitalizace (v minutách)

## 5. Conclusion

As part of the merger of Doprava TŽ, s.r.o. with the parent steel company TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., the entire transport process was digitalized and all paper documents were digitalized. All administrative processes have been digitalized. Telephone ordering of transport, filling in documents and rewriting data into a computer have been cancelled. Thanks to digitalization, the entire process has been accelerated and financial costs have been saved.

## REFERENCES

- [1] RANCE, O., PERRET, E., SIRAGUSA, R., LEMAITRE-AUGER, P. RCS Synthesis for Chipless RFID: Theory and Design. Oxford: Elsevier, 2017.
- [2] HASSAN, M., PIRAMUTHU, S. Review of auto-ID technology use in warehouse management. International Journal of RF Technologies. 2021, vol. 12, no. 1, pp. 35-51.
- [3] SINGH, S. QR code analysis. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. 2016, vol. 6, no. 5, pp. 89-92.
- [4] COHEN, E.E. Reading between the lines: using bar-code technology is a smart way to keep track of business data. Journal of Accountancy. 1994, vol. 178, no. 2, pp. 59-63.
- [5] FATNANI, K., MALIK, L.G. A review of various industrial applications of barcode technology. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2015, vol. 3, no. 4, pp. 3252-3255.
- [6] HRUSKA, R., SVADLENKA, L., JURANKOVA, P. Challenges for automatic identification systems in the supply chain. International Journal of Learning and Change. 2019, vol. 11, no. 3, pp. 252-267.

***„Originál tohoto článku byl publikován ve sborníku konference METAL 2024 a je zde uveřejněn se souhlasem autora.“***

# Rozhovor

## Estetika průmyslu v objektivu Pavla Zubka

*Pavel Zubek, narozen v r. 1969 v Jablunkově, ale jinak žijící téměř celý život v Třinci. Fotografování se věnuje přes 30 let, z toho industriální fotografii 20 let. Stal se jako první Čech členem mezinárodní umělecké skupiny Industriekultur-fotografie se sídlem v Německu, která mu pomohla seznámit se s fotografy, malíři či sochaři z celého světa, jejímž společným motivem je tzv. Průmyslové umění.*



Pavel Zubek

Zubek je úspěšným účastníkem několika fotografických soutěží, mezi jinými i třeba několikanásobným vítězem soutěže CanonCzech. Vystavuje v Evropě a fotografuje aktivní průmysl, hlavně hutní a těžební nejen v Evropské Unii, ale i na Ukrajině či v Rusku, taktéž v dalekém Vietnamu...

Většinu svého aktivního fotografického života však tráví v Třineckých železárnách, a.s. a v dolech bývalého OKR. S tím je spojena i jeho vydavatelská činnost, kdy v roce 2014 v nakladatelství Beskydy pod vedením Bronislava Ondraszka vydal svou prvotinu „WERK objektivem Pavla Zubka“. V těchto dnech vychází jeho další kniha pod názvem „ÚTLUM“ věnující se postupné likvidaci černouhelných dolů již neexistujícího Ostravsko-karvinského revíru. Kniha si dává za cíl fotograficky zdokumentovat vše, co bylo možné v dolech OKR od roku 2007 až do současnosti, kdy za pár měsíců uzavírá svou činnost poslední šachta – Důl ČSM ve Stonavě.

**Odkazy:** [www.pavelzubek.cz](http://www.pavelzubek.cz) a na FB: <https://www.facebook.com/pavel.zubek>

### ***Co je Industriální fotografie?***

Všeobecně každá fotografie, jejímž objektem je zachycení samotného průmyslu. Jak jeho estetické krásy, detailu či naopak celku, ale i jeho samotné funkce. Je k tomu ale zapotřebí jistých pravidel a tím nejdůležitějším je udržení svislých a vodorovných linií pod úhlem 90°. Tím chci říci, že se snímek nesmí naklánět do stran a linie se nesmí sbíhat, ale musí být vždy vodorovné. Klasické objektivy mají fyzikální optickou vadu, jejímž výsledkem je fotografie, kde se jeví, že vámi zachycený objekt musí spadnout. Proto používám TS objektivy, kde se tyto linie nebortí, jsou stále rovnoběžné. Za zakladatele tohoto směru jsou považováni manželé Bernd a Hilla Becherovi, kteří spolu dokumentovali průmyslové objekty v západních zemích někdy od roku 1960 až do konce druhého tisíciletí. Jejich fotografie byly černobílé, technicky precizní, mnohdy monotónní, ale z jasných důvodů zachytit typologii vybraných objektů. Vytvořili tak katalog vodojemů, těžních věží, vysokých pecí, plynojemů a jiných staveb, které již v současném světě nenajdete, ale jejich dokumentární obsah je nadčasový. U nás to byl třeba Antonín Byrtus, který dokázal do původně chladné industriální fotografie přenést i emoce a tím se východní fotografové dodnes liší od těch anglosaských. Chceme do toho dát něco více, ale ne vždy je to u západních sousedů přijato kladně. Jsou hodně konzervativní. To nemění nic na věci, že pár jedinců z východního bloku má v Evropě i světě vysoké renomé v oboru průmyslové fotografie! U nás je tato fotografie mylně spojována s dobou socialismu a komunistické propagandy, ale tohle fungovalo i na tehdejší "Západě" a dokonce existují obrázky z přelomu 19. a 20. století, kde jsou vyobrazeny jednotlivé fabriky či záznamy práce v obrovské technické kvalitě a nemají vůbec nic společného s politikou. Jsou jen dokumentem doby.

### ***Jak jsem se dostal k industriální fotografii?***

Zřejmě tím, že celý život bydlím nedaleko komínů třinecké huti a část mé rodiny, vlastně kdysi dávno i já, jsme v Třineckých železárnách pracovali a doma se hovořilo o dění v Mechaniku či na Odvalu. Při návštěvách máminých sourozenců nebo otcových švagrů jsem zase poslouchal o věcech, které se udály na šachtě. Koneckonců i můj bratr byl jistou dobu horníkem. Mám k tomu blíže než kterýkoli jiný fotograf zabývající se tímto oborem.



*TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. objektivem Pavla Zubka*

### ***Co mě fascinuje na průmyslovém prostředí nejvíce?***

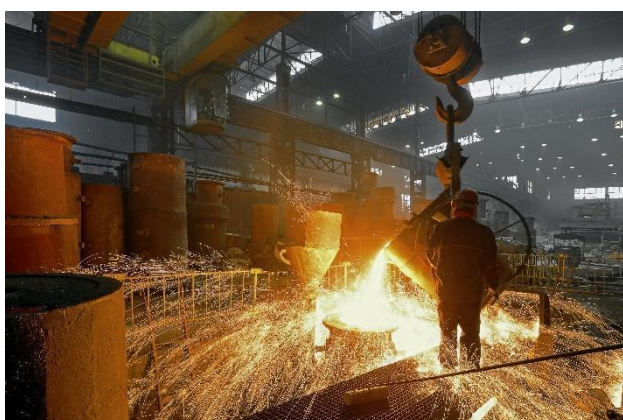
Především těžká práce hutníků či havířů, jejich pospolitost, možná i nebezpečí, ojedinělost tohoto povolání. Taktéž samotné dění na provozech. Všude přítomné odstíny červenooranžové barvy, případně neskutečné tmy a černi v dolech. Taktéž zajímavá architektura vysokých pecí, u dolů zase těžních věží.

### ***Jestli mám rád aktivní provozy, nebo opuštěné průmyslové objekty?***

S tou barvou a lidmi mi jde především o ty provozy aktivní! To je můj cíl. Občas se samozřejmě zastavím i u opuštěných míst, kde ještě zůstalo zachováno strojní zařízení bývalé firmy, ale to jsou ojedinělé objekty. Všeobecně se Urbexu nepřikláním již jen proto, že fotografování je ilegální a hrozí vysoké riziko úrazu či poškození cizí věci. Já chci mít vše legálně s oficiálním povolením. Mám už své roky a nemíním se nahánět s ochrankami jednotlivých objektů. Nestojí mi to za to.

### ***Jaký typ průmyslových lokalit mě nejvíce inspiruje?***

Již z předešlých odpovědí vyplývá, že mi jde především o výrobu oceli a samotnou těžbu nerostných surovin. S tím je spojena i má fotografie. U šachet jde hlavně o hlubinnou těžbu uhlí, uranu a dalších rud. V tom metalurgickém směru mi jde o prvovýrobu – koksovny, aglomerace, vysoké pece a ocelárny, ale nepohrdnu slévárnami, kovárnami a válcovnami. Všude tam vidím žhavé železo, ocel – ten oheň a žár tam prostě musí být. V jiných odvětvích už to vidět tolik nejde.



*Průmyslová fotografie objektivem Pavla Zubka: Saint-Gobain PAM, Francie (vlevo nahoře); Donetsktal, Ukrajina (vpravo nahoře); bývala Huta Buczek, Polsko (vlevo dole); APERAM Chatelet, Belgie (vpravo dole)*

### ***Jak vnímám kontrast mezi estetikou průmyslu a jeho drsností?***

Na to se jen tak lehce neodpovídá, protože to člověk musí mít v sobě. Musí cítit a vnímat krásu těžkých, tmavých, zaprášených, občas i páchnoucích provozů po síře či spékající se rudě. V tom hledám to světlo, které je pro všechny lidi na světě jakýmsi vodítkem či životní linií. Světlo a tma, to je asi to gró, které v podzemí nebo v hutích vnímáte více než kdekoli jinde a tím se vytváří i to estetické vnímání. Není to o oblých křivkách ženy, ale přesně naopak o změti dopravních pásů, potrubí, chaosu kabelů a ostrých předmětů všude kolem vás. O ohni a kouři. O prachu, přes který lze vidět jen na pár metrů. Trefit se tak kompozičně do té změti a vytvořit koukatelné foto je pak neskutečná radost.

### ***Příprava na focení v průmyslovém prostředí z hlediska techniky a bezpečnosti?***

Nejlepší je samozřejmě si prvně daný provoz projít s někým zkušeným a seznámit se s možnými riziky, která vás mohou potkat, ale tyto možnosti v zahraničí nemáte, jelikož vám majitelé firem dají jen pár hodin na to, abyste zdokumentovali, co potřebujete. Pak vycházíte ze svých letitých zkušeností z jiných obdobných provozů, ale pozor si musíte dávat pořád. Vždy je lepší, když dostanete člověka, který se dívá všude kolem a jistí vám záda nebo pomáhá nosit bezpečnostní pomůcky, kterých je třeba na šachtách hodně a fotit se s tím prakticky nedá. Nemůžete mít brýle na očích, abyste mohl koukat do hledáčku. Kyslíková maska vám neustále padá z ramene a strhává ruku, kterou držíte kameru nebo vám co chvíli uhoďí do stativu a je po fotce. Úplnou samozřejmostí je používání všech prvků bezpečnosti práce od obuvi, oděvu, přilby či špuntů do uší. Horší je to pak s mou fototechnikou, která trpí v tom prachu, někdy i horku více než samotný výrobce kamery a objektivu očekává. Čip musím čistit častěji, než je běžné, o objektivěch ani nemluví. Pravidelně je posílám do servisu na čištění. Také jsem tak už i o objektiv přišel. Prach je agresivní a zničí vám kontakty a elektroniku. Popálené nožky stativu či kryt kamery jsou běžným jevem. I já jsem už měl drobné popáleniny, ale s tím se počítá. Příště si člověk dá větší pozor, postaví se jinde, vezme si třeba nehořlavý plášť nebo si koupí nový objektiv, heh.

### ***Jaké vybavení a ochranné pomůcky považují za nezbytné?***

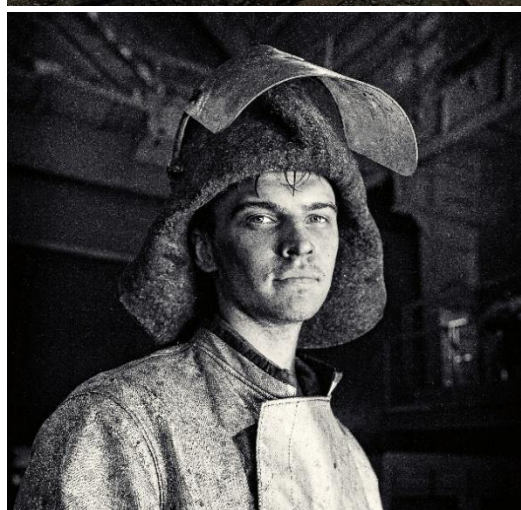
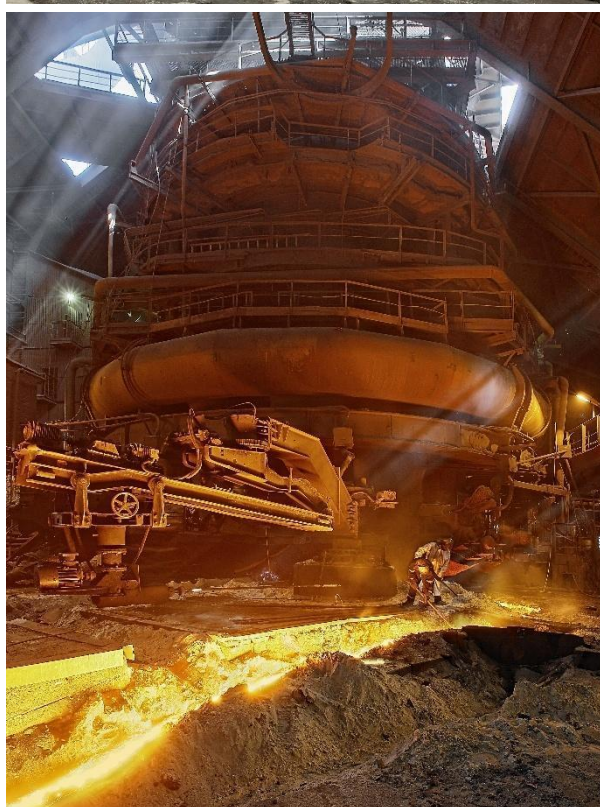
Co se týká BOZ, tak na to jsem odpověděl vlastně už výše a k technice řeknu toto. Nepoužívám žádná pomocná světla, těžím jen ze světla přirozeného, které na místě je zrovna v daný moment. Stativ je nutností, jelikož z ruky v tmavých prostorech je prakticky nemožné fotit. K tomu potřebujete drátovou samospoušť. Hadřík na čištění objektivů. Dva tři objektivy. Já používám tzv. Tilt-shift skla, která jsou určena na architekturu. Jejich pomocí konečnou fotografii poskládám ze tří snímků, které postupně těmito objektivy nasnímám. Je to složitější postup fotografování, ale výsledek stojí za to. Tělo mé kamery je od firmy Canon, konkrétně mám již třetí fotoaparát. Používám zrcadlovku Canon 5D Mark III.

