

# LIVARSKI VESTNIK

## Izdajatelj / Publisher:

Društvo livarjev Slovenije  
Lepi pot 6, P.P. 424, SI-1001 Ljubljana  
Tel.: + 386 1 252 24 88  
E-mail: [drustvo.livarjev@siol.net](mailto:drustvo.livarjev@siol.net)  
Spletna stran: [www.drustvo-livarjev.si](http://www.drustvo-livarjev.si)

## Glavni in odgovorni urednik / Chief and responsible editor:

prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani  
E-mail: [primoz.mrvar@ntf.uni-lj.si](mailto:primoz.mrvar@ntf.uni-lj.si)

## Tehnično urejanje / Technical editing:

mag. Mirjam Jan-Blažič

## Uredniški odbor / Editorial board:

prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani  
prof. dr. Mitja Petrič, Univerza v Ljubljani  
prof. dr. Rebeka Rudolf, Univerza v Mariboru  
prof. dr. Andreas Bührig-Polaczek, Giesserei  
Institut RWTH Aachen  
prof. dr. Peter Schumacher, Montanuniversität  
Leoben  
prof. dr. Rüdiger Deike, Universität Duisburg-  
Essen  
prof. dr. Reinhard Döpp, TU Clausthal  
prof. dr. Jerzy Józef Sobczak, Foundry  
Research Institute, Krakow  
prof. dr. Jaromir Roučka, Institut Brno  
prof. dr. Branko Bauer, Univerza v Zagrebu

## Prevod v angleški jezik /

Translation into English:  
Leemeta d.o.o.

## Lektorji / Lectors:

Angleški jezik / English:  
Yvonne Rosteck, Düsseldorf  
Slovenski jezik / Slovene: Leemeta d.o.o.

## Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

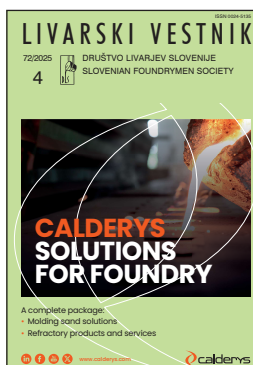
## Naklada / Circulation:

4 številke na leto / issues per year  
800 izvodov / copies

Letna naročnina: 40 EUR z DDV

Year subscription: 40 EUR (included PP)

Dano v tisk: december 2025



Calderys Austria GmbH  
IZ-NO-Süd, StraÙe 16, Objekt 69/4  
AT-2355 Wiener Neudorf, Austria

Director: Christian SPIES

Tel: +43 (0) 2236 677 090 39  
Fax: +43 (0) 2236 677 090 80  
Email: [austria@calderys.com](mailto:austria@calderys.com)

## VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

K.J. Kerns: **Dokument ob srebrni obletnici združenja AFS Četrto stoletje sprememb na področju orodij in jeder za 3D-tiskanje: Razvoj postopka neposredne proizvodnje form za litje** / AFS Silver Anniversary Paper A Quarter Century of Change in 3D Printing Molds and Cores: An Evolution from the Direct Shell Production Casting Process 288

M. Vončina, T. Balaško, S. Kores, T. Premužič, J. Medved: **Prenos znanja iz univerze v industrijo - optimiranje proizvodnje drogov iz aluminijeve zlitine EN AW-6082 visoke kakovosti** / Knowledge Transfer from University to Industry - Optimization of Billets Production from High-Quality Aluminum Alloy EN AW-6082 310

I. Naglič, A. Zaky, N. Kanurić, M. Zupančič, B. Markoli: **Vpliv postopkov modifikacije in toplotne obdelave na mikrostrukturo in mikrotvrdoto aluminijeve zlitine AlSi9Cu3** / Influence of modification and heat treatment procedures on microstructure and microhardness of aluminium alloy AlSi9Cu3 326

## AKTUALNO / CURRENT

Poročilo z 65. IFC Portorož 2025 – 2. del 337  
Seminar o inovativnih rešitvah za predelavo in ponovno uporabo odpadnih livarskih peskov 362  
3. World Foundry Summit – Svetovni livarski vrh 364  
Evropski indeks sentimenta livarske industrije (FISI) oktobra 2025 371  
Poročilo iz sej Izvršnega odbora in Občnega zbora DLS 373  
Livarske prireditve 2025/26 376  
Portorož 2026 377  
Vodstvo in organi Društva livarjev Slovenije za mandatno obdobje 2025 - 2029 378

Livarski vestnik je vpisan v razvid medijev Ministrstva za kulturo pod zaporedno številko 588  
Izdajanje Livarskega vestnika sofinancira ARIS javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije.

Publishing of the Livarski vestnik is supported by Slovenian Researching Agency ARIS

# **Dokument ob srebrni obletnici združenja AFS Četrto stoletje sprememb na področju orodij in jeder za 3D-tiskanje: Razvoj postopka neposredne proizvodnje form za litje**

## **AFS Silver Anniversary Paper A Quarter Century of Change in 3D Printing Molds and Cores: An Evolution from the Direct Shell Production Casting Process**

### **Povzetek**

Tehnologije aditivne proizvodnje so se pojavile pred več kot 25 leti s tehnologijo, znano kot neposredna proizvodnja form za litje (Direct Shell Production Casting – DSPC). Ta postopek omogoča izdelavo orodij z jedri in-situ za neposredno vlijanje delov skoraj brez izmeta. Razvoj inovacij je pri 3D-tiskanju jeder in orodij potekal hitro. V tem prispevku bo pregledan generacijski razvoj procesne tehnologije, aplikacij, materialov in hitrega uvajanja 3D-tiskanja v industriji litja kovin.

**Ključne besede:** aditivno, postopek DSPC, hitro prototipiranje, brizganje, 3D, pesek, tiskanje, litje kovin, ulitki skoraj brez izmeta, livarna

### **Abstract**

Additive manufacturing technologies emerged over 25 years ago with a technology known as Direct Shell Production Casting (DSPC). This viable process produces molds with in-situ cores to pour castings directly into near-net shape parts. The evolution of innovation has taken a fast track in the 3D printing of cores and molds. This paper will review the generational developments in process technology, applications, materials, and rapid adoption of 3D printing in the metalcasting industry.

**Keywords:** additive, DSPC, rapid prototyping, jetting, 3D, sand, printing, metalcasting, near-net, foundry

## **1 Uvod**

Aditivna proizvodnja (AM), znana tudi kot 3D-tiskanje s peščenih form (3DSP), hitro prototipiranje in neposredna digitalna proizvodnja (DDM), je proizvodni postopek, pri katerem se s 3D-tiskalnikom na kraju samem izdelajo peščena jedra, forme ali

## **1 Introduction**

Additive Manufacturing (AM), also known as 3D Sand Printing (3DSP), Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing (DDM), is a manufacturing process that constructs sand

Avtorske pravice 2024 American Foundry Society /  
2024 AFS Transactions ©American Foundry Society

forme z jedri. Koncept aditivne proizvodnje je korenito spremenil tradicionalne tehnike litja v pesek. Koncept se hitro razvija zaradi zahtev industrije ter naložb proizvajalcev originalne opreme (OEM) in njihovih partnerjev za povečanje velikosti, dimenzijskih zmogljivosti, hitrosti, procesnih zmogljivosti, naprednih materialov in stroškov uporabe.

Dr. Ely Sachs, pravi vizionar in pionir na področju 3D-tiskanja, je znan kot izumitelj tehnologije tiskanja z brizganjem veziva. Sachs se je leta 1986 pridružil fakulteti Massachusetts Institute of Technology (MIT) in hitro postal vodilni na področju hitrega prototipiranja, revolucionarnega koncepta 3D-tiskanja, in je zaslužen za nastanek izraza »3D-tiskanje«. Medtem ko se je 3D-tiskanje sprva uporabljalo predvsem za izdelavo modelov in vzorcev za izdelavo prototipov in testiranje, si je Sachs zamislil prihodnost, v kateri bodo 3D-tiskalniki lahko neposredno izdelovali funkcionalne dele. Ta vizija se je uresničila in danes se tehnologija 3D-tiskanja uporablja za različne namene, od izdelave medicinskih vsadkov do letalskih in vesoljskih komponent.

Tiskanje z brizganjem veziva, ki ga je izumil Sachs, je edinstvena tehnologija 3D-tiskanja, ki s tekočim vezivom selektivno veže delce prahu plast za plastjo in ustvari 3D-predmet. Ta tehnologija ima v primerjavi z drugimi metodami 3D-tiskanja več prednosti, med drugim:

- Hitro tiskanje z brizganjem veziva je ena od najhitrejših tehnologij 3D-tiskanja, ki so na voljo, zato je idealna za množično proizvodnjo.
- Vsestranskost – tiskanje z brizganjem veziva se lahko uporablja z različnimi materiali, vključno s kovinami, keramiko in polimeri.
- Stroškovna učinkovitost – tiskanje z brizganjem veziva je razmeroma cenovno ugodna tehnologija

cores, molds, or molds with core geometry in-situ using a 3D printer. The AM concept has revolutionized traditional sand-casting techniques. It continues to evolve quickly due to industry demands and investments by Original Equipment Manufacturers (OEMs) and their partners to expand the size, dimensional capability, speed, process capability, material advancements, and cost of use.

Professor Ely Sachs, Ph.D., a true visionary and pioneer in the field of 3D printing, was known as the inventor of binder jet printing technology. Sachs joined the faculty of Massachusetts Institute of Technology (MIT) in 1986 and quickly became a leader in the field of rapid prototyping, revolutionizing the concept of 3D printing, and is credited with coining the term "3D printing." While early 3D printing was primarily used for creating models and patterns for prototyping and testing, Sachs envisioned a future where 3D printers could produce functional parts directly. This vision became a reality, and today, 3D printing technology is used in a wide variety of applications, from creating medical implants to manufacturing aerospace components.

Binder jet printing, invented by Sachs, is a unique 3D printing technology that uses a liquid binding agent to selectively bind powder particles together, layer by layer, to create a 3D object. This technology offers several advantages over other 3D printing methods, including:

- High speed—binder jet printing is one of the fastest 3D printing technologies available, making it ideal for mass production.
- Versatility—binder jet printing can be used with a wide variety of materials, including metals, ceramics, and polymers.
- Cost-effectiveness—binder jet printing is a relatively inexpensive 3D printing technology, making it accessible to a wider range of users.

3D-tiskanja, zato je dostopna širšemu krogu uporabnikov.

## 2 3D-Tiskanje z brizganjem se najprej pojavi kot DSPC

Dr. Ely Sachs je s sodelavci na Tehnološkem inštitutu v Massachusettsu (MIT) v začetku 90. let prejšnjega stoletja razvil metodo brizganja veziva, ki je postala vsestranska proizvodna metoda, združljiva z različnimi materiali, vključno s kovinami, keramiko in peskom. V zgodnjih 90. letih prejšnjega stoletja je družba Soligen Technology, Inc. pridobila licenco za tehnologijo in razvila postopek DSPC (Direct Shell Production Casting) z uporabo ene same brizgalne tiskalne glave v stroju Alpha. Skupina uporabnikov, med katerimi so bili partnerji s področja letalske in vesoljske industrije, biomehanike, livarn, univerz in razvoja materialov, je oblikovala konzorcij, ki je pred zaprtjem podjetja konec devetdesetih let prejšnjega stoletja razvil beta različico postopka DSPC. Poznavalci tehnologije so postopek DSPC cenili kot napreden, vendar ga je trg sprejel počasi, zato je bilo težko vzdrževati njegov razvoj.

DSPC je bil postopek, pri katerem so se uporabljale geometrijske datoteke stereolitografije ali STL za izdelavo form, ki nadomešča livarsko modelarstvo in posredno kovinske izdelke majhnih serij. Staljeno kovino so vlili neposredno v keramično formo za litje, ki je vključevala livne sisteme. V postopku DSPC je bilo mogoče izdelati jedra, forme in forme z in situ jedri, kar pomeni, da so bila jedra del forme. S tem se je prihranil čas in izboljšala natančnost izdelanih delov.

V postopku DSPC se je uporabilo anorgansko koloidno vezivo in fini keramični prah. Vezivo se je z zeleno trdnostjo povezalo s keramičnim prahom, nato pa

## 2 3D Inkjet Printing First Emerges as DSPC

First developed in the early 1990s by Ely Sachs, Ph.D., and fellow researchers at MIT, binder jetting emerged as a versatile manufacturing method compatible with various materials, including metals, ceramics, and sand. In the early 1990s, Soligen Technology, Inc. licensed the technology and developed the Direct Shell Production Casting (DSPC) process using a single jetting printhead in their Alpha. A group of users, including aerospace, biomechanical, foundry, universities and material development partners created a consortium that developed a Beta version of the DSPC process before the company closed in the late 1990s. Those familiar with the technology revered the DSPC process as being ahead of its time, but it was slow to be adopted by the market, and it became difficult to sustain its development.

Direct Shell Production Casting (DSPC) was a process that used Stereolithography or STL geometric files to generate molds to replace tooling and indirect short-run metal parts. Molten metal was poured directly into a ceramic casting shell, which included the gating systems. DSPC could create cores, molds, and molds with in-situ cores, meaning that the cores were made integral, within the mold. This saved time and improved the accuracy of the produced parts.

DSPC used an inorganic colloidal binder and a fine ceramic powder. The binder used green strength to bond the ceramic powder together, followed by the printed bed of powder being placed in a kiln to calcine and transition the colloidal silica to an irreversible bond to set the printed geometry. DSPC molds were dimensionally stable, meaning that they retained their shape and size after firing and during casting. The unprinted material was removed and recycled to reduce waste. DSPC castings were a near-net shape, meaning that they required little machining



se je natisnjena plast prahu postavila v peč, da se koloidni silicijev dioksid kalcinira in spremeni v nepovratno vez, s čimer se vzpostavi natisnjena geometrija. forme DSPC so bile dimenzijsko stabilne, kar pomeni, da so ohranile svojo obliko in velikost po žganju in med litjem. Nenatisnjen material je bil odstranjen in recikliran, s tem pa se je zmanjšala količina odpadkov. Ulitki DSPC so bili skoraj brez izmeta, kar pomeni, da jih je bilo treba po ulivanju le malo mehansko obdelati. Na splošno je postopek DSPC omogočil prvi vsestranski način za posredno izdelavo kovinskih delov majhnih serij brez livarskih modelov.



**Slika 2.** DSPC, stroj generacije beta in Yehoram Uziel, izvršni direktor in kreativni vodja družbe Soligen Technologies Inc.

**Figure 2.** DSPC, Soligen Technologies Inc.'s Beta generation machine, and CEO and creative Yehoram Uziel.

### 3 Potreba po 3D-tiskanju peščenih form - Tehnologija v proizvodnji pred četrto stoletja

V eni generaciji so se tehnologije hitrega prototipiranja uveljavile in začele uporabljati. Tri vrste tehnologij hitrega prototipiranja

after casting. Overall, the DSPC process supplied what could be considered the first versatile way to produce short-run metal parts indirectly without tooling.



**Slika 1.** »Stroj Alpha«, prvi »pravi stroj«, je bil razvit na univerzi MIT za 3D-tiskanje z brizganjem

**Figure 1.** The "Alpha machine," the first "real machine," was developed at MIT for 3D jet printing

### 3 Need for 3D Sand Printing - Technology in Manufacturing a Quarter Century Ago

Within a generation, rapid prototyping technologies have become widely accepted and used. The three types of rapid prototyping technologies are subtractive, additive, and hybrid. These technologies present a valuable resource for making well-informed decisions in the planning, design, testing, and production of castings.

One of the key benefits of rapid prototyping is its use in advanced engineering technologies and concurrent design methodology. This allows for the effective execution of product solutions.

Looking back to the early days of rapid prototyping, managers and engineers had a vision of success but lacked the technology to achieve it. Successfully launching a new

so subtraktivna, aditivna in hibridna. Te tehnologije so dragocen vir za sprejemanje premišljenih odločitev pri načrtovanju, oblikovanju, preskušanju in proizvodnji ulitkov.

Ena od ključnih prednosti hitrega prototipiranja je uporaba tega postopka v naprednih inženirskih tehnologijah in metodologiji sočasnega načrtovanja. To omogoča učinkovito izvedbo rešitev izdelkov.

Če se ozremo nazaj na začetke hitrega prototipiranja, so imeli vodje in inženirji vizijo, niso pa imeli tehnologije, s katero bi jo uresničili. Uspešna uvedba novega izdelka je bila odvisna od hitrih in učinkovitih metod razvoja izdelka ter prilagodljivih proizvodnih procesov.

Čas je bil bistvenega pomena, saj bi lahko že relativno kratke zamude povzročile izgubo tržnega deleža. Dr. David Cole s Prometnega inštituta Univerze v Michiganu je leta 1994 ocenil, da so ameriški proizvajalci avtomobilov v povprečju potrebovali 52 tednov za vzpostavitev koncepta avtomobila, medtem ko je konkurenca potrebovala 40 tednov. Dr. Cole je napovedal, da bo do leta 2003 dobavni rok ameriških proizvajalcev avtomobilov predvidoma 38 tednov oziroma 34 tednov pri konkurenci, s čimer se bo razlika zmanjšala. Dejal je še, da mora industrija za ponovno pridobitev konkurenčne prednosti skrajšati dobavne roke, izboljšati prodajo in storitve za stranke ter povečati ozaveščenost o tehnoloških spremembah in njihovem izvajanju v industrijskem okolju.

Paul Mikkola, ki je v času izdelave tega članka že uporabljal hitro izdelavo prototipov za izdelavo eksperimentalnih prototipov v oddelku za pogonske sklope koncerna GM, je dejal: »Da bi bili livarji konkurenčni, morajo postati agresivni in izdelovati ulitke skoraj končne oblike, ki zmanjšujejo ali odpravljajo strojno obdelavo. Hitra izdelava

product depended on quick and efficient product development methods and flexible manufacturing processes.

Timing was essential, and even relatively short delays could result in a loss of market share. In 1994, Dr. David Cole, at the University of Michigan's Transportation Institute, estimated that the average lead time for US automakers to introduce a concept car was 52 weeks, compared with the competition's 40 weeks. Dr. Cole predicted that, by 2003, the U.S. automaker's lead time was expected to be 38 weeks and 34 weeks, respectively, narrowing the gap. He further said that to regain the competitive advantage, the industry must reduce lead time, improve sales and service to the customer, and increase the awareness of technological change and its implementation of this technology in the industrial climate.

Paul Mikkola, who at the time of this original paper was already using rapid prototyping to produce experimental prototypes at GM's Powertrain Division, said, "In order for foundrymen to be competitive, it is necessary to become aggressive and produce near-net shape castings that reduce or eliminate machining. Rapid prototyping has proven that it has the potential for accomplishing this goal for the automotive metalcasting industry."<sup>1</sup>

Don Sabin, a design engineer for John Deere's Product Engineering Center, Waterloo, Iowa, noted during this period, "Currently, the time required to introduce a new tractor to the market is almost five years. We would like to see this time reduced to less than three years and find out what rapid prototyping can do to reduce the 'conceptualization-to-market introduction' time span. There is a definite need for a fast way to produce functional prototypes that can be used for verification or as a pattern to produce a metal casting."<sup>2</sup>

prototipov je dokazala, da ima potencial za doseg tega cilja v avtomobilski industriji kovinskih ulitkov.«<sup>1</sup>

Don Sabin, inženir za načrtovanje v John Deerejevem centru za inženiring izdelkov v Waterlooju v Iowi, je v tem obdobju ugotovil: »Trenutno je čas, potreben za uvedbo novega traktorja na trg, skoraj pet let. Želimo si, da bi se ta čas skrajšal na manj kot tri leta, in ugotoviti, kako lahko hitro prototipiranje pripomore k skrajšanju časa od konceptualizacije do uvedbe na trg. Obstaja velika potreba po hitrem načinu izdelave funkcionalnih prototipov, ki se lahko uporabijo za preverjanje ali kot vzorec za izdelavo kovinskega ulitka.«<sup>2</sup>

#### **4 Hitro naprej na 3DSP za Ford Ecoboost**

Proizvodnja glav valjev je zahteven postopek, saj je treba pri litju uporabiti od 12 do 20 jeder in komponent forme. Tradicionalni postopek je vključeval izdelavo livarskih modelov z obdelavo iz modelnih plošč in izdelavo peščenih form. Vendar je 3D-tiskanje peščenih form temeljito spremenilo proizvodnjo peščenih form za kovinske ulitke, saj ponuja veliko hitrost, prilagodljivost in stroškovne prednosti.