### ***Jestli jsem někdy musel improvizovat kvůli omezeným podmínkám na provozu?***

Někdy jsem improvizoval tak, že jsem musel fotit z ruky, protože se mi porouchal stativ nebo fotil na jiné „sklo“ než jsem chtěl, protože to hlavní se také odporoučelo do věčných lovišť a když jste někde v zahraničí, tak nové si jen tak lehce nepořídíte hned.

Jinak improvizace je neustálá neb ne vždy můžete stát tam, kde potřebujete. Na místě je výkop, stojí tam jeřáb nebo nějaké jiné zařízení, které tam zrovna nechcete, musíte se postavit jinde, použít jiný objektiv nebo začít rychle komunikovat s oprávněnou osobou, která je schopna odstranit překážku. Někdy se musíte na místo vrátit později a změnit itinerář fotografování hutě. Často se stává, že na válcovnách jsou výluky a musíte tak čekat třeba i několik hodin na přestavbu stolic. Měníte plán a jdete fotografovat koksovnu nebo se vracíte na odpich železa, který se pravidelně opakuje v časových intervalech.

Někdy vám volají třeba z Ocelárny, že budou mít tavbu, na kterou čekáte třeba půl dne, tak hned všeho necháte a úprkem běžíte fotit tavbu a zase zpátky. Člověk se nachodí! Někdy se však stane, že nenafotíte nic. Je třeba porucha zařízení. Horší je pak to, když přijedete třeba do Ruska na Ural a čekáte tři dny na nějaké přibližlé razítko, aby vás vpustili na závod. Také se nám stalo, že přes všechna povolení majitelů nás do hutě nevpuštěli. Stěžovat si můžete, kde chcete. Moskva, kde sídlí majitelé, je tak daleko, že vám nepomůže ani svěcená voda. Je to smutné, ale je to tak.



*Průmyslový život na Urale objektivem Pavla Zubka (NTMK – vlevo nahoře a URAL STEEL, vše Rusko)*

### ***Jak zachytit duši průmyslové architektury, aby zapůsobila víc než dokumentárně?***

No, to je věčná otázka fotografie! Fotograf fotí, co vidí. Já se řadím k dokumentaristům a to proto, že chci zachytit provozy ve své podstatě a nechat dokument budoucí generaci, aby viděla, jak a kde jsme pracovali. Nebudeme si nic nalhávat. Těžký průmysl ve formě, kterou známe posledních 300 let, končí. A končí strašně rychle a my jsme svědky zániku něčeho, co nás živilo a formovalo a posunulo tam, kde jsme nyní.

Ale zpátky k tématu. Pokud se podaří vytvořit kompozičně i emočně kvalitní i hezký snímek, tak je to třešnička na dortu! Když vám posvítí světlo, jak potřebujete, nad šachtou se rozvine třeba mlha a z ní vyčnívá jen těžní věž, nic ji v tu chvíli neruší, tak je to hezké. Vysoké pece v nočním světle také vypadají jinak, než běžně vidíte. Odpich železa je doprovázen rozstříky strusky do okolí a když použijete delší čas, tak je fotka hned zajímavější. Záleží na fotografovi, jakou techniku použije, ale i na okolních světelných či meteorologických podmínkách, na štěstí, na výběru místa a na podařené kompozici. Je toho hodně...

### ***Mám nějakou fotku či sérii, která mě obzvláště těší?***

Mám! Je jich hodně! Za těch 20 let v provozu se podařilo nafotit zajímavé věci, ale i ty, po kterých neštěkne ani pes. Je to přirozené a je to tak u všech fotografů. Já si vážím série fotografií ze sléváren ve Vietnamu, kde se sešly světelné podmínky s kompozicí neskutečně dobře. Fotky z ruských hutí, obzvláště z vysokých pecí jsou pro mě také povedené. Samozřejmě jsou i fotografie z Třineckých železáren, kde mám krásné portréty, odpichy na pecích, lití strusky, tavby na ocelárnách či slévárnách. Snímky z dronu také považuji za něco zajímavého, co se jen tak nevidí. Taktéž z hlubinných dolů mám krásné fotky. Je toho dost, co mě uspokojuje, ale zároveň tlačí dopředu, abych zachytil zase něco nového zajímavého.



*Slévárny – My Dong, Thuy Nguyen, provincie Hai Phong, Vietnam*

### ***Jak reagují lidé z provozu, když vidí mé výsledky?***

Z počátku se ostýchají a nechtějí se fotit, připadají mi jak Indiáni na divokém Západě, kteří si mysleli, že jim fotoaparát vezme duši, ale po jisté době se musí soustředit na svou práci a pokud mi to vyloženě nezakážou, tak je fotím. Pokud mě znají, o to je to pak jednodušší. O fotky si pak píšou, chodí na výstavy, sledují mé stránky, komunikují na FB nebo si mě zvou na jejich akce, kde jim promítám fotky z jiných hutí ve světě nebo se sejdeme jen tak na pivo a pokecáme. Je to hezké, když prolomíte ledy a dokážete lidem, že vám jde opravdu o kvalitní fotografii...

### ***Jak vidím budoucnost tohoto žánru? Jestli se něco změnilo v industriální fotografii za posledních 20 let?***

Změna je především v tom, že už není těch provozů tak hodně, jak bylo. V 70. a 80. letech 20. století se zavřelo hodně fabrik na Západě a k nám se to přeneslo na přelomu tisíciletí. Rapidně se všechno bourá a likviduje. Výroba se přesouvá na východ.

Průmysl u nás bude vypadat jinak, především nebude ten těžký s tou svou drsnou atmosférou. Proto se snažím ještě zachytit, co jde. Za 20 let to bude historie. Samozřejmě něco málo zůstane, asi se někdo najde, kdo bude jistě používat vyspělé technologie na bázi AI a bude chtít nafotit to, co ještě půjde nebo se přesune na ten Východ. Věřím, že fotografie přežije, ale nevím, v jaké podobě. Jestli zůstane na bázi přirozeného lidského dokumentu a uměleckého vnímání nebo ji umělá inteligence převálcuje a bude tvořit uniformní snímky s chladným počítačovým cítěním, jestli se to tak dá vůbec pojmenovat?!

***Co bych chtěl ještě nafotit, pokud by mi v tom nebylo bráněno?***

Samozřejmě hutě a doly v Číně a v Indii. Ale to je momentálně prakticky nemožné. Poslal jsem do Číny přes 40 žádostí s povolením o fotografování hutí, dokonce přeložené do čínského jazyka. Bez odpovědi. Indie nekomunikuje s nikým, kdo se oboru průmyslové fotografie věnuje, jen odpovídá, že by mi prodali válcovaný materiál nebo kus železa...

Rád bych viděl naše hutě třeba v 70. letech 20. století nebo začátky průmyslové revoluce v Rusku nebo Švédsku ke konci 17. století, odkud se postupně přesunula do Evropy, ale to je již Sci-Fi, ale kdo ví? Snad jednou, někdy? Všechno je otevřené, jen musíme věřit!



*Vypalování slitku železa v nístěji vysoké pece (TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.)*

*Rozhovor vedl: Ing. Jiří Cupek, Ph.D., Předseda předsednictva ČHS  
Foto: Pavel Zubek*

# Z činnosti České hutnické společnosti, z.s.

## Železiarne Podbrezová a.s. – tematická cesta ČHS (OS-08 VÚHŽ)

V letošním roce na konci října navštívili členové ČHS společnost Železiarne Podbrezová a.s. (dále ŽelPo). Tematické cesty se zúčastnilo 11 členů za účelem shlédnutí uceleného výrobního procesu a projednání možného prohloubení kooperace v rámci dodavatelsky smluvních vztahů.



Účastníci exkurze

Úvodem jsme byli seznámeni v muzeu ŽelPo o počátcích těžby a zpracování železorudných nerostů sahajících do 13. století. V rámci prezentace o historii ŽelPo od založení v roce 1840 jsme se dozvěděli o bohaté historii firmy, která se vyprofilovala na minihut', jež slaví letos svoje 185 výročí.

Nyní se tato společnost řadí se svou flexibilitou a kvalitou mezi nejvýznamnější evropské výrobce ocelových bezešvých trubek. Prvními výrobky ŽelPo byly kolejnice, plech a tyče, nyní jim patří prvenství ve výrobě trubek.

Ze strany VÚHŽ byl předán muzeu historický záznam z kroniky VÚHŽ popisující nasazení a uvedení do provozu prvních hladinoměrů tekuté oceli v krystalizátorech 4proudého kontilití, které byly instalovány právě v ŽelPo v roce 1985. Tento vývoj hladinoměrů a spolupráce s ŽelPo se staly základem pro budoucí úspěšné podnikání VÚHŽ.

Následně proběhla prohlídka 3 výrobních provozů.

- **Prohlídka komplexního provozu elektroocelárny s EOP** italské konstrukce umístěné v tzv. *dog house* – jedná se o pec pracující s tekutým zbytkem a šrotovou vsázkou 60 tun. Doba tavby tzv. T-t-T time je 1 hod. a teplota odpichu 1620 °C s následným zpracováním na pánvové peci LF a odlitím na rekonstruovaném 3proudém ZPO s rádiusem 9 m.

- **Prohlídka válcovny trub postavené na bázi technologie SMS** – jedná se o technologii využívající přetlačovací nástroje při válcování trub s následnou redukcí na požadovaný průměr a tloušťku stěn. V dílně pro výměnu ložisek a redukovacích válečků jsme diskutovali o pravidelných dodávkách a renovacích válečků z naší Slévárny ve VÚHŽ, odlévaných technologií odstředivého lití.
- **Prohlídka tažírny trub s finalizací** – jedná se o technologii tažení na trnu s předchozím chemickým odokujením a následným tepelným zpracováním včetně úpravářenských činností jako dělení + NDT kontrola (ultrazvuk na vnitřní vady a vířivoproudá metoda na povrchové vady). Na dílně ohýbárny trub proběhla diskuse aplikované povrchové technologie povlakování z VÚHŽ Povlakovny na tvarovkách a zkušeností s její životností.

*Text i foto: Michał Sikora*

*Předseda OS-08 VÚHŽ, Česká hutnická společnost, z.s.*

## Souhrny diplomových prací (oceněných v soutěži ČHS)

### **„Bezdrátový monitorovací a vizualizační systém koncentrace plynů pro použití v průmyslu“**

**Autor:** Ing. Tomasz Cymorek

#### **Abstrakt**

*Tato diplomová práce se zaměřuje na technologii Internetu věcí (IoT – Internet of things) a jeho využití v průmyslu. Hlavním cílem této práce je vytvoření snímače využívajícího technologie IoT k monitorování plynů uvnitř průmyslových objektů. Teoretická část popisuje typy a principy senzorů plynů a dále možnosti bezdrátového přenosu. Praktická část se zabývá konstrukčním řešením snímače, společně s implementací technologie IoT pro sběr a vizualizaci naměřených dat. Poslední částí práce je nasazení snímače do provozu, jeho testování a zhodnocení výsledků.*

**Klíčová slova:** Internet věcí; IoT; LoRaWAN; The Things Network; MQTT; Hutní průmysl; Detektor plynů; Oxid uhelnatý; Metan; Vodík; FIS3000; HARDWARIO; Raspberry Pi; Node-Red; InfluxDB; Grafana; React Native; Autodesk; PCB

#### **Abstract**

*This diploma thesis focuses on Internet of Things (IoT) technologies and its use in metallurgy industry. The main goal of this work is to create a sensor using IoT technologies to monitor gases inside industrial buildings. The theoretical part describes the types and principles of gas sensors and the possibilities of wireless transmission. The practical part covers the design solution of the sensor, together with the implementation of IoT technologies for the collection and visualization of measured data. The last part of the work is putting the sensor into operation, testing it and evaluating the results.*

**Key words:** Internet of Things; IoT; LoRaWAN; The Things Network; MQTT; Metallurgy industry; Gas Detector; Carbon monoxide; Methan; Hydrogen; FIS3000; HARDWARIO; Raspberry Pi InfluxDB; Grafana; React Native; Autodesk; PCB

### **1. Úvod**

Hutní průmysl patří mezi odvětví s vysokou mírou bezpečnostních rizik, počínaje extrémními teplotami, prací s těžkými břemeny nebo obsluhou těžkých strojů. Jedním z neviditelných rizik spojených s touto výrobou jsou nebezpečné plyny.

Tyto látky jsou nebezpečné pro člověka z hlediska udušení, intoxikace nebo nesou přímé riziko výbuchu a požáru. Často jsou nepostradatelným prvkem při výrobě železa a oceli, nebo jsou vedlejším produktem při jeho zpracování. Z tohoto důvodu je nutné kontrolovat, zda nedochází k jejich únikům mimo pracovní oblast jejich použití a limitovat tak riziko újmy na zdraví nebo majetku.

V dnešní době se používají dva typy monitorovacích zařízení pro měření plynů – přenosná a stacionární. Přenosná měřidla jsou určena pouze pro osoby, které je nosí přímo u sebe. Výhodou jsou jejich malé rozměry a jednoduchost obsluhy. Ale data ze snímače vidí pouze jeho uživatel na displeji a také z důvodu napájení z baterie se nehodí pro dálkové a kontinuální měření. Právě k tomuto účelu se využívají stacionární měřicí přístroje. Díky pevnému umístění dokážou nepřetržitě sbírat data v určeném předdefinovaném místě a posílat je do systému pomocí datových kabelů.

S nástupem nových technologií v oblasti internetu věcí a bezdrátových přenosů lze spojit výhody přenosných i stacionárních měřicích přístrojů. Tato zařízení budou moci být umístěna téměř kdekoli ve fabrice, schopná kontinuálního dálkového přenosu a možnosti přenosu dat zařízení bez potřeby přivádění nových datových vodičů.

Cílem práce je vytvoření kontinuálního monitorovacího systému pro měření koncentrace vybraných nebezpečných plynů v blízkém okolí výstupu z krokové pece nebo hlubinných pecí určených pro nahřívání ocelových sochorů před válcováním.

Oba typy pecí jsou zahřívány spalováním směsí vysokopecního, koksárenského a zemního plynu, které jsou směsí výbušných a toxických plynů. Systém bude monitorovat tyto látky ve vzduchu. Zpracovaná data bude posílat pomocí bezdrátové komunikace LoRaWAN na server „The Things Network“ využívaný pro internet věcí. Data jsou poté uložena na lokálním serveru v databázi InfluxDB a následně vizualizována pomocí platformy Grafana a mobilní aplikace vytvořené v React Native.