Paul Susalla, vodja oddelka za hitro proizvodnjo v Fordovi tovarni v Dearbornu v Michiganu, pravi: »Izdelava vseh orodij bi trajala več mesecev in zahtevala veliko denarja. Poleg tega je nekatera jedra zelo težko izdelati. Zdaj, ko uporabljamo 3D-tiskanje, je treba le dobiti datoteko, jo dati v stroj in dobiti enaka jedra,« pravi. »Pri tem nista potrebna opremljanje z orodjem in čas.«<sup>4</sup>

Najpomembnejša prednost 3D-tiskanja peščenih form je hitrost. »Če pogledamo tradicionalni način izdelave ulitka, je treba počakati več mesecev, preden dobimo prvi

#### **4 Fast Forward 3DSP for Ford Ecoboost**

Manufacturing cylinder heads is challenging, requiring 12 to 20 cores and mold components to be sand-cast. Traditionally, the process involved making patterns by machining them from tooling boards and packing foundry sand in the mold. However, 3D sand printing has revolutionized the production of sand molds for metal castings, offering significant speed, flexibility, and cost advantages.

At Ford, Paul Susalla, Section Supervisor of Rapid Manufacturing at the Dearborn, Michigan facility, says, "Creating all the tooling would take months and a lot of money. Plus, some of these cores are extremely tough to make. Now, when using 3D printing, it is just a matter of getting a file, putting it through the machine, and coming out with the same cores," he says. "There is no tooling, no time involved."<sup>4</sup>

The most significant benefit of 3D sand printing is its speed. "In a nutshell, if you look at the traditional way of making a casting, you are months out before you get your first casting, and with 3D sand printing, you can have a casting in a matter of days to a couple of weeks," Susalla says. He explains that if you are using tooling, it might be four months before you get your first part and realize that it is not what you want, then the tooling must be changed. "If you look at the product development cycle, Ford, GM, and Chrysler only give you x number of months to years to put it on paper and then get it on the street," he says. "As an engineer, you only have a certain amount of time to get your part right. The traditional method might give you only three shots at getting the part right, but 3D sand printing allows you to create multiple iterations simultaneously because you are not committed to tooling."

ulitek, s 3D-tiskanjem peščenih form pa lahko ulitek dobimo v nekaj dneh do nekaj tednih,« pravi Susalla. Pojasnjuje, da lahko z livarskim modelom traja štiri mesece, preden dobite prvi del in ugotovite, da ni ustrezen, nato pa morate model zamenjati. »Če pogledate razvojni cikel izdelka, vam Ford, GM in Chrysler dajo na voljo le x mesecev ali let, da ga pripravite na papirju in nato predstavite na cesti,« pravi. »Kot inženir imaš na voljo le določen čas, da narediš svoj del pravilno. S tradicionalno metodo lahko naredite le tri poskuse, da bi del izdelali pravilno, 3D-tiskanje peščenih form pa vam omogoča hkratno izdelavo več iteracij, saj niste vezani na livarski model.«

Susalla pravi, da je namesto ene zasnove ulitka takoj na voljo pet do šest zasnov. V nekaj tednih je mogoče oceniti teh pet ali šest zasnov, sprejeti nekaj inženirskih odločitev in pripraviti spremembe ali celo novo zasnovo ulitka za oceno. Zato pravi, da imate pri 3D-tiskanju peščenih form veliko možnosti za optimizacijo zasnove z vidika kakovosti, stroškov, časa, varčevanja z gorivom, zmogljivosti in varnosti.

Druga znana prednost 3D-tiskanja peščenih form je, da odpravlja tradicionalne omejitve pri načrtovanju ulitka. »Nekaj lahko naredite tako, kot si želite, da bi bilo zasnovano, in tako, kot je možno izdelati,« pravi Susalla.

Vendar pa ugotavlja, da je pri Fordovi izdelavi glave valja orodje oblikovano enako kot v proizvodnji – z livarskimi nagibi in delilnimi ravninami – tako da testni ulitek predstavlja tisto, kar bo nastalo v proizvodnem procesu.

Izdelava prototipov na podlagi CAD ima v primerjavi z običajnimi prototipi z računalniškim numeričnim krmiljenjem (CNC) številne prednosti. Te prednosti lahko skrajšajo čas inženirskega projektiranja kosa in zmanjšajo stroške zaradi nepotrebnih sprememb proizvodnega

According to Susalla, instead of one design, you are looking at five to six designs right off the bat. Then, within a matter of weeks, you can have already evaluated those five or six designs, made some engineering decisions, and produced alterations or even innovative designs to evaluate. So, with 3D sand printing, he says you have plenty of opportunities to optimize the design for quality, cost, time, fuel economy, performance, and safety.

Another known benefit of 3D sand printing is that it eliminates traditional design limitations. "You can make something the way it wants to be designed versus how it can be manufactured," Susalla says.

He notes, however, that when Ford makes a cylinder head, the mold is shaped the same as it will be in production—with draft angles and parting lines—so that the test part represents what will be coming out of the production process.

There are many advantages to producing CAD-based prototypes over conventional computer numeric control (CNC) prototypes. These advantages can reduce engineering part design time and minimize costs due to unnecessary changes to the production tooling. Design and manufacturing engineers have always faced tough questions about whether to build a prototype to ensure understanding or go directly to tooling based on a solid model or simulation alone, expecting to save time and cost. Rapid prototyping tools can provide key technical observations and peace of mind. Whether a printed prototype or a casting produced using a 3D printed sand mold with in-situ cores, rapid prototyping intends to obtain greater knowledge to evaluate product form, fit, and functional performance earlier in the development cycle.

orodja oz. livarskega modela. Inženirji, ki se ukvarjajo s projektiranjem in proizvodnjo, so se vedno soočali z zahtevnimi vprašanji, ali naj izdelajo prototip, da bi zagotovili razumevanje, ali pa se neposredno lotijo izdelave livarskega modela samo na podlagi končnega kosa ali samo na podlagi simulacije in s tem prihranijo čas in stroške. Orodja za hitro prototipiranje lahko zagotovijo ključne tehnične ugotovitve in varnost. Ne glede na to, ali gre za natisnjen prototip ali ulitek, izdelan s 3D-tiskanim peščenimi formami z in-situ jedri, je namen hitrega prototipiranja pridobiti več znanja za oceno oblike, prilaganja in funkcionalne učinkovitosti izdelka na začetku razvojnega cikla.

## 5 Vidik livarske modelarne

Številne livarske modelarne še vedno uporabljajo tradicionalne metode izdelave modelov, čeprav te postajajo vse bolj problematične. V članku o spremembah v industriji modeliranja so bile opredeljene naslednje kritične težave:

- Povečana raven ročnega dela in dodelave predstavlja pomembno ozko grlo pri proizvodnji velikih serij natančnih modelov in orodij. Za izvedbo ključnih elementov je potrebnega preveč časa.
- Izginjajoče veščine – povprečna starost livarskih modelarjev v ZDA je 58 let. Zaradi dolgega obdobja vajeništva, ki je potrebno za usposabljanje novih modelarjev, v industriji primanjkuje znanj in izkušenj za izpolnjevanje strogih zahtev današnjih konkurenčnih livarn.
- Manjše tolerance in večja natančnost – livarne se usmerjajo v litje skoraj končne oblike, ki zahteva manjše tolerance od tistih, ki se pričakujejo pri strojni obdelavi. Včasih je bila

## 5 Pattern Shop Perspective

Many pattern shops are still content with traditional patternmaking methods, but these methods are increasingly problematic. An article on changes in the patternmaking industry identified the following critical problems:

- Elevated levels of handwork—finishing operations constitute a significant bottleneck for high-volume production of precision patterns and molds. Too much time is spent finishing critical features.
- Disappearing skills—the average age of patternmakers in the US is fifty-eight. The long apprenticeship needed to train new patternmakers means that the industry lacks the skills and experience to meet the stringent requirements of today's competitive foundries.
- Tighter tolerances and greater accuracy—foundries are moving toward near-net shape casting, which requires tighter tolerances than those expected in machining. While 0.060 inches was once good enough, 0.005 inches is now the standard tolerance, and some customers demand 0.002 inches or better.

The identified challenges are all interrelated. For example, the elevated levels of handwork and disappearing skills make it difficult for pattern shops to meet the tighter tolerances and greater accuracy demanded by foundries. Traditional prototyping and subsequent patternmaking methods have become increasingly inadequate to meet the demands of modern manufacturing. Pattern shops and foundries wanting to remain competitive must embrace modern AM technologies and develop new skills to utilize them effectively.



dovolj velika toleranca 1,52 mm, zdaj pa je standardna toleranca 0,13 mm, nekatere stranke pa zahtevajo celo 0,05 mm ali manj.

Vsi izzivi so medsebojno povezani. Na primer, zaradi večjega obsega ročnega dela in izginjajočih spretnosti modelarne težko izpolnjujejo strožje tolerance in večjo natančnost, ki jih zahtevajo livarne. Tradicionalne metode prototipiranja in naknadnega modeliranja so postale vse manj primerne za izpolnjevanje zahtev sodobne proizvodnje. Modelarne in livarne, ki želijo ostati konkurenčne, morajo sprejeti sodobne tehnologije aditivne proizvodnje in razviti nova znanja za njihovo učinkovito uporabo.

## 6 Razvoj iz procesa DSPC

Brizganje veziva je vsestranska tehnologija aditivne proizvodnje, ki so jo raziskovalci na tehnološkem inštitutu v Massachusettsu razvili v zgodnjih devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Družba Extrude Hone je leta 1996 pridobila ekskluzivno licenco za komercialni razvoj postopkov 3D-tiskanja z brizganjem, ki so jih izumili na MIT za uporabo s kovinskimi, keramičnimi in peščenimi materiali. ExOne, vodilni ponudnik 3D-tiskalnikov z brizganjem veziva, je bil ustanovljen leta 1995 kot oddelek »ProMetal« podjetja Extrude Hone z namenom razvoja 3D-tiskalnikov za kovine. Ime ExOne izhaja iz imena podjetja Extrude Hone. Postopek se včasih imenuje »posredno« 3D-tiskanje, tiskanje orodij in tiskanje form, ker se natisnjeni predmeti uporabijo za izdelavo končnega izdelanega predmeta.

## 6 Evolution from DSPC Process

Binder jetting is a versatile additive manufacturing technology that MIT researchers developed in the early 1990s. In 1996, Extrude Hone obtained an exclusive license to commercially develop inkjet 3D printing processes invented at MIT for use with metal, ceramic, and sand materials. ExOne, a leading provider of binder jet 3D printers, was founded in 1995 as the "ProMetal" division of Extrude Hone with the mission of developing metal 3D printers. The name ExOne was derived from the Extrude Hone Company. The process is sometimes called "indirect" 3D printing, printed tooling, and mold printing because the printed objects are used to create the final manufactured object.



**Slika 3.** Tiskalnik za peščene forme ExOne S-Max

**Figure 3.** The ExOne S-Max sand printer



**Slika 4.** 3D-tiskalnik za peščene forme voxeljet VX 2000

**Figure 4.** A voxeljet VX 2000 3D sand printer



Tudi na področju 3DSP se je leta 1995 na Tehnični univerzi v Münchnu rodilo zagonsko podjetje »voxeljet«. Leta 1998 so pridobili prve patente in istega leta vstopili na trg 3DSP. Svoj prvi tiskalnik za peščene forme so leta 2002 poslali družbi BMW.

V naslednjih letih sta obe podjetji pomembno prispevali k razvoju trga na področju materialov za tiskalnike, hitrosti, natančnosti in velikosti strojev. Obe podjetji sta sprejeli koncept neprekinjenega delovanja tehnologije 3D-tiskanja, ki omogoča, da se stroškovno učinkoviti procesni koraki izdelave in razpakiranja izvajajo vzporedno, ne da bi se prekinilo delovanje celotnega sistema.

Napredek na področju opreme za brizganje veziva in nadzora procesov je povzročil revolucijo v tehnologiji aditivne proizvodnje, saj omogoča izdelavo kakovostnejših delov, povečuje učinkovitost proizvodnje in širi možnosti uporabe materialov.

Stroji za brizganje veziva so v zadnjih letih doživeli velik napredek, saj so opremljeni s tiskalnimi glavami, ki lahko kapljice veziva nanašajo z natančnim nadzorom in visoko ločljivostjo. Zaradi te prilagodljivosti različnim formulacijam veziv so nastali deli z vrhunsko obdelano površino, ločljivostjo in mehanskimi lastnostmi.

Napredni sistemi za nanašanje plasti peska in brizganje veziva ustvarjajo enakomerne in konsistentne plasti, kar izboljša kakovost in dimenzijsko natančnost natisnjenih delov. Ti sistemi zmanjšujejo aglomeracijo prahu, zamašitve in neenakomerno razpršitev veziva, kar zagotavlja, da je vsaka plast nanosena z želeno debelino in enakomernostjo.

Oprema za brizganje veziva zdaj vključuje napredne senzorje, kamere in programsko opremo, ki zagotavljajo spremljanje in nadzor tiskanja v realnem času. To omogoča odkrivanje in odpravljanje

Also, on the 3DSP front, "voxeljet" was born as a start-up from the Technical University of Munich in 1995. In 1998, they gained their first patents, entering the 3DSP market of the same year. They shipped their first sand printer in 2002 to BMW.

In the following years, both companies pioneered significant contributions to the market in printer materials, speed, accuracy, and build envelope size. Both companies have crossed the threshold to continuously operating 3D printing technology that allows cost-effective building and unpacking process steps to run in parallel without interrupting the entire system's operation.

Advancements in binder jetting equipment and process control have revolutionized this additive manufacturing technology, enabling the production of higher-quality parts, increasing production efficiency, and expanding material options.

Binder jetting machines have advanced significantly in recent years, with print heads that can deposit binder droplets with precise control and high resolution. This adaptability to various binder formulations has produced parts with superior surface finish, resolution, and mechanical properties.

Advanced powder handling and recoating systems create uniform and consistent powder layers, which improve part quality and dimensional accuracy. These systems minimize powder agglomeration, clogging, and uneven spreading, ensuring each layer is deposited with the desired thickness and uniformity.

Binder jetting equipment now includes advanced sensors, cameras, and software enabling real-time printing monitoring and control. This allows for detecting and correcting potential issues, such as powder bed irregularities, binder saturation levels, and temperature fluctuations. This ensures that the process remains stable and consistent throughout the build, resulting in parts with improved dimensional accuracy, surface finish, and mechanical properties.

morebitnih težav, kot so nepravilnosti plasti peska, stopnje nasičenosti veziva in temperaturna nihanja. Tako je postopek stabilen in dosleden ves čas izdelave, rezultat pa so natisnjeni deli z izboljšano dimenzijsko natančnostjo, kakovostjo površine in mehanskimi lastnostmi.

## 7 Razvoj tehnologij veziv

Medtem ko je postopek DSPC uporabljal koloidno anorgansko vezivo in fini keramični prah, je k uspehu sodobnih sistemov 3DSP prispevalo tudi več dosežkov na področju materialov.

V raziskavi, ki je potekala na Univerzi Severne Iowe, je bila uporabljena pridobljena tehnologija, vključno s tiskalniki za peščene forme ExOne S-Max, voxeljet VX1000 ter Tinker-Omega alpha in beta, da bi zagotovili dragocene povratne informacije dobaviteljem smol, aktivatorjev, čistil, ognjevarnih premazov, modifikatorjev peska in materiala za tiskalno podlago. V okviru tekočih skupnih raziskav so bili pridobljeni novi materiali za postopek brizganja veziva, ki omogoča izdelavo visokokakovostnih delov z minimalno naknadno obdelavo in hitro odstranitvijo delov iz orodja, ter več kot petindvajset domačih virov kremenčevega in cirkonskega, keramičnega in kromitnega specialnega peska v sodelovanju s tržno dobavno verigo za postopek 3D-tiskanja s peščenimi kalupi. Raziskava je bila del projektnega razpisa partnerstva America Makes, katerega cilj je bil povečati uporabo 3D-tiskanja peščenih form v livarski industriji.

Brizganje veziva je vrsta aditivne proizvodnje, ki se vse pogosteje uporablja za izdelavo peščenih jeder in form. Pri tem se reaktivna smola, običajno vezivo na osnovi furfuril alkohola (FA), nanaša na podlago, kot je kremenčev pesek, predhodno obdelano

## 7 Evolution of Binder Technologies

While the DSPC process utilized a colloidal inorganic binder and fine powder ceramic, the success of modern 3DSP systems has also benefited from several developments in materials.

Research conducted with the University of Northern Iowa utilized acquired technology, including the ExOne S-Max, voxeljet VX1000, and Tinker-Omega alpha and beta sand printers, to provide valuable feedback to the suppliers for resin, activators, cleaners, refractory coatings, sand modifiers, and print bed material. The ongoing collaborative research has yielded new materials for the binder jetting process that produces high-quality parts with minimal post-processing and fast part extraction and over twenty-five domestic sources of silica and zircon, ceramic, and chromite specialty sand in collaboration with the market supply chain for the 3D sand printing process. The research was part of an America Makes project call to increase the adoption of 3D sand printing in the foundry industry.

Binder jetting is a type of additive manufacturing that is increasingly used to create sand cores and molds. It does this by depositing a reactive resin, typically a furfuryl alcohol-based (FA) binder, onto a substrate, such as silica sand, pretreated with an acid catalyst. Other aggregates used in metal casting, such as zircon, chromite, and synthetic ceramics, can also be used as the substrate.

Binder jetting uses a furfuryl alcohol-based (FA) binder like the more common furan nobake binder. The FA binder cures when it contacts a sulfonic acid catalyst, such as toluene sulfonic acid in water.

The binder jetting process begins with a layer of pre-treated substrate, such as silica sand, spread evenly across a build box.

s kislinskim katalizatorjem. Za litje kovin se lahko uporabljajo tudi drugi ognjevzdržni materiali, kot so cirkonij, kromit in sintetična keramika.

Pri brizganju veziva se uporablja vezivo na osnovi furfuril alkohola (FA), npr. uveljavljen vezivni sistem nobake. Vezivo FA se strdi, ko pride v stik s katalizatorjem s sulfonsko kislino, kot je toluen sulfonska kislina v vodi.

Postopek brizganja veziva se začne s plastjo predhodno obdelane podlage, kot je kremenčev pesek, ki se enakomerno razporedi podelovni komori. Velikost delovne komore je lahko od  $300 \times 200 \times 150$  mm do  $4000 \times 2000 \times 1000$  mm. Debelina predhodno obdelane podlage je navadno približno 0,3 mm.

Tiskalna glava nato brizga reaktivno vezivo na plast peska. Tiskalna glava uporablja podobno tehnologijo kot standardni brizgalni tiskalniki, vendar vezivo nanese v posebnem vzorcu, da ustvari željeno geometrijo dela. Ta postopek se ponavlja, dokler ni izdelan celoten del.

Delovna komora vsebuje vezani in nevezani pesek. Po končanem postopku tiskanja je odstranjevanje oblikovanih jeder iz delovne komore lahko zamudno in težavno. S strjenimi oblikami je treba ravnati previdno, nevezani pesek pa je treba skrbno odstraniti z dela s krtačenjem ali sesanjem. Opozoriti je treba, da se lahko reaktivno vezivo na furanski bazi oddalji od zelene geometrije in se strdi, pri čemer nastane »lepljiv« pesek, ki ga je težje odstraniti z dela, zlasti v primerjavi s popolnoma nestrjenim peskom.

Medtem ko so vezivni sistemi na osnovi furfuril alkohola in kislin najpogosteje uporabljena fenolna veziva, so zaradi svoje trdnosti v vročem in možnosti naknadne obdelave z odstranjevanjem peska vse bolj priljubljeni dvokomponentni vezivni sistemi z utrjevanjem v hladnem in enokomponentni

Build boxes can range in size from  $300 \times 200 \times 150$  mm to  $4000 \times 2000 \times 1000$  mm. The thickness of the pre-treated substrate is typically around 0.3 mm.



**Slika 5.** Tiskalna glava brizga vezivo na osnovi furfuril alkohola

**Figure 5.** Printhead jetting furfural alcohol-based binder



**Slika 6.** Delovna komora z natisnjenimi jedri utrjenimi s furfuril alkoholom in neutrjenim peskom prevlečenim z aktivatorjem

**Figure 6.** Printed bed with cured furfuryl-alcohol printed cores and activator-coated but unprinted sand.

A print head then jets the reactive binder onto the sand layer. The print head uses technology similar to standard inkjet printers but deposits the binder in a specific pattern to create the desired part geometry. This process is repeated until the entire part is built.

The build box contains both bonded and unbonded sand. After the printing process is complete, removing the core shapes from

vezivni sistemi z utrjevanjem v vročem. Tudi anorganski sistemi postajajo izvedljivi.

Glavna veziva so posebna furanska veziva za brizganje. Ta veziva morajo imeti posebne fizikalne in kemične lastnosti, kot sta dinamična viskoznost in površinska napetost, da lahko uspešno delujejo v postopku brizganja. Za brizganje veziva je potrebno vezivo z nizko dinamično viskoznostjo, da ga je možno zlahka brizgati skozi tiskalno glavo. Vezivo mora imeti tudi nizko površinsko napetost, da se enakomerno razporedi po plasti peska. Posebna furanska veziva za brizganje so bila skrbno oblikovana, da izpolnjujejo te zahteve. To zagotavlja natančno brizganje veziv, optimizacijo življenjske dobe tiskalne glave ter izdelavo visokokakovostnih jeder in orodij.

Ekonomska upravičenost 3D-tiskanja peščenih form je odvisna od produktivnosti in hitrosti odstranitve delov. Z drugimi besedami, jedra in orodja je treba natisniti hitro, vendar je pomembno tudi, da se jih hitro odstrani iz delovne komore, da se lahko začne naslednji postopek tiskanja. Raziskovalci in inženirji si prizadevajo izboljšati postopek brizganja veziv na več načinov, kar vključuje:

- Zmanjšanje migracije smole – pomagalo bo izboljšati kakovost natisnjenih delov in zmanjšalo količino potrebne naknadne obdelave.
- Izboljšanje preglednosti delov – tako boste lažje pregledali natisnjene dele in ugotovili morebitne napake.
- Pravilna hitrost (Speeding par)
- Ekstrakcija – povečala bo produktivnost postopka brizganja veziva, ki bo tako postal stroškovno učinkovitejši.
- Manjši vpliv na okolje – okolju prijazna, biološko razgradljiva veziva lahko pomagajo zmanjšati vpliv postopkov brizganja veziva na okolje.
- Močnejši deli z manj napakami –

the build space can be time-consuming and difficult. The cured shapes must be handled carefully, and the unbonded sand must be carefully brushed or vacuumed away from the part. It should be noted that the reactive furan binder can migrate away from the desired geometry and cure, creating “sticky” sand that can be more difficult to remove from the part, especially compared to fully uncured sand.

While the furfuryl alcohol-based binder/acid systems are the most used phenolic type binders, 2-part cold curing and 1-part heat curing systems are gaining popularity due to their hot strength and post-processing desandability. Inorganic systems are also becoming viable.

The primary binders developed are specialized furan binders for binder jetting. These binders must have specific physical and chemical properties, such as dynamic viscosity and surface tension, to work successfully in the jetting process. Binder jetting requires a binder that has a low dynamic viscosity so that it can be easily jetted through the print head. The binder must also have a low surface tension to spread evenly on the sand layer. Specialized furan binders for binder jetting have been carefully formulated to meet these requirements. This ensures that the binders can be jetted accurately, optimize the life of the printhead, and produce high-quality cores and molds.

The economic viability of 3D sand printing depends on both productivity and the speed of part extraction. In other words, it is essential to print cores and molds quickly, but removing them from the build box is also important so that the next print can begin. Researchers and engineers are working to improve the binder jetting process in several ways, including:

- Reducing resin migration—this will help improve the printed parts’ quality and

z izboljšanimi vezivi lahko dobite vitalnejše dele z manj napakami, kar je ključnega pomena za številna področja uporabe.

## 8 Aditivna proizvodnja: Naslednja raven konkurenčne prednosti

Morda je trajalo četrto stoletje, da smo prišli do točke, ko so se livarske modelarne in livarne v celoti vključile v aditivno 3D-tiskanje peščenih form. Vendar pa mnogi menijo, da je aditivna (3D) proizvodnja sodobna tehnološka inovacija in v tem kontekstu neizogibna. Uporablja se predvsem za tiskanje plastike in kovin, vendar se vse bolj uveljavlja v industriji litja kovin za tiskanje peščenih jeder in form.

Prehod na 3D-tiskanje peščenih form in prevzem posrednega 3D-tiskanja peščenih form je potekal hitreje kot na drugih trgih 3D-tiskanja, npr. tiskanja kovin, verjetno zato, ker so končni postopek litja kovin in lastnosti litja že znani in sprejemljivi večini inženirjev ali livarjev. Uporaba tehnologije tiskanja 3DSP za izdelavo končnih ulitkov je vse pogostejša, zlasti za visoko specializirane dele in dele majhnih serij.

Leta 1996 je podjetje Extrude Hone od Tehnološkega inštituta v Massachusetts pridobilo licenco za komercialni razvoj 3D-tiskanja z brizganjem za uporabo s kovino, keramiko in peskom. Leta 2002 je podjetje na trgu predstavilo svoj prvi tiskalnik za izdelavo peščenih form in jeder za litje kovin. V naslednjih letih so se podjetja in postopek 3D-tiskanja peščenih form hitro razvijali, tehnologija pa je pridobivala funkcionalne zmožljivosti in zaupanje uporabnikov.

V letu 2014 se je trg litja kovin okrepil z zgodnjimi uporabniki, ki so bili ključni pri izpopolnjevanju tehnologije in materialov za optimalno delovanje in stroškovno

reduce the amount of post-processing needed.

- Improving part clarity—this will make it easier to inspect the printed parts and identify any defects.
- Speeding par
- Extraction—this will increase the productivity of the binder jetting process and make it more cost-effective.
- Reduced environmental impact—environmentally friendly, biodegradable binders can help to reduce the environmental impact of binder jetting processes.
- Stronger parts with fewer defects—improved binders can lead to more vital parts with fewer defects, which is critical for many applications.

## 8 Additive Manufacturing: The Next Frontier of Competitive Advantage

It may have taken a quarter century to reach the point that pattern shops and foundries fully engage in additive 3D printing of sand. However, many people think of additive (3D) manufacturing as a modern innovation of technology, and in this context, it is inevitable. It has been used primarily for printing plastics and metals but has become more prevalent in the metalcasting industry for printing sand cores and molds.

The move into sand 3D printing and the adoption of indirect sand 3D printing has moved faster than other 3D printing markets, i.e., metal printing, likely because the final metal casting process and casting properties are already familiar and acceptable to most engineers or metal casters. Utilizing 3DSP printing to produce finished castings is growing, especially for highly specialized and low-volume parts.

In 1996, Extrude Hone obtained a license from MIT to commercially develop



učinkovitost. Z uvedbo teh naprednih platform lahko livarne zdaj uporabljajo tehnologijo iz prve roke, bodisi z naložbami v svojo opremo bodisi z naročanjem peščenih form in jeder pri specializiranih ponudnikih storitev.



**Slika 7.** Prvi uporabniki 3D-tiskalnikov za peščene forme, nameščenih leta 2014. (Z dovoljenjem podjetja America Makes, Lamomcha.)

**Figure 7.** Early adopters of 3D sand printers installed in 2014. (Courtesy of America Makes, Lamomcha.)

Severnoameriška livarska industrija doživlja revolucijo, ki jo poganja hitro uvajanje tehnologije 3D-tiskanja peščenih form. V zadnjih osmih letih se je baza uporabnikov razširila in v Severni Ameriki je nameščenih že več kot 100 strojev. Ta porast je posledica več dejavnikov:

- Nove tehnologije – napredek na področju strojne opreme in materialov za 3D-tiskanje peščenih form je omogočil hitrejši, učinkovitejši in stroškovno učinkovitejši postopek, kar odpira vrata za širšo uporabo.
- Večja ozaveščenost – ker so prednosti 3D-tiskanja peščenih form vse bolj očitne, livarne, livarske modelarne in jedrne prepoznavajo njegov potencial za racionalizacijo delovnih postopkov, zmanjšanje odpadkov in večjo prilagodljivost načrtovanja.

3D inkjet printing for use with metal, ceramic, and sand. In 2002, the company introduced its first printer to the market, producing sand molds and metal casting cores. In the several years that followed, companies and the 3D sand printing process evolved rapidly, with the technology gaining functional capability and user confidence.

In 2014, the metalcasting market matured through early adopters who were crucial in refining the technology and materials for optimal performance and cost-effectiveness. With the introduction of these advanced platforms, foundries could now leverage the technology firsthand, either by investing in their equipment or by sourcing sand molds and cores from specialized service providers.



**Slika 8.** Znatna rast števila namestitev 3D-tiskalnikov za peščene forme v letu 2022. (Z dovoljenjem podjetja America Makes, Lamomcha.)

**Figure 8.** Significant growth of 3D sand printer installations in 2022. (Courtesy of America Makes, Lamomcha.)

The North American metalcasting industry is experiencing a revolution driven by the rapid adoption of 3D sand printing technology. In the past 8 years, the user base has exploded, with over 100 machines

- Prvaki na domačem trgu – nekaj podjetij s sedežem v ZDA je vodilnih pri zagotavljanju inovativnih rešitev za 3D-tiskanje peščenih form in celovito podporo ter tako krepijo zaupanje v tehnologijo na domačem trgu.

Aditivna proizvodnja je hitro razvijajoča se tehnologija s širokim naborom možnosti uporabe. Posebej primerna je za industrijo kovinskih ulitkov, kjer se lahko uporablja za tiskanje peščenih jeder, form in končnih ulitkov.

Prednosti aditivnega 3D-tiskanja peščenih form (3DSP) v proizvodnji ulitkov v primerjavi s konvencionalnimi metodami vključujejo:

- Občutni prihranki v razvojnih fazah – 3DSP bo zmanjšal stroške razvoja, saj ne bo potreboval tradicionalnih orodij in prototipov.
- Izdelava kompleksnih jeder – 3DSP lahko izdelava kompleksna jedra hitro in natančno, po konkurenčnih cenah in z visoko stopnjo doslednosti.
- Ničelni ali negativni livarski nagib – 3DSP lahko izdelava jedra z ničelnim ali negativnim livarskim nagibom, kar je s tradicionalnimi metodami težko ali nemogoče. To lahko privede do znatnih prihrankov pri stroških, izboljša kakovost in omogoči preučitev zasnove za izboljšanje zmogljivosti ulitkov.
- Hitre spremembe zasnove – 3DSP omogoča hitre spremembe zasnove orodij, jeder ali orodij z in situ jedri, kar lahko skrajša čas izdelave ali omogoči več zasnov z nižjimi stroški.
- Brez naložb v opremljanje z orodji – 3DSP ne zahteva nobenih dodatnih orodij, kar hitro skrajša čas izdelave in stroške, saj lahko neposredno preidete na proizvodnjo delov in omogoča spremembe zasnove brez dodatnih stroškov.
- Združljivost s programsko opremo za

installed across North America. This surge is fueled by a combination of factors:

- Emerging Technologies—advancements in 3D sand printing hardware and materials have made the process faster, more efficient, and more cost-effective, opening doors for broader adoption.
- Increased Awareness—as the benefits of 3D sand printing become more apparent, foundries, pattern shops, and core shops recognize its potential to streamline workflows, reduce waste, and enhance design flexibility.
- Domestic Market Champions—several US-based companies are leading the charge, providing innovative 3D sand printing solutions and comprehensive support, fostering confidence in the technology within the domestic market.

Additive manufacturing is a rapidly growing technology with a wide range of applications. It is particularly well-suited for the metal castings industry, where it can be used to print sand cores, molds, and finished castings.

Pros of Additive 3D Sand Printing (3DSP) Manufacturing in casting production versus Conventional Methods include:

- Significant savings in development stages—3DSP will reduce development costs by cutting the need for traditional tooling and prototyping.
- Complex core making—3DSP can produce complex cores quickly and accurately, at competitive costs, and with a high degree of consistency.
- Zero or negative draft—3DSP can produce cores with zero or negative draft, which can be difficult or impossible to produce using traditional methods.
- This can lead to significant cost savings, improve the quality, and open the design consideration to improve the performance of the castings.

modeliranje – 3DSP je združljiv z večino programske opreme za modeliranje na trgu, zato ga je preprosto vključiti v obstoječe delovne postopke.

## 9 Možnosti uporabe 3D-tiskanja peščenih form

Družba Ford Motor Company za izdelavo prototipov ulitkov pogosto uporablja 3D-tiskanje peščenih form. Pravzaprav je bil s to tehnologijo izdelan prototip vsakega ulitka v novejšem Fordovem vozilu.

S 3D-tiskanjem peščenih form hitro ustvarite orodja in jedra za prototipne kose, ne da bi prej morali izdelati livarski model. To omogoča več ponovitev zasnove, kar lahko privede do izboljšanja vozil.

Družba Ford Motor Company na primer uporablja 3D-tiskanje peščenih form za izdelavo prototipa vsakega ulitka pri novejših vozilih Ford. To Fordovim inženirjem omogoča hitro in učinkovito izdelavo visokokakovostnih prototipov, kar lahko privede do boljših vozil.

Paul Susalla, Fordov vodja oddelka za hitro proizvodnjo v obratu v Dearbornu v Michiganu, se ukvarja z izdelavo prototipov s 3D-tiskanjem s tiskalnikom za peščene forme ExOne S-15. Poudarja, da »čeprav govorimo o prototipih, bi lahko Fordova količina prototipov presegla količino, ki jo številni proizvajalci štejejo za polno proizvodnjo. Sistem 3DSP uporabljamo za vse svoje prototipne ulitke za pogonski sklop, vzmetenje in druge sestavne dele – glave valjev, bloke valjev, ročične gredi, sprednje pokrove, oljne posode,« pravi Susalla. »V bistvu vse ulitke, ki jih vidite v motorju ali menjalniku, tukaj izdelujemo s 3D-tiskanjem peščenih form.«<sup>4</sup>

Pravi, da so bili prototipi delov za Fordove motorje EcoBoost izdelani na ta način, vključno z »vsemi originalnimi

- Rapid design changes—3DSP allows for rapid design changes to molds, cores, or molds with in-situ cores, which can reduce lead times or allow for multiple designs at reduced costs.
- No tooling investment—3DSP does not require any tooling, which quickly cuts lead time and cost going directly to part production and allows for design changes with no additional costs.
- Compatibility with modeling software—3DSP is compatible with most modeling software on the market, making it easy to integrate into existing workflows.

## 9 Applications of 3D Sand Printing

Ford Motor Company uses 3D sand printing extensively for prototyping castings. In fact, every casting in a newer Ford vehicle was prototyped utilizing this technology.

3D sand printing quickly generates molds and cores for prototype parts without making a pattern first. This allows for more design iterations, which can lead to improved vehicles.

For example, Ford Motor Company uses 3D sand printing to prototype every casting in a newer Ford vehicle. This allows Ford engineers to produce high-quality prototypes quickly and efficiently, which can lead to better vehicles.

Paul Susalla, Ford's section supervisor of rapid manufacturing at the Dearborn, Michigan facility, engages in much of this prototyping, using 3D printing with the ExOne S-15 sand printer. He emphasizes that "though we are speaking of prototypes, Ford's prototype volumes could surpass what many manufacturers consider full production. We use 3DSP for all our prototype castings in powertrain, suspension, and other components—cylinder heads, cylinder blocks, crankshafts, front covers, oil pans,"

glavami valjev za 2-litrski motor EcoBoost, ki jih danes dobimo v številnih vozilih.« Pravzaprav je bilo »prvih 100 motorjev in njihovih glav valjev ulitih s to tehnologijo«.



**Slika 9.** Kompleksno jedro, natisnjeno s 3D-tehnologijo z anorganskim vezivom in kremenčevim peskom. (Umetniško delo je delo podjetja ExOne.)

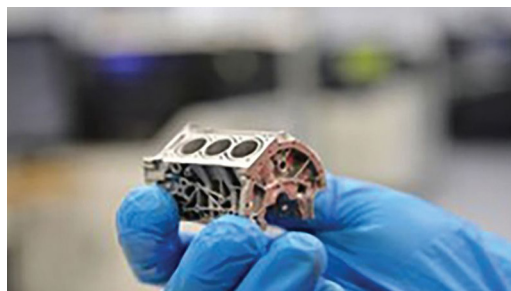
**Figure 9.** A complex core 3D printed with inorganic binder and silica sand. (Artwork courtesy of ExOne.)

Harold Sears, direktor aditivne proizvodnje pri Fordu, ugotavlja, da je pri Fordovi izdelavi glave valja orodje oblikovano enako kot v proizvodnji – z livarskimi nagibi in delilnimi ravninami – tako da testni kos predstavlja tisto, kar bo nastalo v proizvodnem procesu.

V Fordovem primeru se lahko brizganje veziva uporablja za izdelavo kompleksnih komponent motorja, ki vključujejo več delov, kot so hladilni kanali, strukturni in montažni elementi, v enotno, celovito zasnovo. Pri tem se izkorišča prednost postopka 3DSP in njegova zmožnost izdelave delov, ki vključujejo več komponent v eno samo monolitno strukturo. To lahko poenostavi postopke sestavljanja, zmanjša število potrebnih posameznih sestavnih delov ter izboljša splošno zmožljivost in zanesljivost končnega izdelka.

Ena od ključnih prednosti brizganja veziv za industrijo litja kovin je sposobnost izdelave delov z zapleteno notranjo geometrijo. To vključuje mrežaste strukture,

Susalla says. "Basically, any castings you see in an engine or transmission, we are prototyping here using 3D sand printing."<sup>4</sup>



**Slika 10.** Brizganje veziva se uporablja za avtomobilsko industrijo. (Umetniško delo je delo podjetja ExOne/Ford.)

**Figure 10.** Binder jetting is used for automotive applications. (Artwork courtesy of ExOne/Ford.)

He says the prototypes for parts on Ford's EcoBoost engines were made this way, including "all of the original cylinder heads for the 2-liter EcoBoost that you can get on so many vehicles today." In fact, "the first 100 engines and their cylinder heads were cast using this technology."

Harold Sears, Direct of Additive Manufacturing at Ford, notes, however, that when Ford makes a cylinder head, the mold is shaped the same as it will be in production— with draft angles and parting lines—so that the test part is representative of what will be coming out of the production process.

In the example at Ford, binder jetting can be used to manufacture complex engine components that integrate multiple parts, such as cooling channels, structural elements, and mounting features, into a single, cohesive design. This capitalizes on the advantage of 3DSP and its capability to produce parts that integrate multiple components into a single, monolithic structure. This can simplify assembly

vzorci satovja in konformne hladilne kanale. Ti elementi lahko izboljšajo zmogljivost sestavnih delov z zmanjšanjem teže, izboljšanjem odvajanja toplote ali povečanjem razmerja med trdnostjo in težo. Z brizganjem veziv lahko na primer izdelamo lahke komponente z mrežasto strukturo za letalsko in vesoljsko industrijo, ki pomagajo zmanjšati porabo goriva in emisije. Izdelujemo lahko tudi orodja za tlačno litje s konformnimi hladilnimi kanali, ki izboljšajo čas cikla in kakovost ulitih delov.

## 10 Pogled v prihodnost

Podjetja po vsem svetu se vse bolj zanimajo za možnosti 3D-tiskanja peščenih form v livarski industriji. Tri kitajska podjetja proučujejo možnost prodaje svojih tiskalnikov v Severni Ameriki, saj ponujajo nižje stroške in hitrejše tiskanje kot nemški tiskalniki, ki so trenutno na voljo. Severnoameriške proizvajalce je upočasnila stroga patentna zaščita nemških podjetij. Vendar pa je ameriški proizvajalec razvil nov 3D-tiskalnik za peščene forme, ki temelji na enokomponentnem vezivnem sistemu na osnovi škroba, prvič razvitem v osemdesetih letih prejšnjega stoletja.

Podjetje VoxelJet, ki trenutno izdeluje 3D-tiskalnik za peščene forme z delovno komoro dva krat štiri metre, je nedavno prejelo 14 milijonov dolarjev za razvoj in izdelavo novega tiskalnika, ki bo dovolj velik za izdelavo orodij za trg vetrne energije pri družbi General Electric.