Tato práce je rozdělena do několika kapitol zabývajících se analýzou a návrhem bezdrátového měřicího systému v hutním průmyslu.

- První kapitola se teoreticky zabývá plyny používanými v hutnictví a jejich negativními dopady při úniku. Následně je zde provedena analýza dostupných modelů plynových detektorů na trhu. A dále se zde popisují typy plynových senzorů a možnosti bezdrátového přenosu pro internet věcí.
- Druhá kapitola popisuje návrh řešení a následnou realizaci bezdrátového snímače po konstrukční stránce návrhem desky plošných spojů a jeho upevnění. V dalším kroku je přiblížen návrh měřicího firmwaru a přenos dat pomocí LoRa na IoT server The Things Network. Závěr poslední kapitoly popisuje vytvoření lokálního serveru a specifikuje běžící aplikace a jejich funkce pro ukládání dat a vizualizaci naměřených hodnot.
- Třetí kapitola pojednává o uvedení zařízení do provozu a jeho testování.
- Poslední kapitola obsahuje shrnutí výsledků této práce a možnosti úprav do budoucna.

Tato práce přispívá k modernizaci hutních podniků ve směru bezdrátových měřicích technologií pro kontinuální sběr dat pomocí moderních IoT technologií a vizualizace dat. Zařízení je schopné měřit až 4 vybrané plyny pomocí snímačů FIS s nízkou spotřebou energie v různých prostředích pokrytých LoRaWAN sítí. Tímto přispívá k zvýšení bezpečnosti a plánování prediktivní údržby v oblasti práce s nebezpečnými plyny.

## 2. Závěr

Tato diplomová práce se zabývala návrhem kontinuálního monitorovacího systému pro měření koncentrace vybraných nebezpečných plynů. Výsledným řešením je detektor plynu měřící koncentraci oxidu uhelnatého, vodíku a metanu. Měří okolní vzduch každých 10 minut a výsledné hodnoty odesílá pomocí LoRaWAN přenosu na server The Things Network.

Tyto hodnoty jsou následně získávány komunikačním protokolem MQTT na lokální server, kde jsou data uložena v databázi InfluxDB a následně vizualizována v aplikaci Grafana na tomtéž zařízení, nebo pomocí mobilní aplikace.

Prvním krokem při realizaci této práce byla analýza současného stavu v oblasti měření plynů. Byly zde probírané plyny, které se nejčastěji vyskytují v hutním průmyslu a do jaké míry jsou nebezpečné. Teoretická část dále pokračovala analýzou trhu plynových detektorů. Následně byly popisovány typy senzorů plynu. Konec kapitoly byl věnován možnostem bezdrátového přenosu a související legislativě.

Druhá část se zabývala návrhem a realizací hardwaru detektoru plynu. Jako řídicí jednotka byla vybrána platforma HARDWARIO Tower díky své modulární konstrukci, a hlavně LoRa modulu umožňujícímu odesílat zprávy pomocí LoRaWAN. Plyny jsou detekovány moduly FIS3001 a FIS3041 s integrovanými polovodičovými senzory. Celý systém je napájen pomocí nabíjecího modulu s Li-Ion akumulátorem. Kvůli modulům vyžadujícím vyšší napájecí napětí byl instalován step-up měnič. Sběr dat probíhá sběrníci UART s podporou volby snímače změnou aktivního kanálu multiplexeru. Rozdíly v napětí jsou řešeny převodníky logických úrovní. Deska plošných spojů propojující všechny komponenty byla navržena v programu Autodesk Fusion a odeslána do výroby ve firmě Pragoboard. Vyrobená deska byla následně osazena a umístěna do montážní krabice. Pro fixaci modulů snímačů byl navržen a vytisknut upínací prostředek.

Třetí část popisuje návrh měřícího a vizualizačního softwaru. Zde je popsán firmware a detailní popis měřícího cyklu. Dále je vysvětleno nastavení komunikace LoRa modulu a přenos dat na server The Things Network. Třetí část pokračuje nastavením lokálního serveru Raspberry Pi a implementací potřebných aplikací. První aplikace Node-Red odebírá MQTT zprávy a extrahuje z nich žádaná data a následně je odešle do databáze InfluxDB 1.0 umístěné na serveru a 2.0 umístěné v cloudu. Data z InfluxDB 1.0 jsou vizualizována v aplikaci Grafana. Měřené hodnoty lze také vizualizovat v mobilní aplikaci vytvořené na frameworku React Native.

Finální částí bylo testování. První test zahrnoval měření koncentrace kalibračních plynů. V druhém testu byl měřen pouze oxid uhelnatý. Navržený detektor byl porovnáván s referenčním snímačem. Výsledkem těchto testů je fakt, že i s tovární kalibrací je nutná kalibrace. Stejná chyba se projevovala na více modulech. Dalším testem bylo měření spotřeby. Hodinová spotřeba je 47,32 C. Při převodu na mAh je spotřeba 13,144 mAh. Akumulátor s kapacitou 2700 mAh bude mít výdrž maximálně 205 hodin, tedy přibližně 8,5 dnů. Po ukončení laboratorních testů byl plynový detektor umístěn do prostor hlubinných pecí.

Bylo zde zjištěno, že v hutním prostředí je zvýšené rušení signálu a zařízení musí být umístěno blíže komunikačním bran. Od té doby snímač fungoval v pořádku. Zařízení snímalo ovzduší a odesílalo data tak, jak bylo plánováno. Avšak koncentrace měřených plynů nebyly dostatečně vysoké a nepřekročily limit spodního rozsahu. Koncentrace tak byla vyhodnocena jako 0.

Všechny cíle této práce byly dosaženy v podobě funkčního bezdrátového monitorovacího a vizualizačního systému koncentrace plynů. Systém monitoruje ovzduší na přítomnost oxidu uhelnatého, vodíku a metanu. Slabým článkem se ukázaly moduly snímačů, které je nutné zkalibrovat nebo zcela vyměnit za citlivější senzory. Díky způsobu připojení pomocí JST pinů se jedná o jednoduchou úpravu. Za útlum signálu můžou být zodpovědné všudypřítomné kovové konstrukce a kabelové trasy umístované na zdech. Ke zlepšení přenosu by mohlo dojít i extrahováním antény mimo montážní krabici.

V budoucnu lze k tomuto systému přidat další senzory plynů anebo i měření jiných fyzikálních veličin. Teoreticky je zařízení limitováno pouze způsobem sběru dat. Dalšími kroky v oblasti průmyslového monitoringu může být zvýšení robustnosti a prachotěsnosti. Pro zvýšení bezpečnosti lze připojit také audiovizuální alarmy. Pokud se monitorovací systém osvědčí, je možné v budoucnu do systému připojit další desítky detektorů a komunikačních bran. Systém by tak mohl snímat oblast celé haly nebo i celého závodu.

### **3. Základní údaje DP**

#### **Název diplomové práce**

*Bezdrátový monitorovací a vizualizační systém koncentrace plynů pro použití v průmyslu*

#### **Jméno a příjmení autora diplomové práce**

*Ing. Tomasz Cymorek*

#### **Název vysoké školy, fakulty, katedry**

*VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství*

#### **Název studijního oboru**

*Řídicí a informační systémy*

#### **Jméno a příjmení vedoucího diplomové práce a jeho afiliaci**

*Ing. Jan Velička, Ph.D. – Akademický pracovník VŠB-TUO Katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství*

#### **Jméno a příjmení konzultanta diplomové práce**

*Ing. Pavel Svoboda*

#### **Spolupracující pracoviště**

*TRINECKÉ ŽELEZÁRNY a.s., VYea – Údržba tenzometrických vah*

#### **Termín obhajoby diplomové práce**

*5.6.2025*

***“Tato diplomová práce byla oceněná v rámci soutěže o Nejlepší diplomovou práci pro akademický rok 2023/2024, vyhlášenou Českou hutnickou společností, z.s.”***

Celé znění diplomové práce je k dispozici v digitálním repozitáři DSpace VŠB-TU Ostrava.

*Zpracování souhrnu provedl Ing. Jiří Cupek, Ph.D.*

## „Ověření bezkazivcových strusek s cílem zajištění požadovaného obsahu síry“

**Autor:** Ing. Roman Bilko

### Abstrakt

*Tato diplomová práce se zabývá hodnocením vlivu chemického složení syntetických strusek na účinnost odsíření oceli během sekundární metalurgie. Experimentální část je zaměřena na analýzu provozních dat ze 68 taveb, včetně chemických rozborů strusek a ocelí odebraných v různých fázích výroby. Porovnávány byly různé typy syntetických strusek, včetně varianty s obsahem fluoridu vápenatého, na základě výpočtů účinnosti odsíření a rozdělovacích koeficientů síry.*

*Pro posouzení vlivu složení strusek na jejich chování při vysokých teplotách byl využit software FactSage 8.3. Pomocí modulů Viscosity a Phase Diagram byla vypočítána dynamická viskozita a sestaveny fázové diagramy systému  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MgO}$  na základě průměrného chemického složení jednotlivých strusek.*

**Klíčová slova:** strusky; bezkazivcové; odsíření; sekundární metalurgie; FactSage

### Abstract

*This diploma thesis focuses on evaluating the influence of the chemical composition of synthetic slags on the efficiency of steel desulfurization during secondary metallurgy. The experimental part is focused on the analysis of operational data from 68 heats, including chemical analyses of slags and steels sampled at different stages of production. Various types of synthetic slags, including one containing calcium fluoride, were compared on the basis of calculated desulfurization efficiency and sulfur partition coefficients.*

*FactSage 8.3 software was used to assess the influence of slag composition on their behaviour at high temperatures. Using the Viscosity and Phase Diagram modules, the dynamic viscosity was calculated and phase diagrams of the  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MgO}$  system were constructed based on the average chemical composition of the individual slags.*

**Key words:** slags; fluoride-free; desulfurization; secondary metallurgy; FactSage

## 1. Úvod

V moderní metalurgii představuje kontrola obsahu síry v oceli klíčový aspekt při zajištění požadovaných mechanických vlastností finálního produktu. S rostoucími nároky na kvalitu oceli je kladen důraz na efektivní odstraňování síry během procesu sekundární metalurgie, kde významnou roli hraje chemické složení pánvové strusky.

Syntetické strusky, jejichž složení je předem definováno, jsou v současnosti preferovanou volbou při výrobě vysoce kvalitních ocelí. Využívány jsou především k dosažení nízkého obsahu síry, a to prostřednictvím optimalizace jejich fyzikálně-chemických vlastností. Účinnost odsíření je ovlivněna nejen obsahem jednotlivých oxidů, ale také jejich vzájemnými interakcemi a výslednými vlastnostmi strusky, jako je bazicita, viskozita nebo teplota likvidu.

V rámci této diplomové práce je úvodní část věnována teoretickému přehledu chemických vlastností strusek, jejich klasifikaci a funkci při rafinaci. Následně jsou shrnuty literární poznatky vztahující se k optimalizaci složení strusek s ohledem na jejich účinnost.

Následně je v experimentální části přistoupeno k systematickému hodnocení vlivu složení čtyř různých syntetických strusek na účinnost odsíření oceli. Cílem je zejména stanovení korelačních vztahů mezi obsahem hlavních složek strusky a účinností procesu odsíření, a to na základě dat z provozu ocelárny. Dále jsou výpočtem analyzovány vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti strusek, jako je dynamická viskozita a oblasti teplot solidu a likvidu. Výpočty jsou realizovány pomocí softwaru FactSage 8.3, a to v modulech Viscosity a Phase Diagram.

Získané poznatky přispívají k hlubšímu pochopení vztahů mezi složením strusky a její funkcí během rafinačního procesu. Zároveň poskytují podklady pro případnou optimalizaci použitých směsí, zejména s ohledem na environmentální aspekty spojené s náhradou kazivce ve strusce alternativními složkami.

## 2. Shrnutí literárních poznatků

Zajištění požadovaného obsahu síry je klíčovým faktorem při výrobě kvalitní oceli. Záměrem literární analýzy bylo najít možnosti nahrazení kazivce ( $\text{CaF}_2$ ) ekologičtějšími alternativami s cílem zlepšení procesu odsíření. Byly zkoumány různé odsiřovací směsi a jejich vliv na účinnost odsíření, chemické složení strusek a ekonomická výhodnost. Z výše uvedených poznatků vyplývají následující závěry:

1. Při rafinaci oceli pomocí procesů sekundární metalurgie hraje syntetická struska významnou roli, jelikož ovlivňuje odstraňování vměstků, řízení chemického složení a zlepšení vlastností finálního produktu.
2. Mezi hlavní oxidy roztavené strusky patří  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  a  $\text{MgO}$ . Na základě bazicity pánvové strusky je dále ovlivněna účinnost odsíření oceli.
3. Alternativním tavidlem MIX na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  a  $\text{K}_2\text{O}$  lze dosáhnout vysoké účinnosti odsíření, která se téměř blíží účinnosti syntetické strusky, obsahující jako tavidlo kazivec. Účinnost odsíření tavidlem MIX se zvyšuje s rostoucí teplotou a optimálním množstvím tavidla v syntetické strusce.
4. Syntetické strusky obsahující  $\text{CaO}$  a briketované  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , přidávané při odpichu z EAF do ocelové lázně dosahují určitého odsíření. Účinnost odsíření je významně závislá na množství přeteklé pecní strusky, které výrazně snižuje aktivitu  $\text{CaO}$ , zvyšuje aktivitu  $\text{FeO}$  a obsah rozpuštěného kyslíku. Využití této směsi snižuje náklady na přísady a eliminaci karbidu vápenatého použitého v sekundární metalurgii.
5. Alternativní odsiřovací směs na bázi  $\text{CaO}$  a sekundárního hliníkového odpadu (SAD) může výrazně podpořit proces odsíření, pokud je zajištěn optimální poměr surovin a vyšší teplota během procesu.
6. Kinetika proudění taveniny hraje významnou roli v procesu odsíření. Odsířením při technologii RH lze dosáhnout velmi nízkých hodnot síry vlivem intenzivního promíchávání taveniny. Vysoká kinetika proudění taveniny skrz vakuovou komoru výrazně zvyšuje kontakt mezi syntetickou struskou a kovovou lázní, čímž se urychluje přenos síry z taveniny do strusky. Proces RH zlepšuje celkovou efektivitu rafinace, což umožňuje dosažení hlubokého odsíření oceli.
7. Rafinační strusky s vyšším podílem kapalné fáze vykazují vyšší účinnost odsíření. Pro dosažení optimálních podmínek je však nutná přítomnost malého množství pevné fáze  $\text{CaO}$ , které zajišťuje rovnováhu a stabilitu chemických reakcí. Strusky na bázi  $\text{CaO}$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mohou dosáhnout srovnatelné účinnosti odsíření jako strusky obsahující kazivec.