Nov tiskalnik bo predvidoma velik več kot šest kvadratnih metrov in bo omogočal hitro izdelavo izjemno velikih ulitkov z možnostjo spreminjanja načrtov po potrebi. Poleg tega je bil na področju potrošnega materiala dosežen pomemben napredek pri vezivih, aktivatorjih, čistilih, ognjevarnih premazih, modifikatorjih peska in uporabi

processes, reduce the number of individual components required, and improve the overall performance and reliability of the final product.

For the benefit of the metalcasting industry, one of the key advantages of binder jetting is its ability to produce parts with complex internal geometries. This includes lattice structures, honeycomb patterns, and conformal cooling channels. These features can enhance the performance of components by reducing weight, improving heat dissipation, or increasing strength-to-weight ratios. For example, binder jetting can produce lightweight aerospace components with lattice structures that help reduce fuel consumption and emissions. It can also produce tooling for die-casting tools with conformal cooling channels that improve cycle times and part quality.

## 10 The Look Ahead

Globally, companies are increasingly interested in the potential of 3D sand printing for the foundry industry. Three Chinese companies are exploring sales of their printers in North America, offering lower costs and faster printing speeds than the German printers currently available. North American manufacturers have been slowed by aggressive patent protection from German companies. However, one US manufacturer has developed a new 3D sand printer based on a single-part starch-based binder first developed in the 1980s.

VoxelJet, which currently produces a 3D sand printer with a working space of two meters by four meters, was recently awarded \$14 million to develop and manufacture a new printer large enough to produce molds for the wind energy market with General Electric. The new printer is expected to be over six square meters and will allow for



posebnih formarskih materialov. Na trgu se vse bolj uveljavljajo anorganska veziva. Nadaljujejo se prizadevanja za izdelavo obdelave pod 100 RMS s pomočjo veziva, premazov in obdelave tiskarskih datotek.

## 11 Zaključek

Na splošno je brizganje veziv zanesljiv postopek aditivne proizvodnje, ki ima v primerjavi s tradicionalnimi proizvodnimi metodami več prednosti pri izdelavi kompleksnih delov. Gre namreč za vsestransko tehnologijo, s katero je mogoče izdelati različne komponente za različne industrije.

Ker je tehnologija brizganja veziv vse bolj razvita, lahko igra ključno vlogo v prihodnosti proizvodnje, saj omogoča proizvodnjo inovativnih, prilagojenih in zapletenih delov, ki jih prej ni bilo mogoče izdelati. Z možnostjo izdelave kompleksnih delov z zapleteno geometrijo in notranjimi značilnostmi ima postopek 3DSP v primerjavi s tradicionalnimi proizvodnimi metodami več prednosti pri izdelavi delov z zahtevnimi zasnovami.

Čeprav še vedno obstajajo izzivi, kot so površinska obdelava, ločljivost in mehanske lastnosti, so raziskave in razvoj precej napredni. Napredek na področju materialov, veziv in večmaterialnega tiskanja bo po pričakovanjih spodbudil rast in uporabo brizganja veziv v številnih panogah, vključno z vesoljsko in letalsko, avtomobilsko, medicinsko in potrošniško industrijo.

Koncept je v četrto stoletje prehodil dolgo pot od tehnologije, ki so jo prvič zasnovali na tehnološkem inštitutu MIT in v družbi Soligen Technologies s postopkom neposredne proizvodnje form za litje (Direct Shell Production Casting). Ta razvoj 3D-brizganja veziva na pesek za izdelavo jeder, form in form z in-situ jedri je

the rapid production of exceptionally large castings, with the ability to revise designs as needed. Additionally, on the consumables front, noteworthy progress has been made in binders, activators, cleaners, refractory coatings, sand modifiers, and use for specialty mold materials. The beginning emergence of inorganic binders in the market and their adoption is building. Efforts to produce sub-100 RMS finish through binder, coatings, and print file processing continue.

## 11 Closing Remarks

Overall, binder jetting is a robust additive manufacturing process that offers several advantages over traditional manufacturing methods to produce complex parts. It is a versatile technology that can create various components for various industries.

As binder jetting technology matures, it is poised to play a vital role in the future of manufacturing, enabling the production of innovative, customized, and complex parts that were previously unattainable. With the ability to build complex parts with intricate geometries and internal features, 3DSP offers several advantages over traditional manufacturing methods when producing parts with challenging designs.

While challenges such as surface finish, resolution, and mechanical properties remain to be addressed, ongoing research and development are progressing considerably. Advancements in materials, binders, and multi-material printing are expected to drive the growth and adoption of binder jetting in a wide range of industries, including aerospace, automotive, medical, and consumer products.

The concept has come a long way in a quarter century from the technology first conceived at MIT and Soligen Technologies with the Direct Shell Production Casting

vsestranski postopek aditivne proizvodnje, ki je še posebej primeren za izdelavo današnjih zapletenih prototipov ali ulitkov malih serij.

Naslednjih 25 let na področju 3D-tiskanja peščenih form bo prineslo temeljite spremembe. Z izpopolnjevanjem in razvojem tehnologije pričakujemo, da se bo pojavilo še več inovativnih in prebojnih vrst uporabe. Možnosti 3D-tiskanja peščenih form so neomejene, od hitrejših in učinkovitejših proizvodnje zapletenih delov do razvoja novih materialov in proizvodnih postopkov.

### Zahvala

Avtor bi se rad zahvalil vizionarskemu vodstvu inštituta MIT, razvijalcem 3D-tiskanja in več konzorcijem uporabnikov iz sredine 90. let prejšnjega stoletja do danes za njihovo prizadevanje pri razvoju te tehnologije za naslednje generacije, čeprav industrija litja kovin še ni bila pripravljena, da bi jo v celoti sprejela. Njihova daljnovidnost in pripravljenost na tveganje sta postavila temelje za uspešen razvoj in komercializacijo te tehnologije, ki se zdaj široko uporablja in na številne načine koristi družbi.

Avtor bi se rad zahvalil tudi univerzi University of Northern Iowa in centru Industry 4.0 za njun neprecenljiv prispevek k sodelovanju z inovatorji na področju opreme in potrošnega materiala za nenehno izboljševanje. Njuno sodelovanje je pripomoglo k boljšemu razumevanju zapletenih izzivov in priložnosti dobavne verige.

Zahvala gre tudi članom odbora AFS, ker so bili pripravljeni deliti svoje znanje in izkušnje ter prispevati k točnosti tega članka in napredku 3D-tiskanja peščenih form in jeder.

process. This evolution in 3D binder jetting on the sand to make cores, molds, and molds with in-situ cores is a versatile additive manufacturing process particularly well-suited to produce today's complex prototype or low- production castings.

The next 25 years in 3D sand printing are poised to be transformative. As technology matures and evolves, we expect to see even more innovative and groundbreaking applications emerge. From faster and more efficient production of complex parts to developing new materials and manufacturing processes, the potential of 3D sand printing is limitless.

### Acknowledgments

The author would like to acknowledge the visionary leadership of MIT, 3D Printing Developers, and several consortia of users from the mid-1990s through today for their commitment to advancing this technology to the next generations, even when the metal casting industry was not yet ready to fully embrace it. Their foresight and willingness to take risks laid the foundation for this technology's successful development and commercialization, which is now widely used and benefiting society in many ways.

The author would also like to acknowledge the University of Northern Iowa's Industry and the Industry 4.0 Center for their invaluable contributions to working with equipment and consumable innovators to keep improving. Their interactions have helped better understand the supply chain's complex challenges and opportunities.

The author is also grateful to the AFS Additive Committee members for their willingness to share their knowledge and experience and to help ensure that this paper was accurate and furthered the advancement of 3D inkjet sand printing for molds and cores.

## Reference / References

1. Mikkola, P., eksperimentalni inženir, GM Powertrain Division, Saginaw, Michigan, osebni intervju (12. november 1993).
2. Sabin, D., vodja procesnega inženiringa, John Deere Product Engineering Center, Cedar Falls, Iowa, osebni intervju (25. september 1993).
3. Wohlers, T., tehnološki svetovalec, Wohlers Associates, raziskava, predstavljena na temo stroškov, trendov in razpoložljivih tehnologij pri izdelavi prototipov na konferenci *John Deere Rapid Prototyping Conference*, Davenport, Iowa (20. in 21. september 1993).
4. Fuges, Christina, »The New Pattern for Prototyping,« *Modern Machine Shop* (10-22-2013) <https://www.mmsonline.com/articles/the-new-pattern-for-prototyping> (zadnji dostop 8. 4. 2024.)

## Bibliografija / Bibliography

- Bryant, N., Cygal, D., »Preliminary Investigation on the Influence of Refractory Coatings Formulation on the Surface Roughness of A356 Aluminum Castings Produced by 3D Printed Sand,« *AFS Transactions* (2023).
- Bryant, N., Cygal, D., »Preliminary Investigation on the Influence of Refractory Coatings Formulation on the Surface Roughness of A356 Aluminum Castings Produced by 3D Printed Sand,« Bryant, N., Thiel, J., »Critical Characteristics Affecting the Surface Finish of Castings,« *AFS Transactions* (2018).
- Gibson I., Rosen D., Stucker B., Khorasani M., »Binder Jetting,« *Additive Manufacturing Technologies*, 2021:237–52. (2021).
- Kerns K., Elliott, W., »Direct Shell Production Process for Near-Net Shape Casting and Tooling,« *AFS Transactions* (1995).
- Kerns, K., »Development of Functional Rapid Prototyping for the Production of Near Net Shape Castings and Its Applications for Concurrent Engineering in the Metal Casting Industry« Raziskava, predstavljena fakulteti za dodiplomske študije, Univerza Severne Iowe (pomlad 1994).
- Mostafaei, A., Elliott, A.M., Barnes, J.E., Li, F., Tan, W., Cramer, C.L., Nandwana, P., Chmielus, M., »Binder Jet 3D Printing-Process Parameters, Materials, Properties, Modeling, and Challenges,« *Progress in Materials Science*, 119:100707 (1. jun. 2021).
- Polygenis, Tasos, »Binder Jetting: A Comprehensive Guide to the Additive Manufacturing Process,« *Wevolver* (7. jul. 2023). <https://www.wevolver.com/article/binder-jetting-a-comprehensive-guide-to-the-additive-manufacturing-process> (zadnji dostop 8. 4. 2024.)
- Ravi, S., Woods, K., »Design Considerations for Three Dimensional Printed Cores and Molds,« *AFS Transactions* (2015).
- Rittmeyer, Dave, »3D Sand Printing 101«, tehnični članek, predložen za predstavitev na kongresu *AFS Metalcasting Congress 2024, Milwaukee, Wisconsin* (23.–25. april 2024).
- Trinowski, Doug, »Understanding 3D Sand Printers and Binder Technologies« (1. jan. 2019). <https://www.foundrymag.com/molds-cores/article/21931923/understanding-3d-sand-printers-and-binder-technologies> (zadnji dostop 8. 4. 2024.)
- *AFS Transactions* (2023)

M. Vončina<sup>1</sup>, T. Balaško<sup>1</sup>, S. Kores<sup>2</sup>, T. Premužič<sup>2</sup> in J. Medved<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za materiale in metalurgijo (SI) / University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Materials and Metallurgy (SI)

<sup>2</sup> Talum, Tovarna aluminija d.d. (SI) / Talum, Aluminium factory d.d. (SI)

## **Prenos znanja iz univerze v industrijo - optimiranje proizvodnje drogov iz aluminijeve zlitine EN AW-6082 visoke kakovosti**

### **Knowledge Transfer from University to Industry - Optimization of Billets Production from High-Quality Aluminum Alloy EN AW-6082**

#### **Povzetek**

V sklopu visokošolskega izobraževanja študenti pridobivajo napredna znanja, veščine in kompetence, potrebne za uspešno kariero v izbranem poklicu. Na Oddelku za materiale in metalurgijo se osredotočamo na usmerjeno izobraževanje in usposabljanje novih strokovnjakov in prenos njihovega znanja v industrijo, ki je ključnega pomena za razvoj in napredek v industriji in raziskavah. Iz tega razloga študenti med študijem sodelujejo pri raziskovalnih projektih, povezanih z gospodarstvom. V tem prispevku je predstavljen primer dobre prakse prenosa znanja iz univerze v industrijo v okviru zaključne magistrske naloge študenta.

V proizvodnem procesu izdelave zlitine na kvaliteto končnega izdelka vpliva veliko faktorjev in sicer: delež založenega primarnega in sekundarnega aluminija v talilno peč, obdelava taline, čiščenje taline v peči, udrobnjevanja taline, čiščenja taline izven peči, procesni parametri pri litju in pogoji homogenizacije drogov. Namen raziskave v sklopu magistrskega dela je bil izdelava drogov zlitine EN AW-6082 dolžine 7000 mm z minimalnim izmetom, oziroma znižanje tehnološkega izmeta, kar pomeni boljšo stroškovno učinkovitost in konkurenčnost na trgu. Ugotovljeno je bilo, da je za doseganje ustrezne mikrostrukture po celotni dolžini droga zlitine EN AW-6082 potrebno zagotoviti višjo temperaturo taline na začetku litja. To je bilo doseženo z dodatnimi izolacijskimi pokrovi, ki imajo na spodnji strani električne grelce. V sklopu raziskave smo dosegli zmanjšanje tehnološkega izmeta, kar predstavlja boljšo stroškovno učinkovitost in konkurenčnost na trgu.

**Ključne besede:** zlitina EN AW-6082, optimizacija procesa litja drogov, zmanjšanje tehnološkega izmeta, prenos znanja v industrijo

#### **Abstract**

Within higher education, students acquire advanced knowledge, skills, and competencies required for a successful career in their chosen profession. At the Department of Materials and Metallurgy, we focus on the targeted education and training of new professionals and the transfer of their knowledge to industry, which is crucial for the development and progress of industry and research. For this reason, students take part in research projects related to industry during their studies. This article presents an example of a good practice of knowledge transfer from university to industry as part of the student's final Master's thesis.

In the alloy production process, the quality of the final product is influenced by many factors, namely: the proportion of primary and secondary aluminium stored in the melting furnace, the melt treatment, the melt purification in the furnace, the melt grain refining, the melt purification outside the furnace, the process parameters during casting and the conditions for homogenizing the ingots. The investigation which was part of Master thesis aimed to produce 7000 mm long bars from the alloy EN AW-6082 with minimal rejection or to reduce the technological rejection, which means better cost efficiency and competitiveness on the market. It was found that to achieve a suitable microstructure over the entire length of the EN AW-6082 alloy bar, a higher melting temperature is required at the start of casting. This was achieved with additional insulating covers, which have electrical heaters on the underside. As part of the Master thesis, a reduction in technological waste was achieved, which means better cost efficiency and competitiveness in the market.

**Key words:** EN AW-6082 alloy, casting process optimization of bars, technological waste reduction, knowledge transfer to industry

## 1 Uvod

Aluminijeva zlitina ENAW-6082 se uporablja za različne namene v gradbeništvu, strojništvu, avtomobilski industriji ipd. [1]. Dolgoletne izkušnje uporabe zlitine EN AW-6082 v komercialne namene so pokazale, da je ta zlitina odporna na vremenske vplive brez zaščitnih prevlek. Med zlitinami serije 6xxx dosega najboljše mehanske lastnosti (npr. meja tečenja 320 MPa, raztezek 12 %) [2]. Mikrostruktura in mehanske lastnosti zlitine EN AW-6082 so odvisne od legiranih elementov (tvori se veliko število intermetalnih faz) in od vrednosti procesnih parametrov pri izdelavi taline, litja, strjevanja, homogenizacije, preoblikovanja ter toplotne obdelave [3,4,5]. V proizvodnem procesu izdelave zlitine na kakovost končnega izdelka vpliva veliko faktorjev in sicer: delež založenega primarnega in sekundarnega aluminija v talilno peč, obdelava taline, čiščenje taline v peči, udrobnjevanje taline, čiščenje taline izven peči, procesni parametri pri litju in pogoji homogenizacije drogov [6].

Prednost zlitine EN AW-6082 v primerjavi z drugimi materiali (npr. jeklom) je njena relativno majhna gostota ob relativno

## 1 Introduction

The aluminium alloy EN AW-6082 is used for various purposes in the construction industry, mechanical engineering, automotive industry, etc [1]. Many years of experience in the application of the alloy EN AW-6082 for commercial purposes have shown that this alloy is resistant to weather conditions without protective coatings. Among the alloys of the 6xxx series, it achieves the best mechanical properties (e.g. yield strength 320 MPa, elongation 12%) [2]. The microstructure and mechanical properties of the EN AW-6082 alloy depend on the alloying elements (many intermetallic phases are formed) and on the values of the process parameters during the production of the melt, casting, solidification, homogenization, transformation and heat treatment [3,4,5]. In the production process of manufacturing aluminium alloy EN AW-6082 the quality of the final product is influenced by many factors, namely: what is the proportion of stocked primary and secondary aluminium into the melting furnace, what is the treatment of the melt, what is the treatment of the melt in the furnace, modification



visoki meji tečenja [7]. V sodobnih livarnah se talina za pripravo zlitine EN AW-6082 izdelava v določenem deležu iz primarnega in sekundarnega aluminija. Že pri pripravi taline se pojavijo v talini nečistoče oz. vključki, ki so lahko kovinskega ali nekovinskega izvora in lahko negativno vplivajo na livne in mehanske lastnosti ulite zlitine. Da zagotovimo homogeno kemijsko sestavo taline v livni peči, je pred začetkom litja potrebno pravilno izvesti tehnološke operacije, kot so: legiranje, čiščenje, mešanje in odstajanje [8,9]. Za obdelavo taline izven peči se uporablja udrobnjevalec AlTi5B1 [10], ki prispeva k udrobnjevanju primarnih zmesnih kristalov  $\alpha$ -Al in SIR filter (sifonski inertni reaktor), ki je učinkovita naprava za rafiniranje in odstranjevanje vodika iz taline. Postopek litja poteka na polkontinuuirnem vertikalnem livnem stroju, po tehnologiji imenovani „Hot top - gas slip“. Hot top je naziv za postopek litja drogov s posebno konstrukcijo kokile, ki je sestavljena iz keramičnega in grafitnega obroča. Po litju je potrebno drogeve toplotno obdelati in na ta način zagotoviti optimalne mehanske lastnosti za nadaljnjo predelavo (iztiskanje drogov) [9].

Primerjali smo rezultate preiskav in analiz iz dveh šarž aluminijeve zlitine EN AW-6082 pred in po predelavi livnega sistema. Za karakterizacijo preiskovane aluminijeve zlitine EN AW-6082 visoke kakovosti in doseganje ustrezne mikrostrukture na drogovih premera 228 mm, so bile opravljene naslednje analize in preiskovalne metode: temperaturne meritve, kemijska analiza, termodinamična simulacija faznih ravnotežij (Thermo-Calc) ter optična mikroskopija in elektronska mikroskopija. Ugotovljeno je bilo, da je za doseganje ustrezne mikrostrukture po celotni dolžini droga zlitine EN AW-6082 potrebno zagotoviti višjo temperaturo taline na začetku litja. Namen raziskave

agent added to the melt, how is the cleaning of the melt outside the furnace, what are the parameters of the casting process and the conditions under which the billets are homogenized [6].

The advantage of the EN AW-6082 alloy compared to other materials (e.g. steel) is its relatively low density with a relatively high yield strength [7]. In modern foundries, the melt for preparing the EN AW-6082 alloy is produced in a certain proportion from primary and secondary aluminium. During the preparation of the melt, impurities appear in the melt or inclusions that may be of metallic or non-metallic origin and may adversely affect the casting properties and mechanical properties of the cast alloy. To ensure a homogeneous chemical composition of the melt in the casting furnace, technological operations such as: alloying, cleaning, mixing, and settling [8,9] must be performed correctly before the start of casting. An AlTi5B1 [10] grain refiner, which contributes to the refining of the primary  $\alpha$ -Al crystals, and a SIR filter (siphon inert reactor), which is an efficient device for refining and removing hydrogen from the melt, are used for processing the melt outside the furnace. The casting process takes place on a semi-continuous vertical casting machine, the technology called "Hot top - gas slip" is used. Hot top is the name for the process of casting billets with a special construction of the mold, which consists of a ceramic and graphite ring. After casting, it is necessary to heat treat the billets and ensure optimal mechanical properties for further processing (extrusion of the billets) [9].

The results of investigations and analyses from two batches of cast aluminium alloy EN AW-6082 before and after the reconstruction of the casting system were compared. For the characterization of the investigated aluminium alloy EN

je bil izdelava drogov zlitine EN AW-6082 dolžine 7000 mm z minimalnim izmetom, oziroma znižanje tehnološkega izmeta, kar pomeni boljšo stroškovno učinkovitost in konkurenčnost na trgu.

## 2 Eksperimentalno delo

Meritve temperatur so bile izvedene na livnih kokilah tik pred litjem ter med litjem v talini zlitine EN AW-6082. Meritve temperatur na livnih kokilah so se izvajale s prenosnim digitalnim termometrom znamke Voltcraft IR 550-10S, meritve taline pa so se izvajale preko temperaturne sonde v livni peči in z ročnim digitalnim termometrom znamke Therm 225-1. Meritve so se izvajale pred in po predelavi livnega sistema.

Kemijska analiza na vzorcih iz zlitine EN AW-6082 je bila narejena z optično emisijskim spektrometrom OES ARL 4460 v podjetju Talum Inštitut d.o.o. v Kidričevem. Iz analizirane kemijske sestave smo z računalniškim programom Thermo-Calc in bazo podatkov TCAI4 izvedli simulacijo termodinamično ravnotežnega strjevanja preiskovane zlitine EN AW-6082. Z računalniškim programom smo izračunali izopletno ravnotežne fazne diagrame z vsemi termodinamično obstojnimi fazami.

V okviru raziskave smo analizirali tudi mikrostrukturne sestavine na drogu iz zlitine EN AW-6082 pred in po predelavi livnega sistema. Za karakterizacijo mikrostrukture zlitine EN AW-6082 smo opravili analize na 48 vzorcih homogenizirane aluminijeve zlitine EN AW-6082, ki so bili odvzeti iz šestih odrezov (diskov) iz homogeniziranega droga. Debelina diska je bila 20 mm, premer pa 228 mm. Trije diski so bili odvzeti iz prve šarže (oznaka A) na dolžini droga 5900 mm, 6500 mm in 7000 mm, ki je bila lita pred predelavo livnega sistema, trije diski pa so bili odvzeti iz druge šarže (oznaka B) na dolžini droga 5900 mm, 6500 mm in

AW-6082 of high quality and to achieve appropriate microstructure on billets of 228 mm diameter the following measurements and investigation methods were used: temperature measurement, chemical analysis, thermodynamic simulation of phase equilibria (Thermo-Calc), optical microscopy and electron microscopy. It was found that to achieve the appropriate microstructure over the entire length of the billet from alloy EN AW-6082 it is necessary to provide a higher temperature of the melt at the start of the casting. The purpose of the investigation was to cast billets from alloy EN AW-6082 of length 7000 mm with minimal rejection, which means better cost efficiency and market competitiveness.

## 2 Experimental Work

Temperature measurements were performed on continuous casting molds just before casting and during casting in the EN AW-6082 alloy melt. Temperature measurements on the casting molds were carried out with a portable digital thermometer of the brand Voltcraft IR 550-10S, and measurements of the melt were carried out via a temperature probe in the casting furnace and with a hand-held digital thermometer of the brand Therm 225-1. Measurements were carried out before and after the reconstruction of the casting system.

Chemical analysis on samples from alloy EN AW-6082 was performed with an optical emission spectrometer OES ARL 4460 in the company Talum Institut d.o.o. in Kidričevo. Based on the analyzed chemical composition, a simulation of the thermodynamic equilibrium solidification of the investigated alloy EN AW-6082 using the Thermo-Calc computer program and the TCAI4 database was performed. Using

7000 mm, ki je bila lita po predelavi livnega sistema. Merjenje dolžine preiskanega droga se je izvajalo od glave droga (konec litja) proti peti droga (začetek litja), kar pomeni, da je bila dolžina droga na 7000 mm dejansko dolžina droga po 150 mm litja, dolžina droga 6500 mm je bila dejanska dolžina po 650 mm litja, dolžina droga 5900 mm pa je bila dejanska dolžina po 1150 mm litja. Končna livna dolžina drogov znaša 7300 mm, pri čemer odrez glave in pete ulitega droga znašata skupaj 300 mm. Za analizo zrnatosti so bile narejene preiskave z optičnim mikroskopom Olympus BX61 v polarizirani svetlobi. Vzorce zlitine EN AW-6082 smo preiskali tudi z vrstičnim elektronskim mikroskopom JEOL JSM 5610, ki je opremljen z energijsko disperzijskim spektrometrom rentgenskih žarkov.

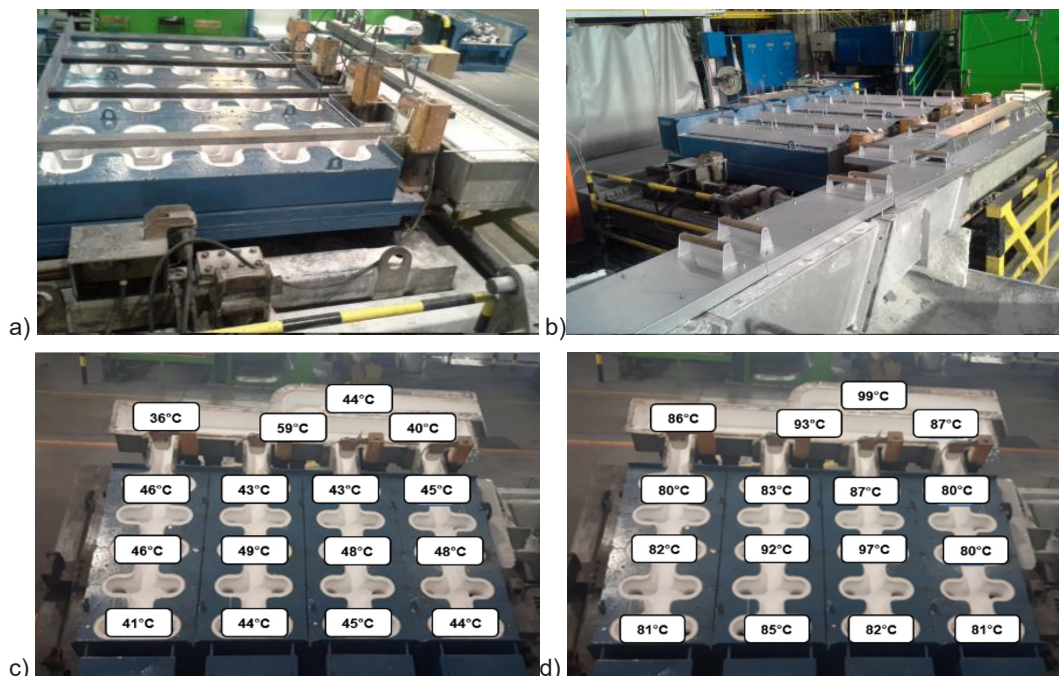
### 3 Rezultati in diskusija

Temperaturne meritve so se najprej izvajale na livnih žlebovih in livni garnituri (kokilah) pred in po predelavi livnega sistema. Ugotovili smo, da izolacijski pokrovi bistveno prispevajo k ogrevanju livnega sistema pred začetkom litja. Po predelavi livnega sistema je bila temperatura taline na začetku litja višja (slika 1), kar ugodno vpliva na mikrostrukturo droga zlitine EN AW-6082.

Merjenje temperature taline pred predelavo livne garniture se je izvajalo na začetku litja in nato pri dolžini ulitega droga 150 mm. Temperatura taline se je merila s termo-sondo pri izlivu livne peči in je znašala 722 °C. Temperatura taline se je merila tudi v livnem žlebu in je znašala 695 °C. Temperatura taline v zadnji najbolj oddaljeni kokili livne garniture  $\Phi$  228 mm pa je znašala 650 °C. Po predelavi livne garniture pa je temperatura taline pri izlivu livne peči znašala 722 °C, v livnem žlebu

a computer program, isopleth equilibrium phase diagrams with all thermodynamically stable phases were calculated.

In a frame of the work, the microstructural components on the EN AW-6082 alloy billet before and after processing the casting system were analyzed. To characterize the microstructure of the EN AW-6082 alloy, analysis on 48 samples of the homogenized aluminium alloy EN AW-6082, which were taken from six discs from the homogenized billets was performed. The thickness of the disk was 20 mm, and the diameter was 228 mm. Three discs were taken from the first batch (designation A) at billet lengths of 5900 mm, 6500 mm and 7000 mm, which were cast before the casting system was reconstructed, and three discs were taken from the second batch (designation B) at a billet length of 5900 mm, 6500 mm and 7000 mm, which was cast after the reconstruction of the casting system. The length of the examined billet was measured from the head of the billet (end of casting) to the heel of the billet (beginning of casting), which means that the length of the billet at 7000 mm was actually the length of the billet after 150 mm of casting, the length of the billet of 6500 mm was the actual length after 650 mm casting, and the billet length of 5900 mm was the actual length after 1150 mm casting. The final casting length of the billet is 7300 mm, with the cut of the head and heel of the cast billet totalling 300 mm. For grain analysis, examinations were made with an optical microscope Olympus BX61 in polarized light. The EN AW-6082 alloy samples were also examined with a JEOL JSM 5610 scanning electron microscope equipped with an energy-dispersive X-ray spectrometer.



**Slika 1.** Gretje livne garniture brez izolacijskih pokrovov (a), lokacije in rezultati meritev livne garniture v °C pred litjem šarže A (b) ter gretje livne garniture z izolacijskimi pokrovi (c) in lokacije in rezultati meritev livne garniture v °C pred litjem šarže B (d).

**Figure 1.** Heating of the casting die without insulating covers (a), locations and results of measurements of the casting die in °C before casting batch A (b) and heating of the casting die with insulating covers (c) and locations and results of measurements of the casting die in °C before casting of batch B (d).

705 °C in v zadnji najbolj oddaljeni kokili livne garniture  $\Phi$  228 mm 658 °C.

Načrtovano sestavo zlitine EN AW-6082 smo izdelali z mešanjem taline primarnega in sekundarnega aluminija, približno v razmerju 1:1, v 40 t električni peči. Doseganje ustrezne kemijske sestave smo izvedli z dodajanjem legirnih elementov. Talino v peči smo legirali s čistim magnezijem in silicijem. Preiskave kemijske sestave so bile narejene pri pripravi taline na livni peči tik pred pričetkom litja drogov. Obe kemijski sestavi sta bili ustrezni in sta podani v tabeli 1.

Analiza kemijske sestave smo naredili tudi na šestih vzorcih iz ulitega droga

### 3 Results and Discussion

Temperature measurements were first carried out on the casting launder and casting die (molds) before and after the casting system was reconstructed. It was found that the insulating covers significantly contribute to the heating of the casting system before the start of casting. After reconstruction the casting system, the temperature of the melt at the beginning of casting was higher (Figure 1), which has a favourable effect on the microstructure of the EN AW-6082 alloy billet.

The measurement of the temperature of the melt before reconstruction of casting

**Tabela 1.** Kemijska sestava šarže A in B pred litjem.**Table 1.** Chemical composition of batches A and B before casting.

| Šarža / Batch | Element [mas. %] |      |      |      |      |      |      |      |        |       |        | Nečistoče / Impurities   |                   |
|---------------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|--------|--------------------------|-------------------|
|               | Si               | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Cr   | Zn   | Ti   | Hg     | Pb    | Cd     | Posamezno / Individually | Skupaj / Together |
|               |                  |      |      |      |      |      |      |      |        |       |        |                          |                   |
| A             | 0,84             | 0,26 | 0,01 | 0,47 | 0,67 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | 0,84              |
| B             | 0,85             | 0,24 | 0,02 | 0,49 | 0,69 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |

**Tabela 2.** Kemijska sestava preiskovanih vzorcev iz diskov.**Table 2.** Chemical composition of the investigated samples from discs.

| Vzorec / Sample | Element [mas. %] |      |      |      |      |      |      |      |        |       |        | Nečistoče / Impurities   |                   |
|-----------------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|-------|--------|--------------------------|-------------------|
|                 | Si               | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Cr   | Zn   | Ti   | Hg     | Pb    | Cd     | Posamezno / Individually | Skupaj / Together |
|                 |                  |      |      |      |      |      |      |      |        |       |        |                          |                   |
| A1S             | 0,83             | 0,25 | 0,01 | 0,47 | 0,64 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| A1R             | 0,85             | 0,26 | 0,01 | 0,47 | 0,65 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| A2S             | 0,83             | 0,25 | 0,01 | 0,47 | 0,64 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| A2R             | 0,85             | 0,26 | 0,01 | 0,47 | 0,65 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| A3S             | 0,84             | 0,26 | 0,01 | 0,47 | 0,64 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| A3R             | 0,83             | 0,25 | 0,01 | 0,47 | 0,64 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| B1S             | 0,83             | 0,24 | 0,01 | 0,50 | 0,65 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| B1R             | 0,85             | 0,24 | 0,01 | 0,50 | 0,65 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| B2S             | 0,83             | 0,23 | 0,01 | 0,50 | 0,64 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| B2R             | 0,85             | 0,24 | 0,01 | 0,50 | 0,65 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| B3S             | 0,83             | 0,23 | 0,01 | 0,50 | 0,64 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |
| B3R             | 0,84             | 0,24 | 0,01 | 0,50 | 0,65 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | <0,001 | <0,01 | <0,001 | <0,05                    | <0,15             |

šarže A, ki je bil lit pred predelavo livnega sistema in šestih vzorcih ulitega droga šarže B, ki je bil lit po predelavi livnega sistema. Kemijska analiza je bila narejena na šestih diskih obeh ulitih šarž zlitine EN AW-6082 iz sredine in roba diska. Rezultati kemijske analize iz označenih vzorcev, ki so bili odvzeti iz diskov šarže A in šarže B, so prikazani v tabeli 2. Oznake vzorcev so: A - podaja šaržo, številke 1, 2 in 3 - mesto odvzema diska na 5900, 6500 in 7000 mm dolžine droga ter S in R-sredina ali rob droga. Kemijska analiza preiskanih vzorcev je prikazala, da je na robu droga pri obeh šaržah večja koncentracija Si, Fe in Mg. Iz kemijske analize prikazane v tabeli 2 smo ugotovili prisotnost makroizcej, delež

system the continuous casting die was carried out at the beginning of the casting and then at a length of 150 mm of the cast billet. The temperature of the melt was measured with a thermo-probe at the outlet of the casting furnace and was 722 °C. The temperature of the melt was also measured in the casting launder and was 695 °C. The temperature of the melt in the outermost mold of the  $\Phi$  228 mm casting die was 650 °C. After reconstruction the casting die, the temperature of the melt at the outlet of the casting furnace was 722 °C, 705 °C in the casting launder and 658 °C in the outermost mold of the casting die  $\Phi$  228 mm.

The planned composition of the EN AW-6082 alloy was produced by mixing



legirnih elementov na robu diska je večji kot v sredini diska.

Za termodinamične simulacije so bili izbrani štirje elementi, ki so v zlitini aluminija zastopani v največjih deležih (Si, Fe, Mg in Mn). Na sliki 2 je razvidno, da se ravnotežno strjevanje preiskovane zlitine prične, ko se iz taline začnejo strjevati primarni zmesni kristali  $\alpha$ -Al pri temperaturi 651 °C (likvidus temperatura). Z zniževanjem temperature se pri temperaturi 633 °C začne strjevati evtektska faza  $\text{Al}_{15}\text{Si}_2\text{Mn}_2$ . Strjevanje se konča pri temperaturi 601 °C. Pri nadaljnjem ohlajanju se pri temperaturi 510 °C prične izločanje faze  $\text{Mg}_2\text{Si}$ . Ko temperatura taline pade na 437 °C se začne izločanje faze  $\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2$ . Glede na termodinamični izračun se pri temperaturi 441 °C izloči še faza  $\beta$ -Si.

V tabeli 3 so prikazane faze in temperature pri katerih se faze strjujejo oz. izločajo, ter ravnotežni delež le-teh pri sobni temperaturi odčitanih iz ravnotežnega faznega diagrama prikazanega na sliki 2.

S pomočjo atlasa mikrostruktur aluminijevih zlitin smo kvalitativno določili značilne faze v izrezu diska zlitine EN AW-6082 (slika 3). Mikrostruktura zlitine EN AW-6082 sestoji iz večkomponentne trdne raztopine  $\alpha$ -Al. Razložimo lahko faze  $\text{AlFeMnSi}$ , ki se pojavljajo v različnih

primary and secondary aluminium melt, approximately in a 1:1 ratio, in a 40 t electric furnace. The appropriate chemical composition was achieved by adding alloying elements. The melt in the furnace was alloyed with pure magnesium and silicon. Investigations of the chemical composition were made during the preparation of the melt in the casting furnace just before the start of casting the bars. Both chemical compositions were adequate.

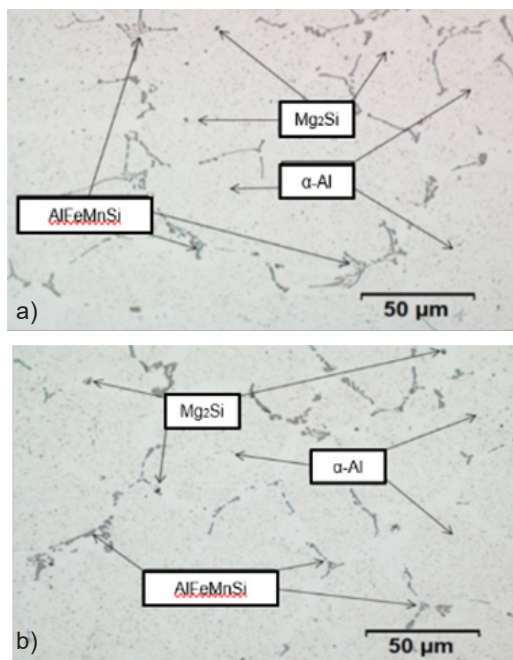
The chemical composition analysis was also performed on six samples from the cast billet of batch A, which was cast before reconstruction of the casting system, and six samples of the cast billet of batch B, which was cast after reconstruction the casting system. Chemical analysis was done on six discs of both cast batches of EN AW-6082 alloy from the centre and edge of the disc. The results of the chemical analysis from the labeled samples taken from the discs of batch A and batch B are shown in Table 2. Sample labels are A-indicates the batch, numbers 1, 2 and 3-place of the disc withdrawal at 5900, 6500 and 7000 mm of billet length and S and R - middle or edge of the disc. The chemical analysis of the examined samples presented in Table 2 showed that there is a higher concentration of Si, Fe and Mg at the edge of the billet in

**Tabela 3.** Ravnotežne faze ter temperature nastanka faz, ki se pojavijo v zlitini EN AW-6082.

**Table 3.** Equilibrium phases and phase formation temperatures that occur in the EN AW-6082 alloy.

| Faza /<br>Phase                        | Šarža / Batch A                      |                                                               | Šarža / Batch B                      |                                                               |
|----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|                                        | Temperatura /<br>Temperature<br>[°C] | Delež faze pri 20 °C /<br>Phase fraction at 20 °C<br>[mas. %] | Temperatura /<br>Temperature<br>[°C] | Delež faze pri 20 °C /<br>Phase fraction at 20 °C<br>[mas. %] |
| $\alpha$ -Al                           | 651                                  | 96,077                                                        | 649                                  | 96,352                                                        |
| $\text{Al}_{15}\text{Si}_2\text{Mn}_2$ | 633                                  | 1,605                                                         | 636                                  | 1,670                                                         |
| solidus                                | 601                                  | /                                                             | 607                                  | /                                                             |
| $\text{Mg}_2\text{Si}$                 | 510                                  | 1,057                                                         | 504                                  | 1,020                                                         |
| $\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2$    | 437                                  | 1,001                                                         | 421                                  | 0,872                                                         |
| $\beta$ -Si                            | 441                                  | 0,260                                                         | 388                                  | 0,279                                                         |





**Slika 3.** Mikroposnetek vzorca iz šarže A, odvzetega na dolžini droga 7000 mm iz sredine (a) ter vzorca iz šarže B, odvzetega na dolžini droga 7000 mm iz sredine (b).