### 3. Experimentální část

Cílem experimentální části této diplomové práce je ověření vlastností bezkazivcových pánvových strusek a jejich vlivu na dosažení požadovaného obsahu síry v oceli.

- První část experimentu je zaměřena na stanovení chemického složení pánvových strusek a tavidel.
- V následující části jsou vyhodnocené provozní data testovaných syntetických strusek.
- Další část experimentu je zaměřena na využití softwaru FactSage, kde jsou provedeny výpočty termofyzikálních vlastností testovaných strusek, přičemž je kladen důraz na teplotu likvidu a viskozitu. Tyto parametry jsou zásadní pro efektivní řízení procesu odsíření a optimalizované složení syntetické strusky s cílem minimalizovat použití kazivce.

### 4. Závěr

Na základě provedené analýzy výsledků bylo potvrzeno, že chemické složení syntetické strusky významně ovlivňuje účinnost odsíření oceli během sekundární metalurgie. Porovnáním strusek s obsahem fluoridu vápenatého ( $\text{CaF}_2$ ) a bezkazivcových alternativ byly identifikovány rozdíly jak v účinnosti samotné, tak i v procesní stabilitě. Detailní diskuze byla provedena v kapitolách 5.2 a 5.3. Strusky obsahující  $\text{CaF}_2$  dosahovaly vyšší účinnosti odsíření, přičemž zároveň vykazovaly nižší dynamickou viskozitu, která přispívala k příznivějším podmínkám pro difuzi síry do strusky. Naproti tomu bezkazivcové směsi vykazovaly konzistentnější průběh odsíření napříč tavbami, avšak s mírně nižší účinností.

Za účelem posouzení vlivu dezoxidačního režimu byly všechny tavby rozděleny do dvou skupin: tavby uklidněné hliníkem a tavby uklidněné křemíkem. Bylo potvrzeno, že způsob uklidnění oceli má významný vliv na dosažené výsledky. V tavbách uklidněných hliníkem byla obecně dosažena vyšší účinnost odsíření než v tavbách uklidněných křemíkem. V obou skupinách měly nejvyšší účinnost odsíření zejména struska obsahující  $\text{CaF}_2$ , přičemž vysoké účinnosti odsíření dosáhly rovněž Struska A a Struska C, které byly porovnávány jako alternativní strusky bez kazivce. U taveb uklidněných hliníkem může Struska A nahradit strusku s  $\text{CaF}_2$ , to však neplatí u taveb uklidněných křemíkem, kde Struska  $\text{CaF}_2$  dosahuje nesrovnatelně vyšší účinnosti odsíření v porovnání se Struskou A.

Pomocí softwaru FactSage 8.3 byly provedeny termodynamické výpočty, které podpořily poznatky získané z provozních dat. Modul *Viscosity* potvrdil rozdíly v dynamické viskozitě mezi jednotlivými struskami – bezkazivcové varianty vykazovaly vyšší hodnoty než směsi s přídatkem  $\text{CaF}_2$ . Modul *Phase Diagram* umožnil sestavení kvaternárních fázových diagramů systému  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MgO}$  pro jednotlivé strusky. Bylo zjištěno, že testované strusky se nacházely mimo optimální teplotní oblast, což může negativně ovlivňovat tekutost strusky a tím i zásadně ovlivnit účinnost odsíření.

Na základě výsledků fázové analýzy bylo doporučeno upravit složení bezkazivcových strusek tak, aby se přiblížilo výhodnějším oblastem fázového diagramu. Konkrétně se doporučuje snížit nadměrný obsah  $\text{CaO}$  a zvýšit zastoupení  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , čímž lze dosáhnout stabilnější fázové rovnováhy při provozních teplotách a zlepšit reaktivitu strusky. Z výpočtů dále vyplynulo, že podíl  $\text{MgO}$  má rovněž vliv na posun složení do výhodnějších oblastí s vyšším zastoupením kapalně fáze. Na druhou stranu je důležité zohlednit možnost poklesu teploty v průběhu odlévání, což nebylo cílem diplomové práce.

Závěrem lze konstatovat, že optimalizace složení syntetické strusky je klíčová pro dosažení požadované účinnosti odsíření bez použití fluoridových přísad. Zjištěné poznatky byly v souladu s poznatky uvedenými v literární rešerši, zejména v otázkách vlivu bazicity, viskozity a podílu jednotlivých oxidů na odsířovací schopnost strusky. Úpravou složení hlavních složek je tak možné navrhnout bezkazitcové směsi srovnatelné s běžnými kazitcovými struskami, a tím dosáhnout vyšší metalurgické efektivity a nižší ekologické zátěže.

Výsledky této práce mohou sloužit jako podklad pro provozní technologie oceláren, kteří mohou na základě doporučení zlepšit proces odsíření oceli na mimopecním zpracování.

## 5. Základní údaje DP

### Název diplomové práce

*Ověření bezkazitcových strusek s cílem zajištění požadovaného obsahu síry*

### Jméno a příjmení autora diplomové práce

*Ing. Roman Bilko*

### Název vysoké školy, fakulty, katedry

*VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově technologická, Katedra metalurgických technologií*

### Název studijního programu/ oboru

*Metalurgické inženýrství / Moderní technologie výroby kovů*

### Jméno a příjmení vedoucího diplomové práce a jeho afiliaci

*Ing. Josef Walek, Ph.D., Katedra metalurgických technologií, Fakulta materiálově technologická, VŠB – Technická univerzita Ostrava*

### Jméno a příjmení konzultanta diplomové práce

*Ing. David Bocek, Ph.D.*

### Spolupracující pracoviště

*TRINECKÉ ŽELEZÁRNY a.s., TTO – Technologie výroby železa a oceli*

### Termín obhajoby diplomové práce

*29.05.2025*

***“Tato diplomová práce byla oceněná v rámci soutěže o Nejlepší diplomovou práci pro akademický rok 2024/2025, vyhlášenou Českou hutnickou společností, z.s.”***

Celé znění diplomové práce je k dispozici v digitálním repozitáři DSpace VŠB-TU Ostrava.

*Zpracování souhrnu provedl Ing. Jiří Cupek, Ph.D.*

## „Řízení vsázkového jeřábu pomocí PLC“

**Autor:** Ing. Vojtěch Jež

### Abstrakt

*Diplomová práce popisuje návrh, vytvoření a realizaci řídicího systému vsázkového jeřábu pro hlubinné pece. Práce popisuje základní parametry a vlastnosti jeřábu, společně s přepravovaným materiálem a bezpečnostními riziky hrozícími jak pro operátora, tak pro samotný jeřáb. Dále popisuje jednotlivé jeho komponenty a programovou realizaci.*

*Práce obsahuje problematiku řízení měničů, čtení a zpracování dat z enkodérů, zpracování analogových měření a práci se sítí Profinet. Dále práce obsahuje část věnovanou pro vizualizaci dějů týkajících se jeřábu pomocí HMI panelu a poslední částí je uvedení jeřábu do provozu a zhodnocení nedostatků zjištěných během nájezdu.*

**Klíčová slova:** PLC; HMI; Frekvenční měnič; Enkodér; Profinet; Jeřáb; Hlubinné pece; Siemens; Tia Portal v19; Průmysl 4.0; Internet věcí

### Abstract

*The diploma thesis describes the design, creation and implementation of a control system for an infeed crane for pit furnaces. The thesis describes the basic parameters and characteristics of the crane, the material to be transported and the safety risks for both the operator and the crane itself, as well as describing its individual components and programme implementation.*

*The work includes the issues of controlling the inverters, reading and processing data from encoders, processing analogue measurements and working with the Profinet network. Furthermore, the thesis includes a section dedicated to the visualisation of events related to the crane using the HMI panel, and the last part is the commissioning of the crane and the evaluation of the deficiencies found during the test.*

**Key words:** PLC; HMI; Frequency converter; Encoder; Profinet; Crane; Deep furnace; Siemens; Tia Portal v19; Industry 4.0; Internet of Things

## 1. Úvod

Na provozě válcoven kolejnic v Třineckých železárnách jsou umístěny hlubinné pece. Tyto pece jsou určeny pro ohřev ingotů, kontislitků a bramů, které se následně ukládají na valník směřující do blokovny, kde se válcují a upravují v požadované vývalky, jako jsou například kolejnice různých typů nebo pásy, které se dále upravují a používají pro uchycení kolejnic k pražci.

Tato práce se zabývá softwarovým návrhem nového jeřábu č.4, který bude nahrazovat původní jeřáb č.6. Jeřáb č.4 se používá ke vkládání a vytahování materiálu do a z hlubinných pecí. Materiál vkládaný do pecí odebírá z ingotového vozu, převážecího vozu a občas i z nákladních aut. Vsázený materiál může být v podobě ingotů, kontislitků jak čtvercových, tak i kruhových, anebo bram. Nosnost jeřábu je 18 tun, nicméně pro bezpečný úchop pomocí kleští je omezena maximální nosnost na 15 tun. Jeřáb manipuluje s materiálem o maximální teplotě až 1300 °C. Na jeřábové dráze se pohybují dva jeřáby, což přináší určitá bezpečnostní rizika. Jeřáb musí také odolávat silám při bočním a šikmém tahu, je to z toho důvodu, že během provozování jeřábu dochází k čištění hlubinných pecí a odsouvání ingotů a kontislitků od stěn pece.

Hlavními pohyby jeřábu jsou pohyb mostu, kočky, zdvihu a kleští a také rotace kleští. Pohyby jsou řešeny pomocí frekvenčních měničů od firmy „ABB“ a také pomocí stykačů. Pohyby jsou omezeny buď koncovými spínači nebo plovoucími softwarovými hranicemi vytvořenými pomocí dat čtených z enkodérů.

Původní jeřáb byl ovládán reléovou logikou, což je jedním z důvodů nahrazení původního jeřábu novým. Dalším důvodem je přechod na frekvenční měniče a následná optimalizace řídicího programu za účelem zvýšení efektivity a bezpečnosti.

Tato diplomová práce pro TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s. se věnuje problematice softwarového návrhu a uvedení do provozu vsázkového jeřábu pro hlubinné pece.

## 2. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo naprogramovat řídicí a vizualizační systém pro řízení vsázkového jeřábu. V teoretické části byly rozebrány důvody výměny jeřábu, jeho umístění, problematika hlubinných pecí a s nimi spojená rizika — jak pro samotné zařízení, tak pro obsluhu. Praktická část se zaměřila na návrh, realizaci a otestování řídicího programu pro vsázkový jeřáb.

Největším přínosem pro mě osobně byly praktické zkušenosti s vývojem a testováním středně velkého řídicího systému přímo v provozních podmínkách. Práce reflektuje realitu implementace podobných systémů v průmyslové praxi.

V rámci realizace vznikl funkční řídicí software, který byl průběžně testován dle zásad vývojového modelu V-Model. Jeřáb je řízen operátorem pomocí joysticků a dalších ovládacích prvků. Součástí řešení byla také tvorba vizualizace, rovněž vyvíjená a testovaná v rámci V-Modelu.

Hlavním přínosem práce je vytvoření standardizovaného řešení ovládání jeřábu, které je snadno aplikovatelné i na jiné jeřábové systémy. Vytvořené programové bloky podporují modularitu a opětovné použití, čímž usnadňují nasazení v dalších projektech. Například komunikace s měniči ABB je natolik univerzální, že je využitelná ve všech projektech využívajících tyto měniče. Stejně tak bloky pro řízení pohonů a akčních členů byly navrženy s důrazem na širokou použitelnost.

Během uvádění systému do provozu se objevily komplikace zejména v oblasti hardwaru, způsobené náročnými provozními podmínkami. Softwarové nedostatky se týkaly především chybějících funkcí dle potřeb obsluhy nebo požadavků na softwarové řešení hardwarových problémů. Přes všechny tyto překážky byla realizace úspěšná a jeřáb je již více než půl roku denně využíván v ostrém provozu.

I po dokončení projektu probíhají drobné softwarové úpravy na základě požadavků operátorů či údržby. Mezi významnější zásahy patřilo například doplnění ručního ovládání mazacího systému a možnost nastavení četnosti automatického mazání.

V oblasti hardwaru byla provedena například výměna pohonu pomocného zdvihu (svěru kleští), jehož původní verze nevyhovovala rychlostí pohybu. S tím souvisela i potřebná softwarová úprava týkající se bezpečnosti.

Zpětně vnímám i možnosti vylepšení, například v oblasti HMI panelu, jehož vizualizace by mohla být přehlednější a efektivnější. Tyto poznatky mohou využít v dalších projektech.

Hardware jeřábu se již dále rozšiřovat nebude, další vývoj se bude týkat pouze optimalizace softwaru. Na základě této realizace však lze identifikovat potenciál pro vylepšení budoucích zařízení. Patří sem například větší míra automatizace nebo zjednodušení ovládání pro operátora — například přidání enkodérů na pohony kočky a mostu, které by spolu s HMI panelem umožnily automatické přesuny mezi předdefinovanými body (např. hlubinná pec, parkovací poloha). Plná automatizace však nebude možná kvůli bezpečnostním rizikům při manipulaci s materiálem.

V budoucnu je reálné, že dojde k výměně dalšího jeřábu na stejné dráze. Tato práce by tak mohla posloužit jako základ pro propojení dvou jeřábů s možností jejich souběžného ovládání jedním operátorem, což by výrazně usnadnilo manipulaci s těžkými břemeny, jako jsou víka pecí.

### 3. Základní údaje DP

#### Název diplomové práce

*Řízení vsázkového jeřábu pomocí PLC*

#### Jméno a příjmení autora diplomové práce

*Ing. Vojtěch Jež*

#### Název vysoké školy, fakulty, katedry

*Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava / Fakulta elektrotechniky a informatiky / Katedra Kybernetiky a biomedicínského inženýrství*

#### Název studijního programu/ oboru

*Řídicí a informační systémy / Automatizace a robotika*

#### Jméno a příjmení vedoucího diplomové práce a jeho afiliaci

*Doc. Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D. - Akademický pracovník VŠB-TUO*

#### Jméno a příjmení konzultanta diplomové práce

*Ing. Miroslav Plachta, Ph.D.*

#### Spolupracující pracoviště

*TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY a.s., VH – Válcovna kolejnic*

#### Termín obhajoby diplomové práce

*5.6.2025*

***“Tato diplomová práce byla oceněná v rámci soutěže o Nejlepší diplomovou práci pro akademický rok 2024/2025, vyhlášenou Českou hutnickou společností, z.s.”***

Celé znění diplomové práce je k dispozici v digitálním repozitáři DSpace VŠB-TU Ostrava.