**Figure 3.** Micrograph of a sample from batch A taken at a billet length of 7000 mm from the centre (a) and a sample from batch B taken at a billet length of 7000 mm from the centre (b).

kvalitativno na podlagi primerjalnih etalonov. Vrednosti analize vzorcev so razvidne v tabeli 4. Vzorci so bili velikosti cca 4 cm<sup>2</sup>. Iz kvantitativne analize mikrostrukturnih sestavin smo ugotovili, da je po predelavi livnega sistema število faz Mg<sub>2</sub>Si, ki so večje od 1 mikrometra, manjše. Zmanjšala se je poroznost in število vključkov.

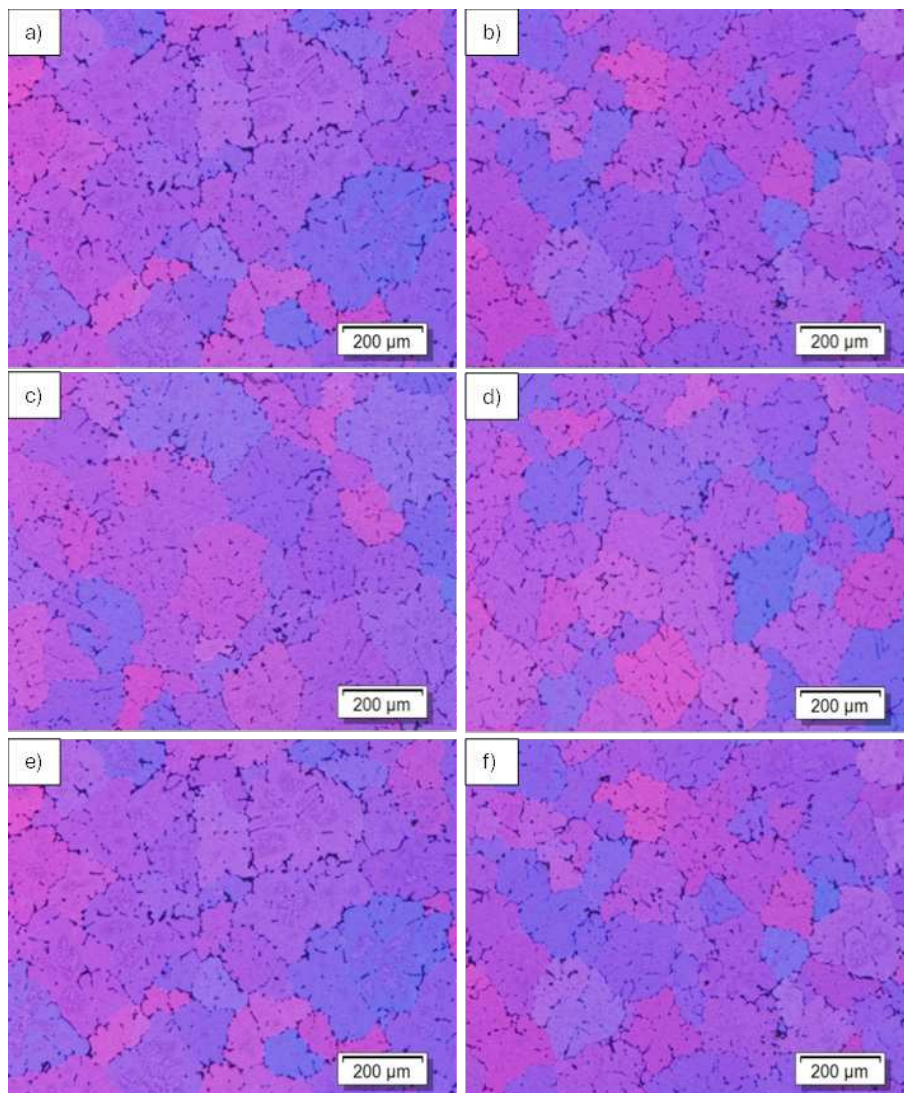
S primerjavo velikosti kristalnih zrn smo potrdili, da so zrna ob robu diska manjša kot na sredini diska, zaradi večje ohlajevalne hitrosti na robu drogov (sliki 4 in 5). Ugotovili smo, da je v obeh ulitih šaržah iz zlitine EN AW-6082 makrostruktura finožrnata, kar je posledica dodajanja udrobnjevalca AlTi5B1. Opazimo lahko tudi, da so zrna

can be seen in Figure 2 that the equilibrium solidification of the investigated alloy begins when the primary crystals of α-Al begin to solidify from the melt at a temperature of 651 °C (liquidus temperature). As the temperature decreases, the Al<sub>15</sub>Si<sub>2</sub>Mn<sub>2</sub> eutectic phase begins to solidify at a temperature of 633 °C. Solidification ends at a temperature of 601 °C. During further cooling, at a temperature of 510 °C, the precipitation of the Mg<sub>2</sub>Si phase begins. When the temperature of the melt drops to 437 °C, the Al<sub>9</sub>Fe<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> phase begins to precipitate. According to the thermodynamic calculation, the β-Si phase also precipitates at a temperature of 441 °C.

Table 3 shows the phases and temperatures at which the phases solidify or precipitate, and their equilibrium fraction at room temperature read from the equilibrium phase diagram shown in Figure 2.

With the help of the atlas of microstructures of aluminium alloys, qualitatively the characteristic phases in the EN AW-6082 alloy disc (Figure 3) were determined. The microstructure of the EN AW-6082 alloy consists of a multicomponent α-Al solid solution. The AlFeMnSi phases were distinguished, which appear in various "Chinese script" forms, and the Mg<sub>2</sub>Si intermetallic phase [11].

A quantitative analysis of microstructural components on all investigated samples was also performed. In this way, the number of phases was analyzed (Mg<sub>2</sub>Si > 1 μm/0.51 mm<sup>2</sup>), the porosity was analyzed based on internal standards and the number of inclusions (/cm<sup>2</sup>). Porosity was analyzed qualitatively based on comparative standards. The values of the sample analysis can be seen in Table 4. The samples were approximately 4 cm<sup>2</sup> in size. From the quantitative analysis of the microstructural components was found that after reconstruction of the casting system,



**Slika 4.** Mikrostruktura šarže A v polarizirani svetlobi: A1S (a), A1R (b), A2S (c), A2R (d), A3S (e), A3R (f).

**Figure 4.** Microstructure of batch A in polarized light: A1S (a), A1R (b), A2S (c), A2R (d), A3S (e), A3R (f).

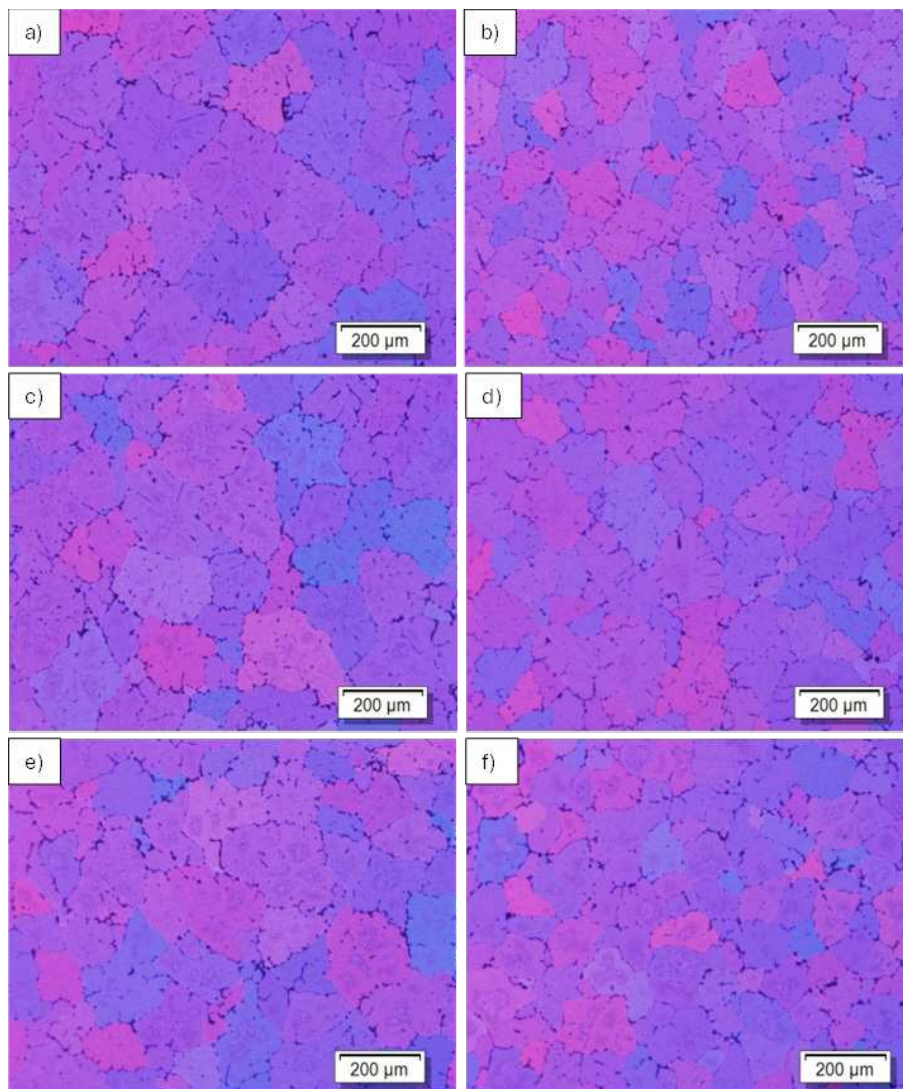
na vseh preiskanih mestih droga manjša po predelavi livnega sistema (tabela 5).

Elektronska mikroanaliza vzorcev (SEM) je bila narejena na šestih diskih zlitine EN AW-6082 iz roba diska. V mikrostrukturi smo potrdili in karakterizirali

the number of  $Mg_2Si$  phases that are larger than 1 micrometer is smaller. Porosity and the number of inclusions decreased.

By comparing the size of the crystal grains, it was confirmed that the grains at the edge of the disc are smaller than in the





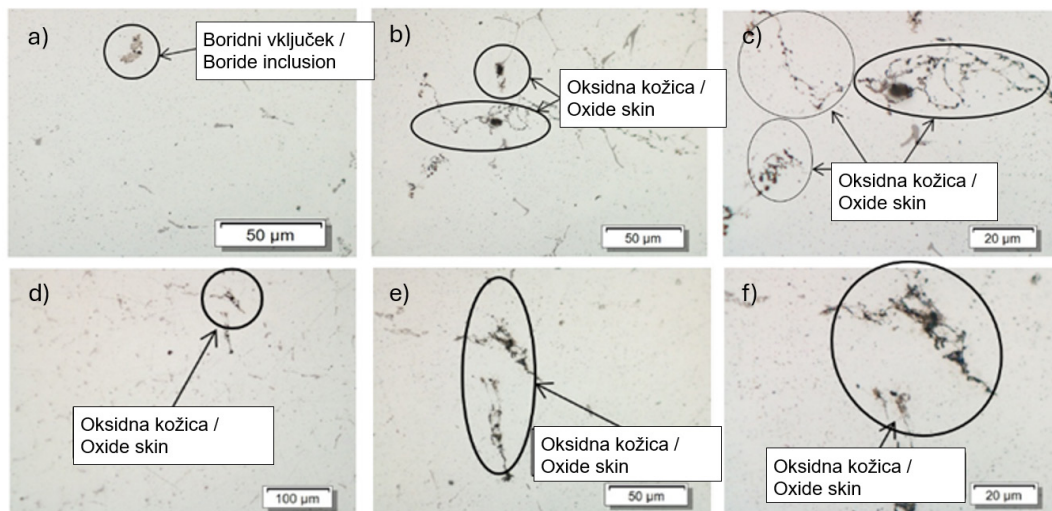
**Slika 5.** Mikrostruktura šarže B v polarizirani svetlobi: B1S (a), B1R (b), B2S (c), B2R (d), B3S (e), B3R (f).

**Figure 5.** Microstructure of batch B in polarized light: B1S (a), B1R (b), B2S (c), B2R (d), B3S (e), B3R (f).

prisotnost intermetalnih faz, vključkov in nečistoč (slika 6). Namen raziskave je bil doseganje ustrezne mikrostrukture na drogovih dolžine 7000 mm, ki so namenjeni za visoko kakovostne profile iz aluminija s čim manjšim odrezom (izmetom).

middle of the disc, due to the higher cooling rate at the edge of the billets (Figures 4 and 5). It was found that in both batches cast from the EN AW-6082 alloy, the macrostructure is fine-grained, which is a result of the addition of AlTi5B1 grain refiner. It can also





**Slika 6.** Vzorec A1R:  $\text{TiB}_2$  - boridni vključek (a), vzorec A2R:  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  - oksidna kožica (b, c), vzorec B3R: Mg-oksidi (d, e, f).

**Figure 6.** Sample A1R:  $\text{TiB}_2$  - boride inclusion (a), sample A2R:  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  - oxide skin (b, c), sample B3R: Mg-oxide (d, e, f).

**Tabela 5.** Primerjava velikosti zrn preiskanih vzorcev iz šarže A in šarže B.

**Table 5.** Comparison of the grain size of the investigated samples from batch A and batch B.

| Vzorec / Sample | Velikost zrn / Grain size [μm] | Šarža / Sample | Velikost zrn / Grain size [μm] |
|-----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| A1S             | 159                            | B1S            | 152                            |
| A1R             | 121                            | B1R            | 116                            |
| A2S             | 155                            | B2S            | 147                            |
| A2R             | 122                            | B2R            | 114                            |
| A3S             | 150                            | B3S            | 139                            |
| A3R             | 117                            | B3R            | 109                            |

S SEM analizo smo ugotovili, da so v drogovih, ki so bili uliti pred in po predelavi livnega sistema v mikrostrukturi prisotni vključki in nečistoče na osnovi Al, Ti, Ca, Mg in O. Prisotnost O bi lahko bila povezana s prekomerno uporabo tehničnih plinov, ki se

be observed that the grains are smaller in all investigated locations of the billet after reconstructing the casting system (Table 5).

Scanning electron microanalysis (SEM) of samples was performed on six discs of EN AW-6082 alloy from the edge of the disc. The presence of intermetallic phases, inclusions and impurities in the microstructure was confirmed and characterized (Figure 6). The purpose of the work was to achieve an appropriate microstructure on 7000 mm long billets, which are intended for high-quality aluminium profiles with the smallest possible cut (discharge).

Through SEM analysis, it was found that in the billets that were cast before and after reconstruction of the casting system, there are inclusions and impurities based on Al, Ti, Ca, Mg and O in the microstructure. The presence of O could be related to the excessive use of technical gases, which are used when casting billets on a Hot Top casting machine.

uporabljajo pri litju drogov na livnem stroju Hot Top.

#### 4 Zaključki

Namen raziskve je bil doseči ustrezno mikrostrukturo drogov dolžine 7000 mm iz zlitine EN AW-6082, ki je namenjena za visoko kakovostne profile iz aluminija. V delu smo analizirali strjevanje in mikrostrukturne sestavine pred in po predelavi livnega sistema. Iz opravljenih preiskav smo prišli do naslednjih zaključkov:

1. Pri merjenju temperature sistema livnih žlebov in livne garniture pred in po predelavi livnega sistema smo ugotovili, da so temperature v povprečju za 45 °C višje, če je livni sistem pokrit z izolacijskimi pokrovi.
2. Kljub temu, da je na začetku ulivanja drogov pred in po predelavi livnega sistema bila pri obeh šaržah temperatura taline na livni peči enaka, smo pri litju izmerili različne temperature taline na istih mestih livnega sistema. Temperatura se je glede na oddaljenost od livnega sistema do droga nekoliko spreminjala oz. ni bila konstantna. Temperatura taline na najbolj oddaljenem mestu livne garniture je bila višja za 8 °C, ko je bila livna garnitura pokrita s pokrovi.
3. Iz kemijske analize smo ugotovili prisotnost makroizcejev, delež legirnih elementov na robu diska je večji kot v sredini diska.
4. Z računalniškim programom Thermo-Calc je bila izvedena simulacija termodinamičnih ravnotežij preiskovane zlitine EN AW-6082. Ugotovljena je prisotnost naslednjih mikrostrukturnih sestavin:  $\alpha$ -Al,  $\text{Al}_{15}\text{Si}_2\text{Mn}_2$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2$  in  $\beta$ -Si.
5. Primerjava mikrostruktur pred in po predelavi livnega sistema je dokazala

#### 4 Conclusions

The aim of the investigation was to achieve the appropriate microstructure of the 7000 mm long billets made of EN AW-6082 alloy, which is intended for high-quality aluminium profiles. In the investigation, solidification and microstructural components before and after reconstruction of the casting system were analyzed. From the conducted investigations, the following conclusions can be drawn:

1. When measuring the temperature of the casting launder system and the casting die before and after reconstructing the casting system, it was found that the temperatures are in average 45 °C higher if the casting system is covered with insulating covers.
2. Despite the fact that at the beginning of the casting of the billets before and after reconstructing the casting system, the temperature of the melt on the casting furnace was the same in both batches, during casting different temperatures of the melt at the same places of the casting system were measured. The temperature varied slightly depending on the distance from the casting system to the billet or was not constant. The temperature of the melt at the farthest point of the casting die was 8 °C higher when the casting die was covered with covers.
3. From the chemical analysis, the presence of microsegregates was found, whereas the proportion of alloying elements at the edge of the disc is greater than in the middle of the disc.
4. The Thermo-Calc computer program was used to simulate the thermodynamic balances of the investigated EN AW-6082 alloy. The presence of the following microstructural components was found:  $\alpha$ -Al,  $\text{Al}_{15}\text{Si}_2\text{Mn}_2$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,

večjo prisotnost nekovinskih vključkov v mikrostrukturi droga na dolžini 7000 mm, ki je bil ulit pred predelavo livnega sistema.

6. Ugotovili smo, da je v mikrostrukturi zlitine EN AW-6082 število faz  $Mg_2Si$ , ki so večje od 1  $\mu m$  na drogu dolžine 7000 mm manjše, če je livni sistem pokrit z izolacijskimi pokrovi.
7. S primerjalno analizo smo dokazali, da je poroznost v mikrostrukturi zlitine EN AW-6082 v drogu dolžine 7000 mm manjša, če je livni sistem pokrit z izolacijskimi pokrovi.
8. Ugotovili smo, da livni sistem, ki je pokrit z izolacijskimi pokrovi, vpliva na velikost kristalnih zrn. V mikrostrukturi drogov, ki so bili liti po predelavi livnega sistema, so zrna na dolžini droga 7000 mm manjša za cca 5 %.
9. Z vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM) je v mikrostrukturi dokazana prisotnost vključkov in nečistoč različnih oblik in velikosti na osnovi O, Al, Mg, Ca in Ti.

Glede na dobljene rezultate smo ugotovili, da je potrebno zagotoviti čim bolj enakomerne pogoje litja skozi celotno litje posamezne šarže. Na začetku litja je za uspešen pričetek litja potrebno zagotoviti ustrezno temperaturo taline na najbolj oddaljenem delu livne garniture, ki odločilno vpliva na mikrostrukturo zlitine ENAW-6082. Dokazali smo, da je razdelilne žlebove pred SIR filtrom bolje toplotno izolirati. To zaradi zmanjšanja temperaturnega gradienta taline med začetkom in koncem litja prispeva k izboljšanju mikrostrukture drogov zlitine EN AW-6082 na dolžini 7000 mm in s tem se zmanjša izmet oz. odrez drogov po litju.

Ugotovitve raziskave so že bile vpeljane v redno proizvodnjo. Dosegli so zmanjšanje tehnološkega izmeta, kar predstavlja boljšo

$Al_9Fe_2Si_2$  and  $\beta-Si$ .

5. The comparison of the microstructures before and after the reconstruction of the casting system proved the greater presence of non-metallic inclusions in the microstructure of the billet with a length of 7000 mm, which was cast before the reconstruction of the casting system.
6. It was found that in the microstructure of the EN AW-6082 alloy, the number of  $Mg_2Si$  phases larger than 1  $\mu m$  on a 7000 mm long billet is smaller if the casting system is covered with insulating covers.
7. Through a comparative analysis, the smaller porosity in the microstructure of the EN AW-6082 alloy in a 7000 mm long billet was proved if the casting system is covered with insulating covers.
8. We found that the casting system, which is covered with insulating covers, affects the size of the crystal grains. In the microstructure of billets that were cast after reconstruction of the casting system, the grains on the billet length of 7000 mm are smaller by approx. 5%.
9. The presence of inclusions and impurities of various shapes and sizes based on O, Al, Mg, Ca and Ti is proven by electron microscopy (SEM).

Based on the obtained results, it can be concluded that it is necessary to ensure the most uniform casting conditions throughout the entire casting of each batch. At the beginning of casting, for a successful start of casting, it is necessary to ensure the appropriate temperature of the melt at the farthest part of the casting die, which decisively affects the microstructure of the EN AW-6082 alloy. It was proved that it is better to thermally insulate the runners before the SIR filter. The reduction of the temperature gradient of the melt between

stroškovno učinkovitost in konkurenčnost na trgu.

the beginning and the end of casting, contributes to the improvement of the microstructure of the billets of the EN AW-6082 alloy at a length of 7000 mm, thereby reducing the rejection or cutting of billets after casting.

The findings of the investigation have already been introduced into regular production. They have achieved a reduction in technological waste, which represents better cost efficiency and competitiveness in the market.

## Viri / References

- [1] Conserva M., Donzelli G., Trippodo R. Aluminium and Its Applications, EDIMET, 1992, 408 p. ISBN 8886259018, 9788886259019
- [2] Aluminium Alloy - Commercial Alloy - 6082 - T6~T651 Plate, dostopno na svetovnem spletu: [https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-6082-T4-Extrusions\\_147.ashx](https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-6082-T4-Extrusions_147.ashx), citirano 12.6.2024].
- [3] Majed M. R. Jaradeh. The Effect of Processing Parameters and Alloy Composition on the Microstructure Formation and Quality of DC Cast Aluminium Alloys, Doctoral Thesis. Mid Sweden University, Sweden. 2006, 46 p.
- [4] Mrówka-Nowotnik G., Sieniawski J., Wierzbicka M. Intermetallic phase particles in 6082 aluminium alloy. Archives of Materials Science and Engineering, 2007, 69–76.
- [5] Birol Y. Homogenization of direct chill cast AlSi1MgMn billets, Int. J. Mater. Res. 105, 2014, 76–82. doi: 10.3139/146.110992.
- [6] Hebert R., Yamabe-Mitarai Y. Alloy Designation, Processing, and Use of AA6XXX Series Aluminium Alloys, ISRN Metallurgy, 2012(2), 1–15. doi:10.5402/2012/165082
- [7] Classification of wrought aluminum alloys. Dostopno na svetovnem spletu: <https://www.google.si/#q=SubsTech.+Classification+of+aluminium+alloys> [citirano dne, 12.6.2024].
- [8] Popescu G., Gheorghe I., Danila F., Moldovan P. Vacuum degassing of aluminium alloys, Materials Science Forum, vol. 217–222, 1996, 147–152. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.217-222.147.
- [9] Woźnicki A., Leśniak D., Wloch G., Leszczyńska-Madej B., Wojtyna A. The effect of homogenization conditions on the structure and properties of 6082 alloy billets, Archives of Metallurgy and Materials, 60(3A), 2015, 1763–1771. doi: 10.1515/amm-2015-0303.
- [10] Birol Y. Performance of AlTi5B1, AlTi3B3, and AlB3 master alloys in refining grain structure of aluminium foundry alloys, Materials Science and Technology, 28(4), 2012, 481–486. doi: 10.1179/1743284711Y.0000000058.
- [11] E. di Russo, Atlante metallografico Delle Leghe di alluminio da fonderia, Brescia, 1993, 280 p. ISBN: 8886259026

## Vpliv postopkov modifikacije in toplotne obdelave na mikrostrukturo in mikrotrdoto aluminijeve zlitine AlSi9Cu3

### Influence of modification and heat treatment procedures on microstructure and microhardness of aluminium alloy AlSi9Cu3

#### Povzetek

V tem delu je raziskan vpliv modifikacije s stroncijem in različnih postopkov toplotne obdelave na mikrostrukturo in mikrotrdoto zlitine AlSi9Cu3. Nemodificirane in modificirane zlitine so bile ulite pri 750 °C v bakreno kokilo s premerom 20 mm. Ulitki v litem in toplotno obdelanem stanju T5 vsebujejo fazo  $\beta_{\text{Si}}$  v obliki velikih lamel. Mikrostruktura zlitine, modificirane s stroncijem, po toplotni obdelavi T5 kaže modificiran evtektik brez lamelnega  $\beta_{\text{Si}}$ . Nemodificirana in modificirana zlitina po toplotni obdelavi T6 kaže podobno mikrostrukturo s fazo  $\beta_{\text{Si}}$  v obliki večjih sferičnih delcev. Mikrotrdota osnove  $\alpha_{\text{Al}}$  je po toplotni obdelavi T6 višja kot po T5, kar je posledica večje vsebnosti bakra v primeru T6. Višja mikrotrdota, opažena pri zlitinah, modificiranih s stroncijem, je lahko posledica zelo nizke toplotnosti stroncija v  $\alpha_{\text{Al}}$ .

**Ključne besede:** Aluminijeve zlitine, modifikacija, mikrostruktura, mikrotrdota

#### Abstract

In this work, the influence of modification with strontium and various heat treatment processes on the microstructure and microhardness of the alloy AlSi9Cu3 is investigated. Unmodified and modified alloy melts were cast at 750 °C in a copper mould with a diameter of 20 mm. The cast and heat-treated T5 castings contain  $\beta_{\text{Si}}$  phases in the form of large lamellae. The microstructure of the Sr-modified alloy after heat treatment T5 shows a fine modified eutectic without lamellar  $\beta_{\text{Si}}$ , while the unmodified and Sr-modified AlSi9Cu3 alloy after T6 shows a similar microstructure with  $\beta_{\text{Si}}$  in the form of larger spherical particles. The microhardness of the  $\alpha_{\text{Al}}$  matrix is higher in T6 compared to T5 heat treatment processes, which is due to the higher copper content in the former case. The higher microhardness observed in Sr-modified alloys could be due to a very low solubility of Sr in  $\alpha_{\text{Al}}$ .

**Keywords:** Aluminium alloys, modification, microstructure, microhardness

## 1 Uvod

Aluminijeve zlitine v zadnjih desetletjih igrajo pomembno vlogo pri lahkih konstrukcijah v transportni industriji in jo imajo še danes – pa naj bo to v ladijskem prometu, vesoljski industriji ali avtomobilski industriji [1].

## 1 Introduction

Aluminium alloys have played an important role in lightweight construction in the transport industry over the past decades and continue to do so today – be it in shipping, aerospace or the automotive



Uvrstitev aluminija med kritične surovine s strani Evropske komisije leta 2023 poudarja njegov osrednji pomen za številne sektorje evropske industrije [2].

Zmanjšanje teže vozil velja za pomemben način doseganja večje učinkovitosti porabe goriva in nižjih emisij [3]. Ta težnja po doseganju visokega razmerja med trdnostjo in težo zlitin je privedla do modifikacije obstoječih vrst komercialno dostopnih zlitin ter razvoja in uvedbe novih aluminijevih zlitin [4]. Končne lastnosti aluminijeve zlitine so kumulativni rezultat izbrane kemijske sestave, procesnih parametrov, mikrostrukture in kasnejših toplotnih obdelav [5].

Večina litih aluminijevih zlitin je na osnovi Al-Si in vsebuje evtektik ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ). Pri počasnem strjevanju teh zlitin tvori faza  $\beta_{Si}$  velike lamele. Te lamele lahko močno vplivajo na mehanske lastnosti teh zlitin [6], saj ostri robovi teh lamel povzročajo tako imenovani zarezni učinek. Zarezni učinek vodi do lokaliziranih koncentracij napetosti, ki lahko presežejo natezno trdnost materiala, kar povzroči nastanek in širjenje razpok ter na koncu porušitev dela izdelanega iz te zlitine [7].

Zarezni učinek lahko odpravimo z modifikacijo pri kateri se morfologija evtektične faze  $\beta_{Si}$  spremeni iz velikih (igličastih) lamel v obliko podobno drobnim koralam, ki ne povzroča tako imenovanega zarnega učinka. Modifikacijo je mogoče doseči bodisi z višjo hitrostjo strjevanja bodisi z dodatkom nadzorovanih količin stroncija, natrija, kalcija in antimona [ASM, zv. 2, 8].

To delo obravnava zlitino AlSi9Cu3 (226D), katere mikrostruktura je sestavljena predvsem iz primarne faze  $\alpha_{Al}$ , obdane z evtektikom ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ). Cilj tega dela je oceniti vpliv modifikacije s stroncijem in različnih toplotnih obdelav, kot sta T5 (umetno staranje) in T6 (raztopno žarjenje, ki mu

industry [1]. The classification of aluminium as a critical raw material in 2023 by the European Commission underlines its central importance for many sectors of European industry [2].

Reducing the weight of vehicles is seen as a promising way to achieve higher fuel efficiency and lower emissions [3]. This drive to achieve high strength-to-weight ratio properties of alloys has led to the modification of existing grades of commercially available alloys and the development and introduction of novel aluminium alloys [4]. The final properties of an aluminium alloy are the cumulative result of the chosen chemical composition, process parameters, microstructure and subsequent heat treatments [5].

Most cast aluminium alloys are Al-Si based and contain an eutectic consisting of ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ). When these alloys cool slowly, the  $\beta_{Si}$  phase forms large lamellae. These lamellae can have a major influence on the mechanical properties of these alloys [6], as the sharp edges of these lamellae cause the so-called notch effect. The notch effect leads to localised stress concentrations that can exceed the ultimate tensile strength of the material, resulting in crack formation and propagation and ultimately failure of the alloy part [7].

To eliminate this notch effect, a modification process has been applied in which the morphology of the eutectic  $\beta_{Si}$  phase is changed from large (acicular) lamellae to a fine coral-like shape that does not lead to the so-called notch effect. The modification can be achieved either by a higher solidification rate or by the addition of controlled amounts of strontium, sodium, calcium and antimony [8].

This work deals with the alloy AlSi9Cu3 (226D), whose microstructure consists mainly of the primary  $\alpha_{Al}$  matrix surrounded by an eutectic consisting of ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ). The

sledi umetno staranje), na mikrostrukturo in mikrotrdoto osnove  $\alpha_{Al}$ .

## 2 Eksperimentalno delo

V delu je bila uporabljena komercialno dostopna aluminijeva zlitina AlSi9Cu3, znana tudi kot 226D. Meje sestave po standardu EN AC 46000 in dejanska sestava, ugotovljena z EDS, so prikazane v tabeli 1. Zlitina z in brez modifikatorja je bila izdelana v komorni peči pri 750 °C in ulita v bakreno kokilo, prikazano na sliki 1. Vzorci so bili odvzeti iz ulitka za nadaljnjo karakterizacijo v spodnjem delu ulitka s premerom 20 mm. Hitrost ohlajanja v središču tega območja ulitka je bila izračunana s programsko opremo Magmasoft med temperaturama likvidus in solidus in znaša približno 7 °C/s. Evtektični silicij je bil modificiran z dodatkom 0,012 mas.% Sr v obliki komercialne predzlitine Al-Sr10 mas.%. Nemodificirane in modificirane vzorce zlitine smo nato toplotno obdelali. Toplotna obdelava po postopku z oznako T5 pomeni, da je bila zlitina v ulitem stanju starana 4 ure pri 180 °C. Postopek z oznako T6 pomeni, da je bila zlitina v ulitem stanju najprej 4 ure žarjena pri 520 °C, nato kaljena v vodi in nato 4 ure starana pri 180 °C.

Vzorci za mikroskopske analize so bili brušeni in na koncu polirani s koloidno suspenzijo SiO<sub>2</sub>. Mikrostrukturo vzorcev zlitin smo pregledali s svetlobnim

aim of this work is to evaluate the effects of strontium modification and different heat treatments such as T5 (artificial ageing) and T6 (solution annealing followed by artificial ageing) on the microstructure and microhardness of the  $\alpha_{Al}$  matrix.

## 2 Experimental Work

The commercially available aluminium alloy AlSi9Cu3, also known as 226D, was used for this work. The composition limits according to the EN AC 46000 standard and the actual composition determined by EDS are shown in Table 1. The alloy with and without modifier was produced in a chamber furnace at 750 °C and cast into a copper mould, which is shown in Figure 1. Samples were taken from the casting for further characterisation in the lower part of the casting with a diameter of 20 mm. The cooling rate in the centre of this area of the casting was calculated between the liquid and solidus temperatures and estimated to be approximately 7 °C/s using Magmasoft software. The eutectic silicon was modified by adding 0.012 wt% Sr in the form of the commercial master alloy Al-Sr10 wt%. The unmodified and modified alloy samples were then heat treated. Heat treatment according to the process labelled T5 means that an alloy in the as-cast condition was aged for 4 hours at 180 °C. The process labelled T6 means that the as-cast alloy was first solution annealed at 520 °C for

**Tabela 1.** Sestava zlitine AlSi9Cu3, ugotovljena z EDS in meje sestave v skladu s standardom EN AC 46000.

**Table 1.** Actual composition of alloy AlSi9Cu3 determined by EDS and composition limits according to EN AC 46000.

|             | Al   | Si         | Cu        | Zn      | Fe      | Mn       | Mg          |
|-------------|------|------------|-----------|---------|---------|----------|-------------|
| EN AC 46000 | ost. | 8,0 - 11,0 | 2,0 - 4,0 | max 1,2 | max 1,3 | max 0,55 | 0,05 - 0,55 |
| EDS         | ost. | 11,3       | 2,4       | 1,0     | 0,7     | 0,3      | 0,2         |

mikroskopom ZISS Axio Imager.A1m z Axiocam 208 Colour, medtem ko smo preiskave z vrstično elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo izvedli s Thermo Fisher Scientific Quanta 650 ESEM, opremljenim z Oxford Instruments Ultim Max SDD 40 mm<sup>2</sup> EDS pri 20 kV. Mikrotrdoto vzorcev po Vickersu smo izmerili pri 10 g in 15 s z uporabo Kason HTMV-1000AD. Meritve so bile izvedene v največjih opazovanih območjih primarnega  $\alpha_{Al}$ .



**Slika 1.** Bakrena kokila, uporabljena v procesu ulivanja.

**Figure 1.** Copper mould used in a casting process.

### 3 Rezultati in diskusija

Slika 2 prikazuje posnetke LM (svetlobna mikroskopija) mikrostrukture zlitine v litem stanju brez dodanega modifikatorja, posnete v osrednjem območju prereza ulitkov. Mikrostruktura razkriva velike dendrite primarnega  $\alpha_{Al}$ , obdane večinoma

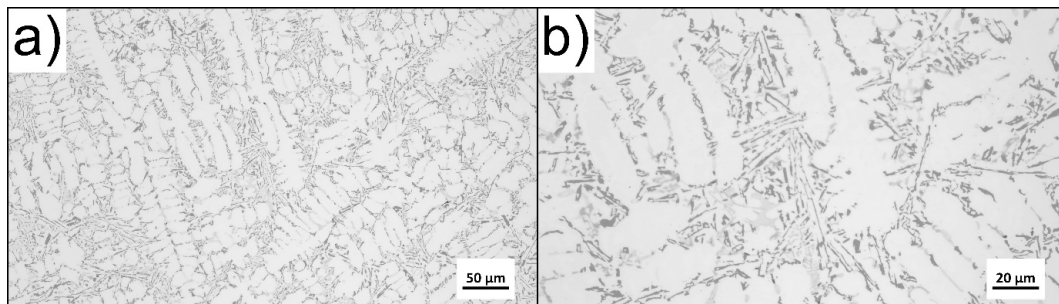
4 hours, then quenched in water and then aged at 180 °C for 4 hours.

The samples for the microscopic analyses were ground and polished with colloidal SiO<sub>2</sub> suspension. The microstructure of the alloy samples was examined by light microscopy using the ZISS Axio Imager.A1m with Axiocam 208 Colour, while scanning electron microscopy and microanalysis was performed using the Thermo Fisher Scientific Quanta 650 ESEM equipped with an Oxford Instruments Ultim Max SDD 40 mm<sup>2</sup> EDS at 20 kV. The Vickers microhardness of the samples was measured at 10 gf for 15 s using the Kason HTMV-1000AD. Measurements were performed in the largest observable areas of primary  $\alpha_{Al}$ .

### 3 Results and Discussion

Figure 2 represents LM (light microscopy) images of the as-cast microstructure of the alloy without any added modifier captured in the central region of the castings cross section. Microstructure reveals large dendrites of primary  $\alpha_{Al}$  surrounded mostly by binary eutectic ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ). The  $\beta_{Si}$  phase has a form of large lamella which indicates that the eutectic in the as cast alloy is not modified.

LM images of the microstructure of the alloy AlSi9Cu3 after the heat treatment T5 (only artificial aging) is presented in Figure 3 a) and b). LM images reveal similar microstructure as the one in the as-cast state presented in Figure 2. In contrast to this, the microstructure of the alloy AlSi9Cu3 with the addition of 0.012 wt. % of Sr after the heat treatment T5, which is presented in Figure 3 c) and d), shows fine modified heterogeneous structure of eutectic ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ) with absence of lamellar  $\beta_{Si}$ .



**Slika 2.** LM posnetka a), b) aluminijeve zlitine AlSi9Cu3 v litem stanju.

**Figure 2.** LM images a), b) of as cast aluminium alloy AlSi9Cu3.

z binarnim evtektikom ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ). Faza  $\beta_{Si}$  ima obliko velikih lamel, kar kaže na to, da evtektik v zlitini v litem stanju ni modificiran.

LM posnetek mikrostrukture zlitine AlSi9Cu3 po toplotni obdelavi T5 (samo umetno staranje) je predstavljen na sliki 3 c) in d). Posnetki prikazujejo podobno mikrostrukturo kot je tista v litem stanju, predstavljena na sliki 2. V nasprotju s tem je mikrostruktura zlitine AlSi9Cu3 z dodatkom 0,012 mas. % Sr po toplotni obdelavi T5, ki je predstavljen na sliki 2 c) in d), kaže droben modificiran heterogeni zlog evtektika ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ) brez velikih lamel  $\beta_{Si}$ .

Mikrostruktura zlitine AlSi9Cu3 po toplotni obdelavi T6 (toplotna obdelava, gašenje in umetno staranje) je predstavljena na sliki 3 e) in f) in kaže, da se je predhodno lamelni  $\beta_{Si}$  pretvoril v skoraj sferično obliko. Dokaj podobno mikrostrukturo kaže tudi zlitina AlSi9Cu3 z dodatkom 0,012 mas. % Sr po toplotni obdelavi T6, ki je predstavljena na sliki 3 g) in h) in razkriva sferično oblikovane kristale  $\beta_{Si}$ .