*Zpracování souhrnu provedl Ing. Jiří Cupek, Ph.D.*



**Česká hutnická společnost, z.s. ve spolupráci s vedením TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s.**  
a Partnery dle Dohody o spolupráci ČHS, z.s.

Vypisuje

## **SOUTĚŽ O NEJLEPŠÍ DIPLOMOVOU PRÁCI**

### **Cíle soutěže**

- ocenění autorů 3 nejzdařilejších diplomových prací vypracovaných v technických studijních oborech.
- podpora zájmu mladých lidí o studium technických oborů.

### **Odměna za nejlepší diplomové práce**

- autoři tří vybraných prací v pořadí obdrží finanční odměnu ve výši 10 000,- Kč

### **Podmínky účasti v soutěži**

- Do soutěže mohou být přihlášeny diplomové práce vypracované v technických studijních oborech na libovolné VŠ v ČR na téma vyhlášené některou z následujících společností: TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., ENERGETIKA TŘINEC, a.s., Strojírny a stavby Třinec, a.s., Slévárny Třinec, a.s., TŘINECKÁ PROJEKCE, a.s., Třinecký inženýring, a.s., Šroubárna Kyjov, spol. s r. o., VÚHŽ a.s., ENVIFORM a.s., BOHEMIA RINGS s.r.o. Současně musejí být tyto práce úspěšně obhájeny v akademickém roce 2025/2026.
- Práce musejí být přihlášeny na základě doporučení státnicové zkušební komise nebo vedoucího diplomové práce nebo konzultanta diplomové práce.
- Udělení souhlasu autora diplomové práce se zveřejněním souhrnu z DP v Hutnických listech.
- Přihlášky musí být zasílány na e-mailovou adresu **PredsedaCHS@trz.cz**, a to nejpozději **v termínu do 8.6.2026**.

### **Přihláška musí obsahovat**

- Název diplomové práce
- Jméno a příjmení autora diplomové práce
- Název vysoké školy, fakulty, katedry
- Název studijního programu/ oboru
- Jméno a příjmení vedoucího diplomové práce a jeho afiliaci
- Jméno a příjmení konzultanta diplomové práce
- Spolupracující pracoviště
- Termín obhajoby diplomové práce
- Stručnou charakteristiku diplomové práce (abstrakt)

### **Hlavní kritéria pro hodnocení prací**

- Odborná úroveň práce.
- Přínos práce pro rozvoj oboru a možnosti praktického využití získaných výsledků.
- Způsob vypracování, estetická formální úroveň.

### **Vyhodnocení soutěže**

- Vyhodnocení výsledků provádí a o přidělení cen rozhoduje předsednictvo ČHS a odbor Personální práce a odměňování TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s.
- Slavnostní předání cen proběhne 17.6.2026 na INVENT ARENĚ v rámci programu.

# Informace z partnerských spolků

## Ostrava opět hostila světové odborníky na koksárenství

**OSTRAVA** – Ve dnech 14.–15. října 2025 se v prostorách Clarion Congress Hotelu v Ostravě uskutečnil již **39. ročník Mezinárodní koksárenské konference**, kterou tradičně pořádá **Česká koksárenská společnost (ČKS)**. Akce přilákala více než stovku odborníků z 10 zemí světa a potvrdila tak své postavení jako jedno z nejvýznamnějších setkání v oblasti koksárenství ve střední Evropě.

Konferenci zahájil prezident ČKS **Radek Fabičovič**, který ve svém úvodním slovu zdůraznil význam mezinárodní spolupráce a sdílení zkušeností v době, kdy se koksárenství potýká s výzvami v oblasti energetiky, ekologie i surovinové bezpečnosti.

Program byl rozdělen do dvou dnů a nabídl více než 20 odborných přednášek. Mezi nejzajímavější patřily například:

- **Nové směry na trzích s uhlím a ocelí** (A. Ferro, Alpha Metallurgical Resources),
- **Koksovatelné uhlí jako kritická surovina pro EU** (I. Jelonek, Univerzita Sosnowiec),
- **Nechemická likvidace kontaminantů z fenolčpavkových vod** (M. Carvan, WaterTech Innovations),
- **Využití AI v průmyslu** (T. Lin, SCADA),
- **Snížení emisí v koksově Tata Steel Ijmuiden** (E. van Ewijk, J. van den Heijkant),
- a také **Ukončení výroby v koksově Liberty Ostrava** (K. Kičmer), které vyvolalo živou diskuzi o budoucnosti českého koksárenství.



*Účastníci konference v průběhu odborného programu*



*Alberto Ferro (přednášející)*

Druhý den konference byl věnován inovacím v oblasti automatizace, bezpečnosti a údržby koksárenských baterií. Zazněly příspěvky o využití radarových systémů, technologiích studené plazmy či vývoji unikátní posunovací lokomotivy ZARMEN MLK.

Součástí programu byl i tradiční společenský večer, který poskytl prostor pro neformální výměnu zkušeností a navazování nových kontaktů.

Organizátoři z ČKS opět potvrdili vysokou úroveň akce a již nyní se začínají připravovat na jubilejní **40. ročník**, který se uskuteční v roce 2027.



### 39. Mezinárodní koksárenská konference 39<sup>th</sup> International Cokemaking Conference

Hotel Clarion, Ostrava, 2025

*Účastníci konference*

*Ing. Vojtěch Squerzi*

*Místopředseda OS-09 Koksárenství; Česká hutnická společnost, z.s.*

*Foto: Martin Ševčík*

#### REDAKCE

### Váš názor nás zajímá

Společně s novým číslem Hutnických listů 2/2025 spouštíme nový modernější vzhled webových stránek časopisu – [www.hutnickelisty.cz](http://www.hutnickelisty.cz) a jsme zvědaví, jak na vás působí – co vás zaujalo, nebo naopak co vám případně chybí.

Své připomínky, pochvaly i kritiku posílejte na adresu redakce: [redakce@hutnickelisty.cz](mailto:redakce@hutnickelisty.cz)

## Od norem k praxi: Jak technické vzdělávání formuje budoucí profesionály

Na konci srpna členové výboru České společnosti pro technickou normalizaci (ČSTN), zastoupené předsedou společnosti Ing. Gustavem Chwistkem a místopředsedou pro technické vzdělávání Ing. Petrem Čechurou z plzeňské společnosti Doosan Škoda Power, a.s. navštívili dvě střední technické školy. Cílem byla Střední průmyslová škola Třineckých železáren a Střední průmyslová škola a SOU v Pelhřimově. Školení v Třinci se zúčastnil i zástupce SPŠ Zlín.

Na obou školách bylo naplánované školení pro učitele technických předmětů před začátkem nového školního roku, zaměřené na obecný úvod do technické normalizace, představení projektu na sponzorovaný přístup do Českých technických norem zajišťovaný Agenturou ČAS a názorné ukázky využití vyhledávání norem v ČSN online a aplikace norem v rámci technických předmětů při výuce.



*Účastníci školení zaměřeného na technickou normalizaci*

Hlavním tématem školení bylo detailní představení norem pro evropské označení ocelí a litin a vysvětlení hlavních principů tvorby značek a číselných označování materiálů. Na středních školách se z velké části stále vyučuje označování ČSN jakostí materiálů, i když v praxi je toto označování z velké části na ústupu.

Dále pak byla součástí školení ukázka aplikace nových harmonizovaných evropských norem v oblasti tvorby výkresové dokumentace a vysvětlení změn v této oblasti, proběhlých za posledních několik dekád. Součástí prezentací bylo i představení společnosti Doosan Škoda Power, a.s., včetně ukázky zmenšeného 3D modelu rotoru parní turbíny a části vysokotlakého tělesa, vytvořené 3D tiskem.

Chtěli bychom touto cestou ještě jednou poděkovat zástupcům všech navštívených škol za jejich zájem o danou problematiku, konstruktivní diskusi a možnost podělit se o výměnu informací z obou stran. Vždyť náš cíl je společný. Oslovit mladou generaci a motivovat ke studiu technických oborů a připravit je co nejlépe na vstup do praxe.

Toto školení na středních školách navazovalo na sérii návštěv na středních školách v plzeňském kraji a Praze, kde již zástupci České společnosti pro technickou normalizaci působili v letošním a loňském roce. Díky těmto osobním kontaktům na školách se rovněž podařilo navýšit počet škol, které se do sponzorovaného přístupu k normám přihlásily. Cílem je, aby se tento program stal součástí standardního zapojení do výuky na všech našich středních technických školách. A jaký je vlastně náš impuls k propagaci Českých technických norem?

- V dnešním dynamickém světě technologií a inovací se často mluví o programování, umělé inteligenci nebo automatizaci. Co ale tvoří základ, na kterém vše stojí? Jsou to technické normy. Proč by ale měli studenti středních technických škol trávit čas studiem dokumentů, které na první pohled vypadají jako suchopárný soubor pravidel? Odpověď je jednoduchá: technické normy jsou jazykem, kterým mluví celý průmysl.

**Technické normy** (např. normy **ČSN**) nejsou jen soubory pravidel pro výrobu, ale také klíčový nástroj pro zajištění kvality, bezpečnosti a kompatibility. Měly by být páteří technického vzdělávání. Jejich zařazení do výuky technických předmětů, jako je strojírenství, elektrotechnika nebo stavebnictví, přináší studentům několik klíčových benefitů. Normy vytvářejí jednotný myšlenkový rámec, učí studenty přemýšlet systematicky a strukturovaně. Pomáhají jim pochopit, že každý technický problém má standardizovaný postup řešení. Ať už student nastoupí do jakékoliv technické firmy, bude se s normami setkávat každý den. Jejich znalost je proto nejen konkurenční výhodou, ale také nutnou podmínkou pro efektivní práci a slouží pro vydefinování požadavků mezi dodavatelem a odběratelem. Projekty a zadání, které studenti mohou vypracovat podle platných norem, mají okamžitě vyšší kvalitu a jsou daleko blíže reálným průmyslovým standardům.

- **Teorie bez praxe je jako auto bez motoru.** A praxe bez znalosti norem je málo efektivní. Proto je zásadní, aby školy spolupracovaly s firmami. Toto propojení je oboustranně výhodné: studenti mají možnost pracovat na reálných projektech, které jsou od začátku pod dohledem odborníků z praxe. To jim umožňuje vidět, jak se teoretické znalosti (včetně norem) aplikují v reálném světě a získat tak cennou konkurenční výhodu na trhu práce. Studenti se díky tomu naučí nejen to, co je v normách napsáno, ale i to, proč to tam je.

Spolupráce s firmami zajišťuje, že se výuka drží aktuálních trendů a požadavků průmyslu. Školy tak produkují absolventy, kteří jsou okamžitě uplatnitelní a nepotřebují dlouhé zaškolování. Firmy získávají přístup k talentovaným studentům a mohou si je „vychovávat“ již během studia. Snižují tak náklady na nábor a zaškolování a aktivně se podílejí na formování budoucích zaměstnanců.

- **Jak se tedy může škola vydat touto cestou?** Zavedením workshopů s odborníky z praxe, kteří se zaměří na konkrétní normy a jejich praktické využití. Zvaní odborníci z firem se mohou podělit o své zkušenosti, jak normy ovlivňují jejich každodenní práci. Další možností může být zadávání školních projektů, které jsou inspirovány reálnými problémy a musí splňovat platné normy. Příkladem může být navrhování součástí podle normy ČSN EN ISO 13920 (svařování) nebo vytváření technické dokumentace pro výrobek podle normy ČSN EN ISO 10209 (Technická dokumentace produktu). V neposlední řadě je to pak spolupráce na duálním vzdělávání, kde studenti střídají teoretickou výuku ve škole s praxí ve firmě.

Znalost technických norem už není jen „třešničkou na dortu“, ale nezbytným základem pro každého technického pracovníka. Školy, které tuto výuku propojí s reálnou praxí ve firmách, připravují studenty nejen na maturitu, ale i na úspěšnou kariéru v 21. století. Tím, že se studenti naučí rozumět normám, získají klíčovou dovednost, která jim otevře dveře do světa, kde se mluví řečí spolehlivosti, kvality a inovací. Učitelé se stávají průvodci a mentory, kteří studentům pomáhají orientovat se v komplexním světě norem a jejich praktického využití.

*Ing. Petr Čechura*  
*Místopředseda pro technické vzdělávání ČSTN*  
*Doosan Škoda Power a.s., Plzeň*

## **Art & Science a Noc vědců na VŠB-TUO: proč jsou tyto akce důležité pro metalurgii**

Festivaly Art & Science a Noc vědců plní na univerzitní půdě dvojí roli: popularizují vědu a techniku široké veřejnosti a zároveň dávají vědeckým týmům prostor ukázat vlastní výzkumné a technické aktivity v atraktivní formě.

Art & Science, konaný na VŠB-TUO již několik let, kombinuje vědu s uměním a oslovuje nejen širokou veřejnost, odborníky a studenty, ale také žáky základních a středních škol kreativním propojením technických disciplín.

Noc vědců pak cíleně zpřístupňuje vědecké budovy, výzkumné laboratoře a specializovaná pracoviště, kam se běžný smrtelník nedostane, a to jak dospělým, tak dětem, tedy rozmanitému publiku v rámci celostátně pořádané akce, letos na téma – Bohatství.

Obě události tak vytvářejí ideální platformu pro ukázky archeometalurgických rekonstrukcí, které by jinak zůstaly nepovšimnuty.

### **Laténská technologie v praxi**

V rámci prezentace archeometalurgie byla postavena v kampusu VŠB-TUO laténská šachtová pec, svou konstrukcí typická pro období 5.–1. století př. n. l., která pracovala jako redukční zařízení s využitím dřevěného uhlí a řízeného přívodu vzduchu. Neprodukovala roztavený kov, ale železnou houbu, která byla následně kovářsky přetvořena. Tento technologický krok významně formoval vývoj železárenství v Evropě a představuje moment, od kterého lze sledovat systematické zdokonalování metalurgických postupů do dnešní podoby.

Na VŠB-TUO byla postavena pec podle skutečných archeologických nálezů i nejnovějších zkušeností. Návštěvníci tak mohli na vlastní oči sledovat, jak se pec vyhřívá, kolik je potřeba dřevěného uhlí, jak se tvoří struska a jak nakonec vzniká železná houba.

To, co vypadá jako historická zajímavost, je zároveň cenný zdroj informací i pro dnešní generace, kteří díky takovým aktivitám lépe rozumí tomu, jak naši předkové vyráběli železo a jak se tyto postupy vyvíjely až do současné podoby metalurgie.

## Festivally nabízí několik možností

Obě akce každoročně přitahují tisíce návštěvníků a univerzity umožňují představit odborná témata ve formátu, který je přístupný, vizuálně poutavý a srozumitelný a že historické technologie nejsou jen předmětem muzejní prezentace, ale také relevantním nástrojem pro pochopení vývoje metalurgických procesů.



*Ukázka výroby železné houby v laténské šachtové peci*

Pro metalurgickou komunitu mají tyto prezentace několik konkrétních přínosů:

- podporují zájem mladé generace o metalurgii a její obory a specializace, mohou vést k úspěšné akvizici budoucích studentů skrze přímou zkušenost a zážitek,
- ukazují výzkumné aktivity a experimenty v kontextu, který je srozumitelný i mimo úzké odborné prostředí,
- posilují povědomí o tom, jak historické technologie formovaly dnešní postupy výroby a zpracování kovů, rozšiřují propojení a spolupráci mezi samotnými výzkumnými týmy, průmyslovými partnery a širokou veřejností.

## Most mezi historií a současností

Prezentace archeometalurgie na VŠB-TUO, které proběhly v rámci obou festivalů v roce 2025, jsou ukázkou toho, že univerzita může fungovat jako most mezi historickým poznáním a současnou technickou vědou.

Funkční replika laténské pece a demonstrace výroby železné houby nejen ilustrují technologické principy starověké metalurgie, ale také inspirují diskusi o vývoji materiálů, energetických zdrojů a řemeslné zručnosti. Ať už jde o studenty, odborníky, nebo laickou veřejnost, právě živé demonstrace a festivalové formáty umějí přeměnit zdánlivě vzdálené dějiny na srozumitelnou a poutavou hodinu technického dědictví.



*Ukázka výroby železné houby v laténské šachtové peci*

### **Poděkování za realizaci**

Na přípravě repliky laténské pece a tématu archeometalurgie se podílela studentka doktorského studia Jana Růžička Katedry metalurgických technologií Fakulty materiálově-technologické VŠB-TUO a absolventi z téže fakulty Jan Haščin a Jan Růžička.

Slovem provázel doc. Ing. Zdeněk Toman, CSc., který je otcem myšlenky a popularizátorem archeometalurgie.

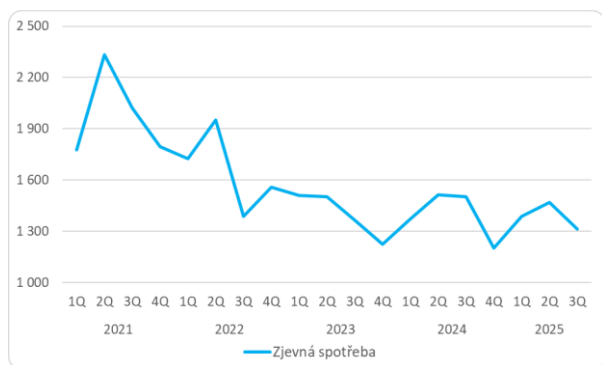
*Text: doc. Ing. Adéla Macháčková, Ph.D., Katedra metalurgických technologií VŠB-TUO*

*Foto: Josef Polák, Audiovizuální služby VŠB-TUO*

# Informace z Ocelářské unie, a.s.

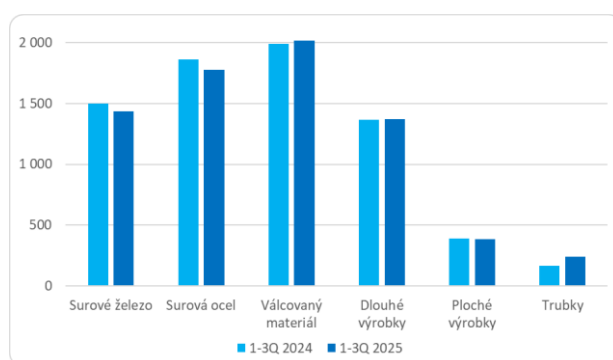
## Data o výrobě a obchodu s ocelí v ČR – statistiky za 1.-3. čtvrtletí roku 2025

### Zjevná spotřeba oceli v ČR v letech 2021 – 2025



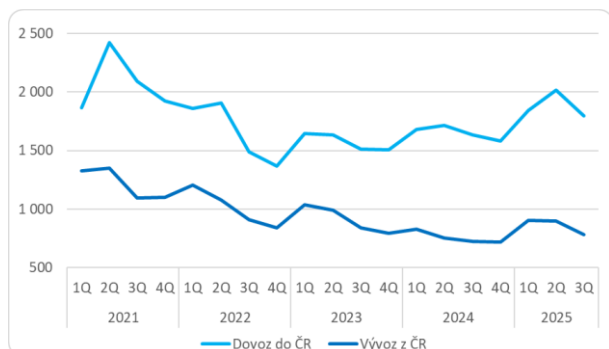
Graf: v tis. tun · Zdroj: Ocelářská Unie, a.s.

### Objem výroby v ČR za 1.-3. čtvrtletí



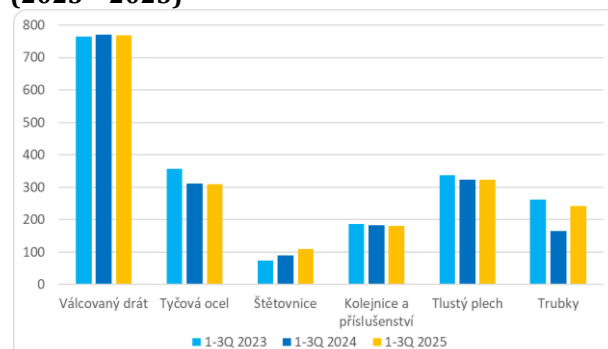
Graf: v tis. tun · Zdroj: Ocelářská Unie, a.s.

### Vývoz a dovoz oceli do ČR v letech 2021 – 2025



Graf: v tis. tun · Zdroj: Ocelářská Unie, a.s.

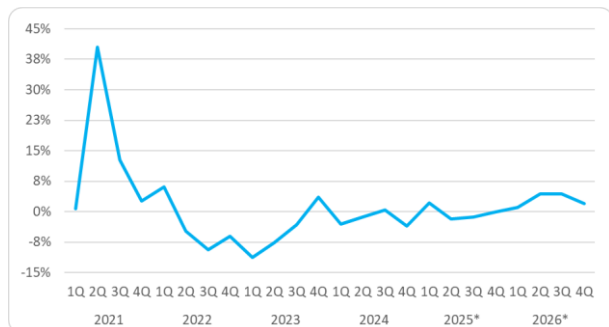
### Objem výroby podle produktů za 1.-3. čtvrtletí (2023 – 2025)



Graf: v tis. tun · Zdroj: Ocelářská Unie, a.s.

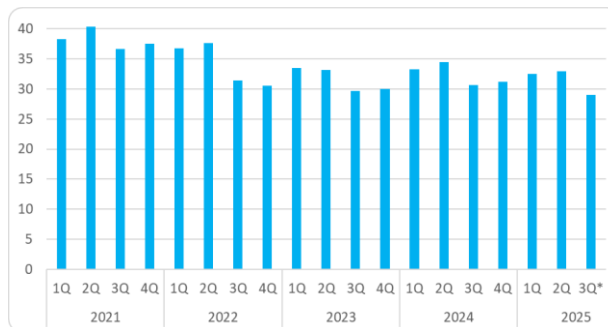
## Data o výrobě a obchodu s ocelí v EU – statistiky za 1.-3. čtvrtletí roku 2025

### Meziroční vývoj zjevné spotřeby oceli v EU



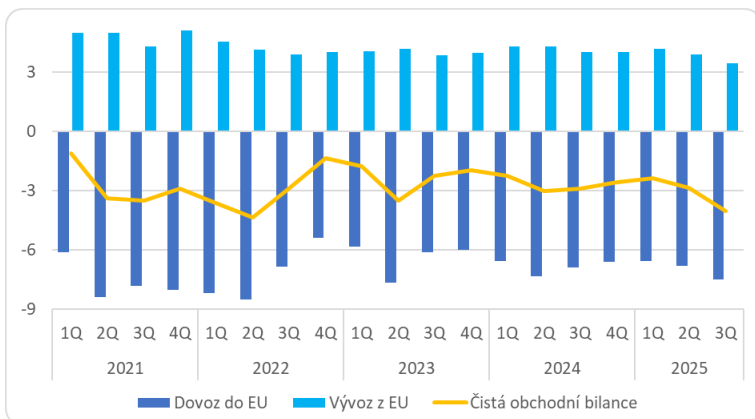
Graf: v % · Zdroj: Ocelářská Unie, a.s. \* predikce Euroferu

### Výroba surové oceli v EU



Graf: v mil. tun · Zdroj: Ocelářská Unie, a.s. \* odhad

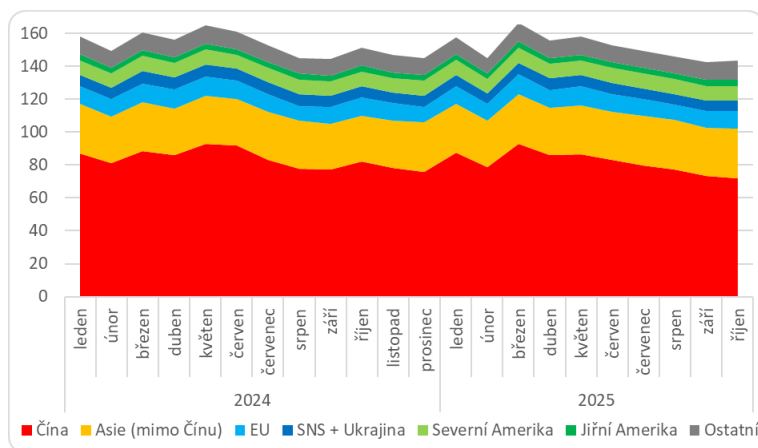
### EU: dovozy, vývozy a čistá obchodní bilance



Graf: v mil. tun · Zdroj: Ocelářská Unie, a.s.

## Data o výrobě a obchodu s ocelí ve světě – statistiky za 1.-3. čtvrtletí roku 2025

### Výroba oceli ve vybraných regionech a podíl na globální výrobě



Graf: v mil. tun · Zdroj: Ocelářská Unie, a.s.

### Top 10 světových výrobců surové oceli za 1-10/2025 (mil. tun) Zdroj: Ocelářská Unie, a.s.

| Pořadí | Země        | 2024  | 2025  | Rozdíl (v %) |
|--------|-------------|-------|-------|--------------|
| 1.     | Čína        | 851,1 | 817,9 | -3,9 %       |
| 2.     | Indie       | 123,6 | 136,0 | 10,0 %       |
| 3.     | Japonsko    | 70,2  | 67,3  | -4,1 %       |
| 4.     | USA         | 66,5  | 68,4  | 2,8 %        |
| 5.     | Rusko       | 59,4  | 56,5  | -4,9 %       |
| 6.     | Jižní Korea | 53,1  | 51,1  | -3,6 %       |
| 7.     | Německo     | 31,6  | 28,5  | -9,9 %       |
| 8.     | Turecko     | 30,9  | 31,3  | 1,2 %        |
| 9.     | Brazílie    | 28,5  | 28,0  | -1,8 %       |
| 10.    | Irán        | 25,7  | 25,4  | -1,0 %       |

## Třetí ročník soutěže o nejlepší ocelovou bakalářku zná své vítěze

30. září 2025

Ocelářská unie ve spolupráci s ČVÚT v průběhu května letošního roku [vyhlásila již 3. ročník soutěže o nejlepší bakalářskou práci](#) pro studenty Fakulty stavební ČVUT. Během prázdnin odborná porota složená ze zástupců akademické obce a odborníků z praxe přihlášené práce posoudila a shodla se, že kvalita všech bakalářských prací byla na velmi vysoké úrovni.

Vůbec poprvé v historii naší soutěže jsme se rozhodli vyhlásit nejlepší 3 bakalářské práce. Výherci naší soutěže o nejlepší ocelovou bakalářskou práci:

1. místo: **Martina Starýchfojtů** – za práci s názvem „Zesílení podpor ocelových mostů pomocí UHPC,,
2. místo: **Dávid Priadka** – za práci s názvem „Nosná konstrukce sportovní haly,,
3. místo: **Anežka Krejčí** – za práci s názvem „Prohlídka a přepočet zatížitelnosti lávky přes Tichou Orlici v Luhu,,

Zástupci Ocelářské unie spolu se zástupci vedení katedry ocelových a dřevěných konstrukcí slavnostně předali 19. září přímo na půdě ČVÚT všem výhercům věcné ceny spolu finanční odměnou (10 000 korun za 1. místo, 7 000 korun za 2. místo a 4 000 korun za místo 3.), která byla pro výherce soutěže určena.

Pevně věříme, že letošní ročník soutěže měl mezi studenty dobrou odezvu a bude motivovat další studenty k zajímavým projektům a tématům spojených s ocelí. S ohledem na situaci v našem odvětví je třeba stále více ocenit a motivovat mladou generaci, která se o materiál jako je ocel zajímá. Jsme proto rádi, že můžeme podobné projekty podporovat.

S přihlédnutím k tomu, že prozatím každý ročník měl mezi studenty větší odezvu, za což jsme velice rádi, již nyní začínáme připravovat možnosti pro další ročník této soutěže. Už nyní se těšíme jaké práce nám následující ročníky přinesou. A ještě jednou gratulujeme všem výhercům!



Výherci soutěže

Výhercům blahopřeje rovněž **Česká hutnická společnost, z.s.**, která se podílela na vyhodnocení soutěže.

Text i foto článku převzat z webu [Ocelářské unie](#)

## Evropský trh s ocelí se drolí. Česko musí jednat, aby udrželo konkurenceschopnost

*Ocelářská unie reaguje na aktuální situaci na evropském trhu s ocelí, kdy německá vláda hodlá od počátku roku 2026 podpořit průmysl dotovaným tarifem na elektřinu, což dále zhorší konkurenceschopnost českých firem. Je proto třeba jednat na národní úrovni!*



TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.

Foto: Pavel Zubek

**Praha, 19. listopadu 2025** – Německo od ledna 2026 zavede dotovaný tarif na elektřinu pro průmysl, který udrží ceny energií pro podniky na polovině české úrovně. Zatímco Berlín systematicky chrání své průmyslové firmy, včetně ocelářů, český průmysl zatím podobný mechanismus nemá. Ocelářská unie varuje, že rozdílné přístupy jednotlivých států narušují jednotný evropský trh a mohou oslabit konkurenceschopnost České republiky.

Německá vláda představila plán na zavedení tzv. průmyslové ceny elektřiny, která má od ledna 2026 výrazně snížit náklady na energie pro energeticky náročné podniky, včetně hutí a ocelářů. Cílem je udržet cenu elektřiny pro průmysl na úrovni přibližně pěti eurocentů za kilowatthodinu (50 eur za megawatthodinu) prostřednictvím přímé podpory ze státního rozpočtu v celkovém objemu 6,5 miliardy eur.

Česká ocelářská výroba, která patří mezi nejvíce energeticky náročná odvětví, je na těchto podmínkách zásadně závislá. Třinecké železářny, jako jediný tuzemský výrobce surové oceli, ročně spotřebují přibližně 1 TWh elektřiny. Zatímco v Německu zaplatí průmysl po zavedení tarifu kolem 50 eur za MWh, v Česku se průmyslové ceny pohybují okolo 100 eur. Rozdíl tak může u podniků velikosti Třineckých železáren znamenat až 3-4 miliardy korun ročně.

*„Podporu německé vlády chápeme jako snahu stabilizovat průmysl v době vysokých nákladů a nejisté energetické politiky. Bez srovnatelných podmínek pro průmysl bude české ocelářství dlouhodobě neudržitelné. Pokud vláda nepřijde s jasnou podporou, hrozí, že se výroba surové oceli z Česka vytratí. To by znamenalo ztrátu nejen pracovních míst, ale i části naší průmyslové soběstačnosti,“* zdůrazňuje **Roman Heide**, generální ředitel Třineckých železáren.

## Trh oceli v Evropské unii

Dotovaný tarif na elektřinu pro průmysl je další z opatření, jimiž Německo systematicky podporuje svůj průmysl. Vedle nového tarifu platí i stávající kompenzace cen elektřiny (tzv. *Strompreiskompensation*), která vyrovnává dopady vysokých cen energií spojených s emisními povolenkami. V praxi tak budou německé podniky od příštího roku čerpat dvojí úlevu – ze snížených cen energií i z kompenzací jejich emisních nákladů.

Program ještě musí schválit Evropská komise jako formu státní podpory, ale vzhledem k platným pravidlům CEEAG (Pokyny pro státní podporu v oblasti klimatu, ochrany životního prostředí a energetiky) a dosavadní praxi Komise, která podobná schémata povolila ve Francii či Finsku, je jeho schválení velmi pravděpodobné. Evropská komise zároveň v rámci Clean Industrial Deal vybízí členské státy, aby samy přijímaly opatření na podporu konkurenceschopnosti svých průmyslových podniků.

Evropský ocelářský sektor se ocitá pod dvojím tlakem, globálním i vnitroeuroevropským. Celosvětově čelí výrobci oceli rostoucí konkurenci z regionů s výrazně nižšími cenami energií – v USA, na Blízkém východě či v Asii jsou tyto ceny často dvakrát až třikrát nižší než v Evropě. Na unijní trh zároveň proudí stále větší objem levné a často státem dotované oceli z Asie. Podle asociace Eurofer už více než 30 % oceli spotřebované v EU pochází z dovozu.

Evropská komise proto na začátku října představila nejrazantnější zásah do ocelářské politiky za poslední roky – návrh, který počítá se snížením dovozních kvót na ocel téměř o polovinu a zvýšením cel na objemy nad kvóty z 25 na 50 procent. Cílem je ochránit evropské výrobce před další vlnou levných importů, které ohrožují investice i pracovní místa v ocelářství napříč celou Unií.

Současně však Brusel v rámci nového Clean Industrial Deal otevřel členským státům možnost přijímat dočasná národní opatření na podporu průmyslu, včetně dotací na energie či investičních pobídek. Tím se ale odpovědnost za průmyslovou politiku postupně přesouvá z evropské na národní úroveň, a čím silnější rozpočtově stát je, tím výrazněji dokáže své podniky chránit. Původní ambicí Zelené dohody pro Evropu přitom bylo vytvořit rovné podmínky napříč Unií. Nyní se ale tato pravidla fragmentují podle možností národních rozpočtů.

*„Evropská komise přenáší stále větší odpovědnost za udržení průmyslu na jednotlivé členské státy. To ale znamená, že kdo má silný rozpočet a rychle reaguje, získává výhodu. Německý průmysl bude mít díky novému tarifu energii přibližně o polovinu levnější než české podniky. Pro tak úzce propojený region, jako je střední Evropa, to představuje systémové riziko,“* vysvětlila **Marcela Kubalová**, předsedkyně představenstva Ocelářské unie.

Článek převzat z webu [Ocelářské unie](#)

## Ocelářská unie vítá nový nástroj EU na ochranu evropského trhu s ocelí

7. říjen 2025

Evropská komise dnes představila nový nástroj na ochranu evropského trhu s ocelí, který by měl nahradit stávající nástroj platný jen do června příštího roku. Evropský trh v posledních letech čelí silnému tlaku dovozů z regionů, kde jsou výrobci podporováni státními subwencemi či jinými pobídkami. Tyto dovozy značně deformují evropský trh, ohrožují investice do modernizace evropských provozů, zpochybňují rovné podmínky hospodářské soutěže a zhoršují konkurenceschopnost evropských výrobců.

Vítáme proto, že Evropská komise vyslyšela požadavky ocelářů a přichází s novým nástrojem na ochranu evropského trhu s ocelí, který by měl napomoci stabilizovat situaci na evropském trhu. Návrh Komise představuje nezbytnou reakci k zajištění férových podmínek pro evropské výrobce v době rostoucí globální nadkapacity a nekalých obchodních praktik třetích zemí, které ohrožují zaměstnanost i investice do evropského ocelářství. Jedná se o jasný signál, že EU bere svou průmyslovou politiku skutečně vážně.

*„Evropské ocelářství čelí v posledních letech mimořádnému tlaku ze strany dovozů z regionů, kde jsou výrobci podporováni státními subwencemi nebo čelí nižším environmentálním a sociálním standardům. Jakýkoli krok, který posílí obranyschopnost evropského trhu a zajistí rovné podmínky, je krok správným směrem,“ uvedla Marcela Kubalová, předsedkyně představenstva Ocelářské unie.*

Konkrétní podobu nového nástroje nelze vnímat jinak než pozitivně. Vítáme zejména citelné snížení celkového objemu kvót (o 47 %), jejichž stávající úroveň již dávno přestala plnit svůj původní účel, stejně jako citelné zvýšení cel v případě překročení dané kvóty (z 25 na 50 %). Jako nutný předpoklad pro efektivní fungování vnímáme i časovou neomezenost nového nástroje, a to bez nutnosti další liberalizace kvót, jak tomu bylo doposud.

Všechny navrhované parametry návrhu by měly přispět ke snížení podílu dovozu oceli do EU ze třetích zemí a zároveň by mělo dojít ke zvýšení využitelnosti evropských kapacit, které jsou v posledních letech na velice nízké úrovni.

*„Ochranné mechanismy musí být rychlé, přesně zacílené a předvídatelné. Evropské ocelářství investuje miliardy eur do dekarbonizace a technologické transformace. Bez stabilního tržního prostředí ale tuto cestu nelze dlouhodobě udržet,“ doplňuje Marcela Kubalová.*

Ocelářská unie proto apeluje na stávající i budoucí českou vládu, aby návrh nových opatření aktivně podporovala a podpořila tak nejen posílení ochrany domácích výrobců, ale i zaměstnanost a investice v rámci EU. Ocelářská unie, jakožto zástupce českých i slovenských výrobců oceli, je připravena na tomto s českou vládou spolupracovat a diskutovat s ní veškeré technické parametry předloženého návrhu.

Článek převzat z webu [Ocelářské unie](#)



# Konference

---

## **STEELSIM 2025: Třinec hostil světovou špičku v modelování metalurgických procesů**

*Ve dnech 2.–4. září 2025 hostil Třinec 11. mezinárodní konferenci STEELSIM – Modelling and Simulation of Metallurgical Processes in Steelmaking, která se po dvaceti letech symbolicky vrátila tam, kde kdysi vznikla její idea. Organizátorem byla Česká hutnická společnost (ČHS) ve spolupráci s Třineckými železárnami, a. s., městem Třinec a kulturním centrem TRISIA, a. s. Na akci dorazilo 122 účastníků z 18 zemí světa, kteří přednesli 50 odborných příspěvků a prezentovali 13 posterů. STEELSIM 2025 tak potvrdil pověst jedné z nejvýznamnějších mezinárodních konferencí zaměřených na modelování a simulaci metalurgických procesů.*

### **Historie a poslání konference**

Kořeny konference sahají do roku 2003, kdy právě v Třinci vznikla myšlenka vytvořit mezinárodní platformu pro sdílení poznatků z oblasti modelování metalurgických procesů. První oficiální ročník se uskutečnil v roce 2005 v Brně, následně konference putovala po světových ocelářských centrech – například do Švédska, Německa, Číny či Velké Británie. Letošní návrat do Třince byl proto nejen symbolickým, ale i odborným potvrzením pozice regionu jako kolébky české i evropské metalurgie.

*„Pro nás to byla akce desetiletí. Vrátili jsme se tam, kde STEELSIM začal, a úroveň konference odpovídala nejvyšším světovým standardům“* uvedl předseda ČHS Ing. Jiří Cupek [1].

Garantem ročníku byl technický ředitel Třineckých železáren Ing. Henryk Huczala, předsedkyní organizačního výboru prof. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D., která stála i u několika předchozích ročníků. Na zajištění programu se podílelo 14 odborníků z útvaru Technologie a výzkumu TŽ, kteří se postarali o hladký průběh odborné i logistické části.

### **Mezinárodní účast a odborné zaměření**

Konference přilákala široké spektrum účastníků z akademické sféry i průmyslové praxe. Zastoupeny byly nejen evropské země (Rakousko, Německo, Nizozemsko, Švédsko, Slovensko, Polsko, Itálie), ale i mimoevropské státy – Japonsko, Indie, Čína, Jižní Korea a Spojené státy americké. Zahraniční experti přijeli mimo jiné z University of Warwick, RWTH Aachen, Montanuniversität Leoben, TU Delft nebo Purdue University Northwest.

Tematické okruhy pokrývaly celý technologický řetězec výroby oceli – od základní termomechanické analýzy, přes fyzikální a numerické modelování až po prediktivní systémy řízení procesů. Silně zastoupené byly také oblasti digitálních dvojčat (digital twins), umělé inteligence (AI) a dekarbonizace hutnictví, tedy témata úzce související s konceptem Průmyslu 4.0.

*„Modelování je metoda, která umožňuje simulovat i ty procesy, které by v reálném provozu nebyly možné nebo bezpečné. Díky tomu lze lépe chápat děje v pecích, pánvích či krystalizátorech a optimalizovat je tak, aby se zvyšovala účinnost i kvalita“* vysvětlila Markéta Tkadlečková v rozhovoru pro Třineckého hutníka [1].

## Zahájení a čestní hosté

Konferenci slavnostně zahájili Markéta Tkadlečková a Jiří Cupek za přítomnosti čestných hostů:

**Romana Heideho**, generálního ředitele Třineckých železáren, **Věry Palkovské**, primátorky města Třince a **Igora Ivana**, rektora VŠB–Technické univerzity Ostrava.

Všichni řečníci se shodli na tom, že inovace, vzdělávání a digitalizace jsou zásadní pro budoucnost hutnictví i regionu. Při zahájení byla rovněž udělena čestná uznání třem osobnostem, které stály u zrodu STEELSIMU – **prof. Karlovi Michalkovi**, **prof. Brianu G. Thomasovi** a **Dr. Jaroslavu Pindorovi**.

Tato trojice položila základy mezinárodního rozměru konference a inspirovala generace odborníků v oblasti numerického modelování.



*Udělení čestných uznání Jaroslavu Pindorovi, Karlu Michalkovi a Brianu G. Thomasovi (zástupce Rudolf Moravec) rukou organizátorů konference Jiřím Cupkem a Markétou Tkadlečkovou*

## Odborný program a tematické sekce

Po plenárním úvodu následovalo deset odborných sekcí, které obsáhly nejnovější poznatky z oblasti výroby železa, oceli, odlévání, tepelného zpracování, recyklace i udržitelné metalurgie.

Zazněly prezentace týkající se mimo jiné:

- Modelování teplotních polí a krystalizace při kontinuálním odlévání,
- Optimalizace mísení taveniny v ocelářských pánvích pomocí CFD,
- Predikce obsahu inkluzí a odsíření v sekundární metalurgii,
- Využití AI při regulaci přehřátí oceli a řízení tekutého jádra,
- Digitální simulace energetických toků v kyslíkových konvertorech,
- Simulace pevnostních parametrů trubních ocelí při řízeném ochlazování.

Nejlepší prezentací konference byla zvolena přednáška **Nathana Dixona** (University of Warwick) s názvem „*Optimising Strength in Structural Steel Tubes via Grain Size Control*“. Práce spojila experimentální data s numerickými modely řízené transformace a nabídla konkrétní návrhy pro průmyslovou praxi.

Třinecké železářny přispěly čtyřmi odbornými příspěvky:

- Vývoj modelu pro predikci teploty oceli během sekundární metalurgie,
- Vliv výšky hladiny oceli v mezipánvi na charakter proudění (CFD),
- Studie termofyzikálních vlastností ocelí pomocí termální analýzy a kalorimetrie,
- Model predikce kvality plynule litých předlitků.

Tyto příspěvky ukázaly praktické využití modelovacích nástrojů ve výrobním provozu a posílily reputaci TŽ jako technologického lídra regionu.

### Posterová sekce a mladí vědci

Součástí programu byla i posterová sekce s 13 odbornými příspěvky, které představily převážně výsledky mladých výzkumníků.

Čestné uznání v této kategorii získal **Lukáš Fogaraš** (Technická univerzita v Košicích) za studii „*Computational Modeling of Sulfur Removal Mechanisms at the Steel–Slag Interface*“.

Představené práce se zaměřily na transportní jevy, interakci mezi struskou a ocelí, měření turbulentního mísení či predikci segregace. Důraz na zapojení mladých vědců se stal důležitým aspektem konference. Účastníci ocenili možnost konzultovat své výsledky s průmyslovými experty a získat zpětnou vazbu pro další výzkum.



*Nathan Dixon – Nejlepší přednáška konference*



*Lukáš Fogaraš – Nejlepší poster konference*

### Výstava partnerů a sponzorů

V předsálí centra TRISIA probíhala po celou dobu výstava partnerů a technologických firem. Prezentovaly se zde společnosti VÚHŽ Dobrá, Heraeus Electro-Nite, Magmasoft, Primetals Technologies, Transvalor, Vesuvius a další. Stánky nabídly nejen produktové novinky, ale i ukázky simulačních softwarů a senzorových systémů pro metalurgické aplikace.

„Bylo vidět, že digitalizace proniká do všech fází výroby – od měření v reálném čase až po cloudové zpracování dat“ uvedl jeden z účastníků z německého výzkumného centra SWERIM AB.

### Společenský program a networking

Kromě odborných prezentací připravili organizátoři i pestrý doprovodný program. Účastníci se poprvé setkali už v předvečer konference při neformálním „Get Together“ v Trisii.

První oficiální den vyvrcholil společenským večerem Na Fojtství v Oldřichovicích, kde hosté ochutnali místní i mezinárodní speciality a užili si kulturní vystoupení s beskydskou tematikou.

Druhý den pokračoval slavnostní večeří a prohlídkou Muzea Třineckých železáren a města Třince, včetně komentované expozice o 180leté historii hutnictví v regionu.

*„Atmosféra byla fantastická – odborné diskuse se plynule přelývaly do osobních rozhovorů. A právě to je smysl takových setkání“* shrnul Jiří Cupek [2].

### Exkurze do Třineckých železáren

Závěrečný den patřil tradičně exkurzím do provozů Třineckých železáren. Třicet účastníků si prohlédlo ocelárnu, dalších patnáct zavítalo do válcovny dlouhých výrobků. Doprovod zajišťovali zkušení technologové, kteří vysvětlovali praktické aspekty modelovaných procesů.

Účastníci mohli vidět mimo jiné kyslíkové konvertory, sekundární metalurgii, kontinuální odlévání a válcovací tratě – tedy všechny klíčové etapy výroby oceli. Mnozí ocenili možnost konfrontovat teoretické modely s reálným provozem a pochopit omezení i potenciál simulačních nástrojů.



*Místo konání společenského večera – Fojtství Oldřichovice*



*Účastníci návštěvy provozů TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s.*

### Publikace a výstupy

Z konference vznikl rozsáhlý sborník o 335 stranách (ISBN 978-80-02-03097-3) vydaný Českou hutnickou společností. Publikace obsahuje plné texty přijatých příspěvků, jejich abstrakty i přehled autorů. Každý účastník obdržel sborník v elektronické podobě na USB disku. Vědecký výbor plánuje také doporučit vybrané práce k publikaci v časopise Hutnické listy.

## Význam modelování pro současné hutnictví

Konference potvrdila, že modelování a simulace jsou dnes klíčovým nástrojem pro efektivní, bezpečnou a ekologicky udržitelnou výrobu oceli. Od fyzikálních modelů, využívajících teorii podobnosti a vodní modely, až po numerické simulace založené na CFD, FEM a termodynamických databázích – všechny tyto přístupy dnes tvoří integrální součást vývoje nových technologií.

*„Modelování se stalo nedílnou součástí průmyslového života. Umožňuje nám předvídat chování materiálů, optimalizovat parametry a vyhodnocovat rizika bez nutnosti zastavovat provoz“* zdůraznila Tkadlečková [1].

V Třineckých železárnách funguje moderní modelová laboratoř, kde se provádějí vodní modely mezipánví a krystalizátorů, včetně testování umístění dmyšných elementů. Díky těmto aktivitám má Třinec významné postavení v mezinárodní síti výzkumných pracovišť zaměřených na fyzikální modelování.

## Poděkování a výhled

Organizátoři poděkovali všem partnerům, sponzorům i institucím, které konferenci podpořily – zejména městu Třinec, společnosti TRISIA, firmám Třinecké železářny, VÚHŽ, Heraeus Electro-Nite, Gleeble, Primetals Technologies a Vesuvius. Bez jejich pomoci by nebylo možné uspořádat akci takového rozsahu.

*„Získali jsme nespočet pozitivních ohlasů, účastníci si chválili odbornou úroveň i atmosféru. Třinec obstál na výbornou“* uzavřel Jiří Cupek [2].

Příští ročník STEELSIM 2027 se uskuteční v německém Düsseldorfu.

Třinec tak předal pomyslné žezlo světové komunitě ocelářských modelářů s vědomím, že české hutnictví zůstává respektovaným partnerem ve světové vědě a průmyslu.



*Průběh konference*

*Text: Ing. Jiří Cupek, Ph.D.*

*Foto: Lukáš Szlaur, účastníci*

*Citované zdroje:*

[1] Třinecký hutník č. 34/2025

[2] Třinecký hutník č. 38/2025

## Mezinárodní konference Modern Metallurgy 2025 na VŠB-TUO

*Katedra metalurgických technologií Fakulty materiálově-technologické VŠB-TUO pořádala další, již XXXII. ročník mezinárodní konference Modern Metallurgy. Konference, která se uskutečnila ve dnech 24.–25. září 2025 na Ostravici v malebném prostředí Beskyd se dlouhodobě profiluje jako důležitá platforma pro setkávání odborníků v oblasti metalurgie a moderních průmyslových technologií.*

Letošní ročník, připravovaný ve spolupráci s dalšími dvěma partnerskými institucemi – Technickou univerzitou v Košicích a Politechnikou Śląskou v Gliwicích, přilákal přibližně šedesát účastníků včetně odborníků z průmyslové praxe. Odborným garantem akce byl doc. Ing. Petr Lichý, Ph.D. vedoucí Katedry metalurgických technologií VŠB-TUO.

Konference se tradičně nesla v pozitivním duchu a podpořila vzájemnou provázanost témat a umožnila přímou diskusi napříč celým spektrem prezentovaných příspěvků. Ve vědeckých i organizačních výborech byli zastoupeni zkušení akademici i významní zástupci z průmyslových podniků, jejichž dlouhodobá spolupráce s univerzitami výrazně přispívá k přenosu znalostí mezi výzkumem a praxí.

Konferenci zahájila docentka Silvie Brožová z VŠB-TUO, a předala slovo docentu Petru Lichému, který úvodním vystoupením pořadatelské univerzity všechny přítomné přivítal. Partnerští zástupci profesori Mariola Saternus a Branislav Bul'ko představili výzkumné aktivity svých institucí a zdůraznili význam mezinárodní spolupráce v oblasti metalurgických technologií. Odborný program následně zahájila dvojice zahraničních hostů z Indian Institute of Technology Indore, kteří se věnovali koroznímu chování hliníkových slitin vyráběných metodou WAAM a vývoji eutektických multikomponentních materiálů. Jejich prezentace přinesly zajímavý pohled na současný rychlý vývoj aditivních technologií v asijském akademickém prostoru.

V odpolední sekci prvního dne dominovala témata týkající se hliníkových a titanových slitin, numerického modelování a optimalizace technologických procesů. Výzkumníci z VŠB-TUO prezentovali například vývoj nové slitiny pro automobilový průmysl, integrované modelové přístupy k hutním procesům nebo numerické simulace kování titanové slitiny Ti-10V-2Fe-3Al.

Významný prostor byl věnován také ekologickým inovacím, mimo jiné využití anorganického pojivového systému GEOPOL ve slévárenské praxi či možnostem uplatnění recyklovaných materiálů při ukládání tepelné energie. Diskutovalo se rovněž o kvalitě litých kol vyráběných nízkotlakým litím, principech cirkularity kovonosných odpadů či topologické optimalizaci aditivně vyráběných ocelových komponent.

Druhý den konference byl tematicky věnován perspektivám moderní metalurgie v kontextu udržitelnosti, vodíkových technologií a globálního trhu s ocelí. Ing. Jan Světlík otevřel dopolední blok přednáškou o aktuálních trendech využívání vodíku, která se setkala s živým zájmem publika zejména kvůli rychle se rozvíjejícím iniciativám v oblasti dekarbonizace průmyslu.

Následná přednáška poskytla komplexní přehled současných změn v mezinárodním obchodu s ocelí a upozornila na širší politicko-ekonomické kontexty. Do tematického rámce se organicky začlenily také příspěvky o technologických trendech v ocelářství a vystoupení Ing. Lubomíra Gogely, který představil aktivity Národního strojírenského klastru.



*Přednášející a účastníci konference*

Závěrečná odborná sekce, zaměřená na moderní procesy výroby železa a oceli, nabídla pohled na optimalizaci vysokých pecí, vliv kvality šrotu na elektrické obloukové pece, porovnání technologií ESR a VD u konstrukčních ocelí, i výzkum vysokoteplotní oxidace ocelí určených pro thermochemické procesy. Pozornost vzbudil také příspěvek věnovaný životnosti aditivně vyráběných komponent z oceli H13 a inovativní konstrukci plynopropustné vložky. Prezentace docentky Pavlíny Pustějovské pak přiblížila česko-polskou spolupráci v rámci programu Interreg CZ-PL zaměřenou na rozvoj zelených technologií. Konference také nabídla posterovou sekci, společenský program a diskuse, které potvrdily, že konference zůstává významným místem setkávání odborníků z univerzit, výzkumných institucí i průmyslu.

Letošní ročník jasně ukázal, že téma inovací, digitalizace a udržitelnosti bude hrát v metalurgii stále zásadnější roli. Vzájemné propojení střeoevropských výzkumných týmů, doplněné mezinárodní účastí z mimoevropských zemí, vytváří prostor pro sdílení zkušeností a posilování spolupráce, která je pro budoucí technický rozvoj klíčová.

*Text: doc. Ing. Adéla Macháčková, Ph.D. Katedra metalurgických technologií VŠB-TUO*

*Foto: Ing. Kateřina Miczková a Ing. Šimon Kielar Katedra metalurgických technologií VŠB-TUO*



[inventarena.cz](https://inventarena.cz)

*„Investice do vědění nesou nejvyšší úrok“  
Benjamin Franklin*

## INVENT ARENA 2026

Prestižní mezinárodní událost na podporu inovací se vrací do České republiky již počtvrté!

Čtvrtý ročník výstavy INVENT ARENA 2026 přinese nejnovější trendy ze světa vědy a techniky. WERK ARENA v Třinci se ve dnech 17.–18. června 2026 opět promění v centrum inovací a nápadů.

Akce se koná pod záštitou Mezinárodní federace asociací vynálezců IFIA.

Na ploše přes 2 000 m<sup>2</sup> se představí firmy, výzkumné týmy i jednotlivci z více než 20 zemí Evropy, Asie a Ameriky. Návštěvníci se mohou těšit na vynálezy, inovace a know-how z oblastí vědy, techniky a lidské kreativity. Na základě zkušeností z minulých ročníků očekáváme účast více než 8 000 návštěvníků, především z řad mládeže.

### INVENT ARENA:

- Propojuje investory, výzkumná pracoviště, inovativní firmy, školy i mladé tvůrce hledající inspiraci, obchodní příležitosti a partnery pro uvedení svých nápadů do praxe.
- Vytváří prostor pro prezentaci nejnovějších trendů ve vědě, technologiích a výzkumu.
- Srovnává technickou úroveň českých i zahraničních vystavovatelů.
- Přibližuje vědu a technologie jako součást národní identity a zdůrazňuje jejich význam pro ekonomický rozvoj.
- Nabízí vzdělávání formou seminářů, workshopů, panelových diskuzí a odborných prezentací.
- Zdůrazňuje význam duševního vlastnictví a ochrany inovací při vstupu na trh.
- Podporuje zájem mladé generace o technické obory a vzdělávání.

Hlavním pořadatelem výstavy je Česká hutnická společnost, z. s., spolupořadatelé jsou: TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s., Český svaz vynálezců a zlepšovatelů, z. s. a Trisia, a.s. Odbornou záštitu nad výstavou převzal Úřad průmyslového vlastnictví ČR.

Těšte se na osobnosti z oblasti vědy, výzkumu, inovací, technologií, průmyslové i akademické sféry, které se představí během business snídaní, seminářů, prezentací a diskuzí. INVENT ARENA nabídne také atraktivní doprovodný program.

Pro vystavovatele je připraven reprezentativní večerní program včetně recepce a dalších společenských akcí.

Nejlepší inovátoři budou oceněni během slavnostního ceremoniálu. Zvláštní cenu GRAND PRIX INVENT ARENA 2026 získá nejvýznamnější vynálezce výstavy.

### **Staňte se součástí INVENT ARENY – místa, kde vaše myšlenky dostávají prostor vyrůst!**

Záštitu nad výstavou v minulém ročníku udělili:

- Ministerstvo životního prostředí ČR
- Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR
- Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
- Předseda vlády ČR
- Statutární město Třinec
- Moravskoslezský kraj
- Akademie věd ČR
- Český svaz vědeckotechnických společností

Více informací o programu, důležitých termínech a ubytování najdete na [inventarena.cz](https://inventarena.cz)

# invent arena

SAVE  
THE  
DATE

Mezinárodní výstava technických  
novinek, patentů a vynálezů

**SLEVA 30 % při registraci do  
10. ledna 2026**

**17. - 18. června 2026**  
**WERK ARENA Třinec**



inventarena.cz

organizátoři:



**ČESKÁ HUTNICKÁ SPOLEČNOST**  
CZECH METALLURGICAL SOCIETY



**TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY**



**IFIA**  
INTERNATIONAL FEDERATION  
OF INVENTORS ASSOCIATION



**ČESKÝ SVAZ**  
vynálezců a zpopsovatelů



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ



podpora:



Moravskoslezský  
kraj



**Třinec i ty**



OCELÁŘSKÁ  
UNIE

hlavní partneři:



**Autel**



**em**

mediální partner:

**hutník**



# 40. JUBILEJNÍ ROČNÍK KONFERENCE O TEORII A PRAXI VÝROBY A ZPRACOVÁNÍ OCELI

## 26. - 27.3. 2026

Hotel Energetic, Rožnov pod Radhoštěm,  
Česká Republika



**TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY**



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

[www.OCELARI.cz](http://www.OCELARI.cz)

# Den otevřených dveří

praktické ukázky  
jednotlivých oborů

**12/11/2025**

**11/12/2025**

**10/01/2026**



**středa** 12. listopadu 2025 od 11.00 do 17.00 hodin

**čtvrtek** 11. prosince 2025 od 11.00 do 17.00 hodin

**sobota** 10. ledna 2025 od 8.00 do 12.00 hodin



STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN  
LÁNSKÁ 132 | TŘINEC-KANADA | 739 61  
tel.: +420 558 380 000 | e-mail: sekretariat@spstz.cz

NAŠI ŠKOLU MŮŽETE,  
PO PŘEDCHOZÍ DOMLUVĚ,  
KDYKOLI NAVŠTÍVIT.  
RÁDI VÁS UVIDÍME!



webové stránky



facebook



instagram