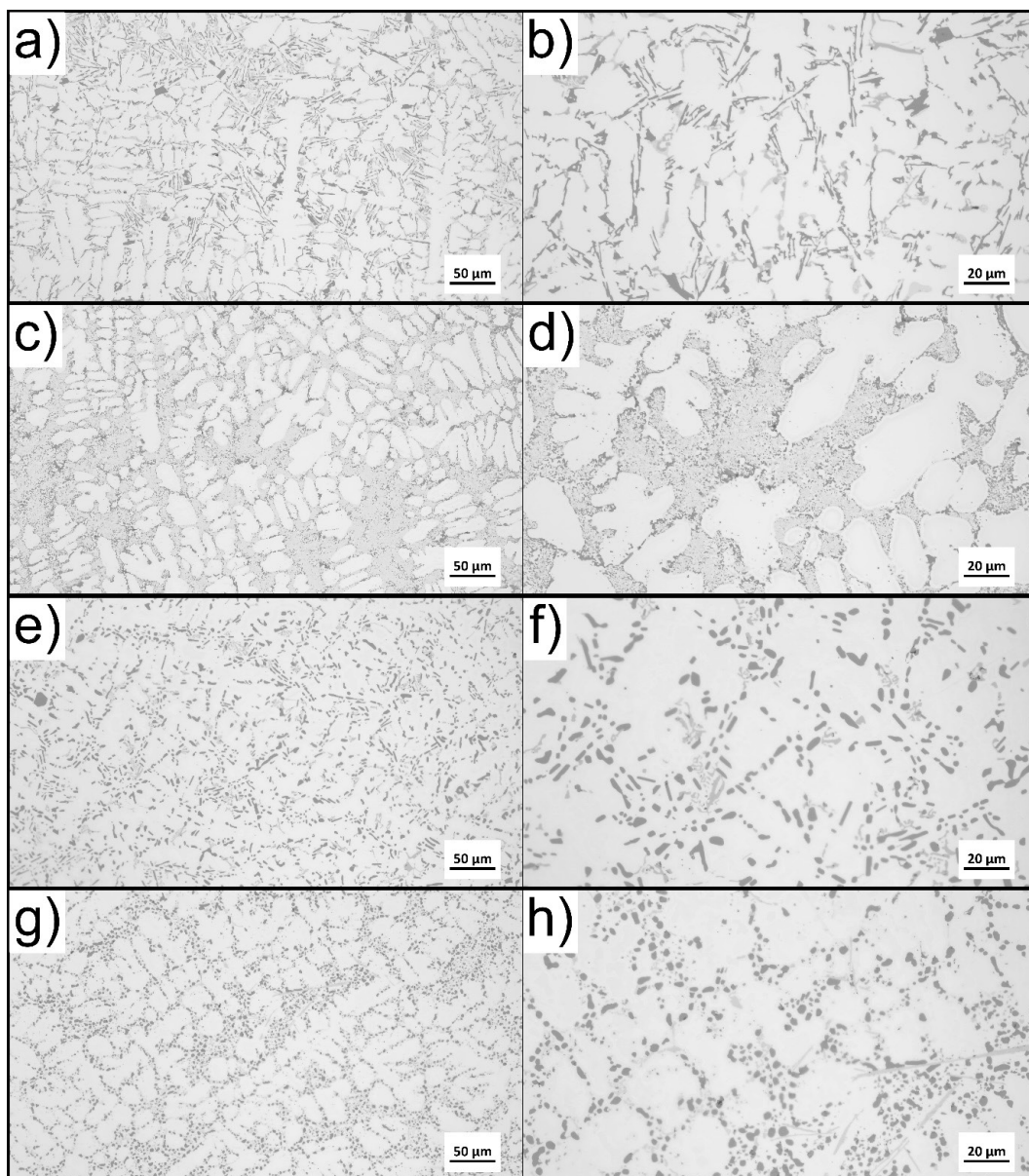
V nasprotju s toplotno obdelavo T5 toplotna obdelava T6 vključuje štirurno raztopno žarjenje pri 520 °C. Pri teh temperaturah je difuzija dovolj hitra, da lahko poteka proces sferoidizacije. Zato primerjava s Sr modificirane in nemodificirane zlitine AlSi9Cu3 po toplotni

Microstructure of the alloy AlSi9Cu3 after the heat treatment T6 (solution heat treatment, quenching and artificial aging) is presented in Figure 3 e) and f) and shows that previously lamellar  $\beta_{Si}$  converted into an almost spherical shape. Rather similar microstructure also shows the alloy AlSi9Cu3 with the addition of 0.012 wt. % of Sr after the heat treatment T6 which is presented in Figure 3 g) and h) and reveals spherically shaped crystals of  $\beta_{Si}$ .

In contrast to heat treatment T5, heat treatment T6 includes solution heat treatment at 520 °C for four hours. At these temperatures the diffusion is fast enough to enable the spheroidization process to take place. Therefore, comparison of Sr modified and unmodified alloy AlSi9Cu3 after the T6 heat treatment indicates almost negligible differences in morphology of eutectic  $\beta_{Si}$ . This means that modification process in castings which will be after the casting heat treated by solution heat treatment at moderate durations and high temperatures is not so crucial.

Heat treatment processes also affect the mechanical properties of this alloy among which the hardness is most indicative. Vickers microhardness HV0.01 was measured in the regions of the primary  $\alpha_{Al}$  and the results are presented in Table 2.





**Slika 3.** LM posnetki mikrostrukture zlitine AlSi9Cu3 po toplotni obdelavi T5 a), b), z dodatkom Sr po toplotni obdelavi T5 c), d), po toplotni obdelavi T6 e), f) in z dodatkom Sr po toplotni obdelavi T6 g), h).

**Figure 3.** LM images of the microstructure of the AlSi9Cu3 alloy after T5 a), b), with the addition of Sr after T5 c), d), after T6 e), f) and with the addition of Sr after T6 g), h).



obdelavi T6 kaže skoraj zanemarljive razlike v morfologiji evtektičnega  $\beta_{Si}$ . To pomeni, da modifikacijski proces pri ulitkih, ki bodo po ulivanju toplotno obdelani z ustrezno dolgim raztopnim žarjenjem, ni tako ključen.

Postopki toplotne obdelave vplivajo tudi na mehanske lastnosti te zlitine, med katerimi je najbolj indikativna trdota. Mikrotrdota po Vickersu HV0.01 je bila izmerjena v območjih primarnega  $\alpha_{Al}$ , rezultati pa so predstavljeni v tabeli 2. Najnižja mikrotrdota je bila ugotovljena pri vzorcih v litem stanju in vzorcih po toplotni obdelavi T5, medtem ko ima modificirana zlitina Sr-T5 znatno višjo trdoto. Še višja mikrotrdota je bila ugotovljena pri nemodificiranih vzorcih T6 in modificiranem Sr-T6.

Baker je v tej zlitini pomemben zlitinski element, ki bistveno vpliva na mehanske lastnosti. Zato smo izmerili tudi sestavo območij primarne faze  $\alpha_{Al}$ . Ti rezultati so predstavljeni tudi v tabeli 2. Rezultati kažejo, da sta vsebnosti bakra in cinka višje v primeru vzorcev T6 in Sr-T6 v primerjavi z vsemi ostalimi.

Višja koncentracija bakra je posledica raztopnega žarjenja pri 520 °C, ki omogoča, da se vsa faza  $Al_2Cu$ , ki je prisotna v zlitini po strjevanju, raztopi v trdni raztopini. To je prikazano na sliki 4, ki prikazuje

Lowest microhardness was found to be in as-cast and T5 samples while modified alloy Sr-T5 reveals significantly higher hardness. Even higher microhardness' were found in unmodified T6 and modified Sr-T6 samples.

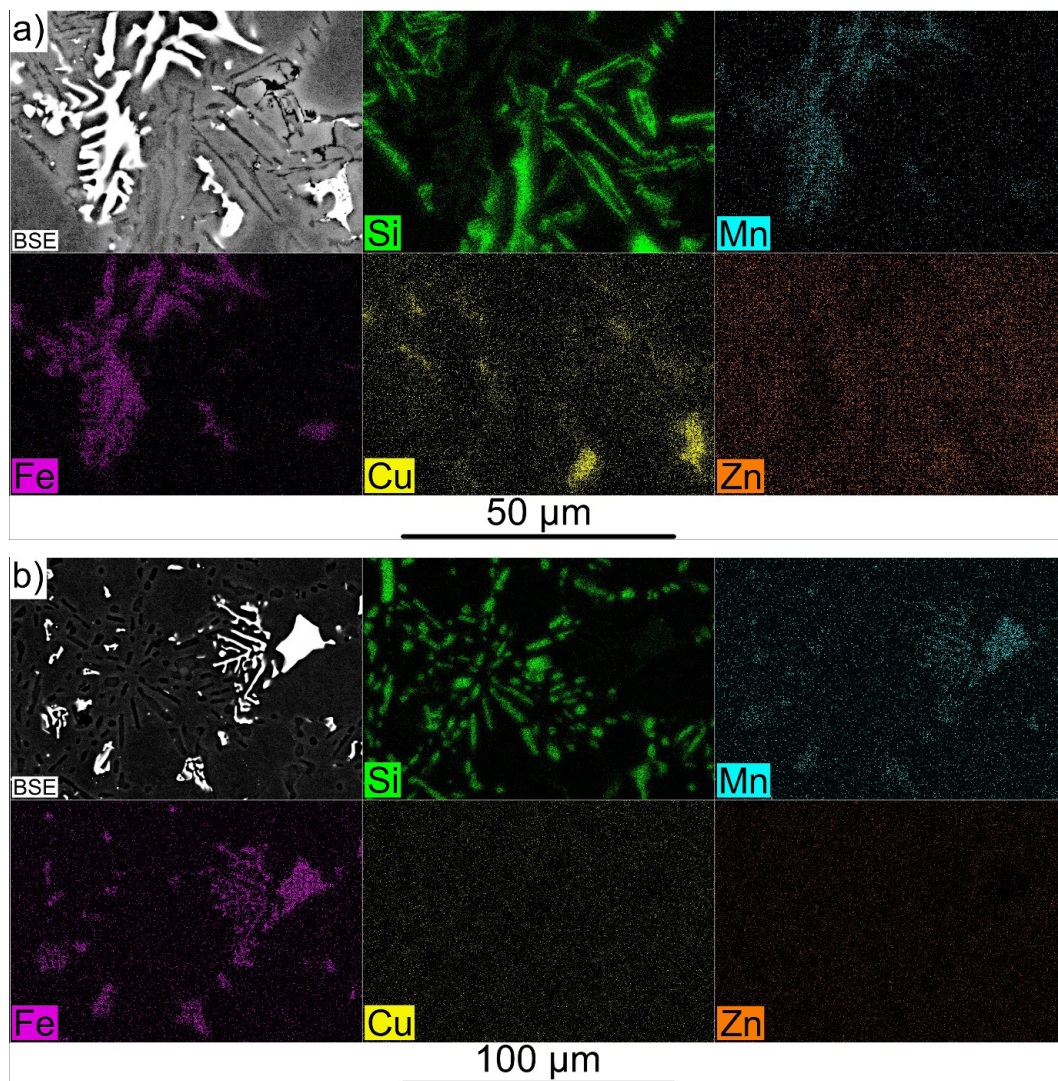
Copper is an important alloying element in this alloy which significantly affects the mechanical properties of this alloy. Therefore, we also measured the composition of the regions of primary  $\alpha_{Al}$  phase. These results are also presented in Table 2. Results indicates that the content of copper and zinc are higher in the case of the T6 and Sr-T6 samples compared to all other.

Higer concentration of copper is a consequence of solution heat treatment at 520 °C which enables that all the copper containing phase  $Al_2Cu$  which is present in the alloy after the solidification is dissolved in solid solution. This is presented in Figure 4 which shows EDS mappings where we can still observe the  $Al_2Cu$  phase in sample T5 – Figure 4a, while on the other hand, no  $Al_2Cu$  phase is observed in the sample T6 presented in Figure 4b. During aging this soluble copper enables the formation precipitates which leads to a higher microhardness of these samples. In addition to this the content of zinc was

**Tabela 2.** Mikrotrdota po Vickersu in kemijska sestava v območjih primarne faze  $\alpha_{Al}$  v mas. %, določena z mikroanalizo EDS pri 20 kV za aluminijevo zlitino AlSi9Cu3 v nemodificiranem litem stanju ter nemodificiranem in modificiranem (Sr) stanju po toplotni obdelavi T5 in T6.

**Table 2.** Vickers microhardness and chemical composition in wt. % of the regions of primary  $\alpha_{Al}$  phase determined by EDS microanalysis at 20 kV for an aluminium alloy AlSi9Cu3 in unmodified as-cast state and unmodified and modified (Sr) state after the T5 and T6 heat treatment.

|                | HV0.01 | Al   | Si  | Cu  | Zn  |
|----------------|--------|------|-----|-----|-----|
| Lito / As cast | 77     | 96,8 | 1,4 | 0,7 | 1,0 |
| T5             | 76     | 96,5 | 1,5 | 0,9 | 1,1 |
| Sr-T5          | 86     | 96,7 | 1,6 | 0,7 | 1,0 |
| T6             | 94     | 95,1 | 0,9 | 2,5 | 1,5 |
| Sr-T6          | 98     | 95,1 | 1,0 | 2,6 | 1,4 |



**Slika 4.** Posnetki povratno sipanih elektronov (BSE) in porazdelitve Si, Mn, Fe, Cu in Zn v vzorcu T5 a) in vzorcu T6 b) na osnovi EDS.

**Figure 4.** Backscattered electron images (BSE) and EDS mappings of Si, Mn, Fe, Cu and Zn in sample T5 a) and sample T6 b).

porazdelitev zlitinskih elementov na osnovi EDS, kjer lahko še vedno opazimo fazo  $\text{Al}_2\text{Cu}$  v vzorcu T5 (Slika 4a), medtem ko v vzorcu T6 faza  $\text{Al}_2\text{Cu}$  ni več prisotna (Slika 4b). Med staranjem se baker raztopljen v trdni raztopini izloča, kar vodi do večje

also found to be higher in the samples T6 and Sr-T6. We presume that this fact is simply the consequence of the solution heat treatment performed in these two samples. It is well known that during nonequilibrium solidification zinc segregates to the last

mikrotrdote teh vzorcev. Poleg tega je bila ugotovljena tudi večja vsebnost cinka v vzorcih T6 in Sr-T6. Predvidevamo, da je to posledica raztopnega žarjenja, ki je potekalo pri teh dveh vzorcih. Znano je, da je zaradi neravnotežnega strjevanja koncentracija cinka zaradi porazdelitvenega koeficienta v zadnjih strjenih delih primarne faze največja. Med toplotno obdelavo se razlike v koncentraciji cinka izenačijo, kar pomeni, da se na robovih dendritov koncentracija cinka zmanjša, medtem ko se v osrednjih predelih, kjer smo pretežno izvajali analize, koncentracija poveča. Sicer pa menimo, da cink ne prispeva bistveno k povečanju mikrotrdote.

Rezultati v tabeli 2 prav tako kažejo, da dodatek stroncija v zlitino AlSi9Cu3 vpliva na mikrotrdote pri obeh postopkih toplotne obdelave T5 in T6. Trdota je očitno višja v primerih dodanega stroncija. Ena od razlag za to povečanje je morebitna topnost stroncija v trdni raztopini aluminija. Glede na reference [9,10] ima stroncij najverjetneje zelo majhno topnost v trdni raztopini aluminija. Poleg tega tudi teoretična razlaga mehanizma modifikacije predvideva omejeno topnost v trdni raztopini aluminija [11]. Tudi ta zelo majhna topnost bi lahko povečala trdoto, saj je stroncij z atomskim polmerom 0,2151 nm veliko večji od aluminija, ki ima polmer 0,1432 nm [12].

#### 4 Zaključki

Raziskovali smo vpliv modifikacije in postopkov toplotne obdelave na mikrostrukturo in mikrotrdoto zlitine AlSi9Cu3.

Rezultati kažejo, da ima mikrostruktura lite in toplotno obdelane zlitine T5 velike dendrite primarnega  $\alpha_{Al}$ , večinoma obdane z binarnim eutektikom ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ) in fazo  $\beta_{Si}$  v obliki velikih lamel. Mikrostruktura zlitine AlSi9Cu3 z dodatkom Sr po toplotni

solidified parts of the primary phase due to its partitioning coefficient. During solution heat treatment segregation gets equalized which means that in the edges of dendrites the concentration of zinc decreases while in the central regions, where we predominately performed analysis, concentration increases. However, our opinion is that zinc does not significantly contribute to the increase of microhardness.

Results in Table 2 also indicates that the addition of strontium into an alloy AlSi9Cu3 affects the microhardness results in both T5 and T6 heat treatment processes. Hardness is apparently higher in the cases of added strontium. One explanation for this increase is possible solubility of strontium in solid solution of aluminium. According to references [9,10] strontium has most probably very small solubility in solid solution of aluminium. In addition, theoretical clarification of the mechanism of modification also predicts a limited solubility of strontium in solid solution of aluminium [11]. Even this very small solubility could increase the hardness since strontium with atomic radii of 0.2151 nm is much larger compared to aluminium with 0.1432 nm [12].

#### 4 Conclusions

The influence of the modification and the heat treatment process on the microstructure and microhardness of the AlSi9Cu3 alloy was investigated.

The results show that the microstructure of the as-cast and T5 heat treated alloy has large dendrites of primary  $\alpha_{Al}$ , mostly surrounded by binary eutectic ( $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$ ), with the  $\beta_{Si}$  phase in the form of large lamellae. The microstructure of the AlSi9Cu3 alloy with Sr addition after heat treatment T5 shows a fine modified eutectic without lamellar



obdelavi T5 kaže droben modificiran eutektik brez velikih lamel  $\beta_{\text{Si}}$ . Mikrostruktura nemodificirane in Sr-modificirane zlitine AlSi9Cu3 po toplotno obdelavi T6 kaže podobno mikrostrukturo s silicijem v obliki večjih sferičnih delcev. Mikrotrdota osnove  $\alpha_{\text{Al}}$  v nemodificirani zlitini se po toplotni obdelavi T5 ne poveča v primerjavi z litim stanjem. Vendar pa ima zlitina, modificirana s Sr, bistveno večjo mikrotrdoto matrice  $\alpha_{\text{Al}}$  po T5 kot nemodificirana zlitina po T5. Še višje trdote so bile ugotovljene pri nemodificiranih in modificiranih toplotno obdelanih zlitinah T6 in so posledica višje vsebnosti bakra, ki smo jo zaznali z mikroanalizo EDS. Višja mikrotrdota, opažena pri modificiranih zlitinah s Sr pri istem postopku toplotne obdelave, je najverjetnejše posledica zelo nizke topnosti Sr v  $\alpha_{\text{Al}}$ .

$\beta_{\text{Si}}$ . The microstructure of the unmodified and Sr-modified AlSi9Cu3 alloy after T6 shows a similar microstructure with silicon in the form of larger spherical particles. The microhardness of the  $\alpha_{\text{Al}}$  matrix in the unmodified alloy does not increase after the T5 heat treatment compared to the as-cast state. However, the alloy modified with Sr has a significantly higher microhardness of the  $\alpha_{\text{Al}}$  matrix after T5 than the unmodified alloy after T5. Even higher hardnesses were found in unmodified and modified heat-treated T6 alloys and are the result of a higher copper content, which was detected by EDS microanalysis. The higher microhardness observed in Sr-modified alloys in the same heat treatment process could be due to a very low solubility of Sr in  $\alpha_{\text{Al}}$ .

## Viri / References

- [1] Cui, L., Liu, K. and Chen, X.-G. Recent advances in cost-effective aluminum alloys with enhanced mechanical performance for high-temperature applications: A review. *Materials & Design*, 2025, vol. 253, p. 113869.
- [2] Rossi, F., De Bernardi, C., Frey, M. and Niero, M. From past critiques to present challenges: A review of LCA approaches and results in the aluminum industry. *Waste Management*, 2025, vol. 204, p. 114900.
- [3] Candela, A., Sandrini, G., Gadola, M., Chindamo, D. and Magri, P. Lightweighting in the automotive industry as a measure for energy efficiency: Review of the main materials and methods. *Heliyon*, 2024, vol. 10, no. 8, p. e29728.
- [4] Hirsch, J. Recent development in aluminium for automotive applications. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2014, vol. 24, no. 7, pp. 1995–2002.
- [5] Feyer, F., Weigand, M., Randelzhofer, P. and Körner, C. Increasing the conductivity of aluminium high-pressure die casting alloy AlSi9Cu3Fe (226D) by Sr modification of eutectic and intermetallic phases. *Materials Science and Engineering: B*, 2025, vol. 316, p. 118109.
- [6] Panušková, M., Tillová, E. and Chalupová, M. Relation between mechanical properties and microstructure of cast aluminum alloy AlSi9Cu3. *Strength of Materials*, 2008, vol. 40, no. 1, pp. 98–101.
- [7] Ceschini, L., Boromei, I., Morri, A., Seifeddine, S. and Svensson, I.L. Microstructure, tensile and fatigue properties of the Al–10%Si–2%Cu alloy with different Fe and Mn

- content cast under controlled conditions. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, vol. 209, nos. 15–16, pp. 5669–79.
- [8] ASM International. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. Materials Park, Ohio : ASM International, 1990.
- [9] ASM International. *Binary Alloy Phase Diagrams*. Materials Park, Ohio : ASM International, 1991, 3589 p.
- [10] *Aluminum Alloys - Structure and Properties*. Editor L.F. Mondolfo. London : Butterworth-Heinemann, 1976, 971 p.
- [11] Zhang, L., Ji, Z., Zhao, J., He, J. and Jiang, H. Factors affecting eutectic Si modification in Al-Si hypoeutectic alloy with the addition of Na, Sr, Eu and Yb. *Materials Letters*, 2022, vol. 308, p. 131206.
- [12] Tilley, R.J.D. *Understanding Solids: The Science of Materials*. West Sussex : John Wiley & Sons Ltd, 2013, 592 p.



## AKTUALNO / CURRENT

## Poročilo z 65. IFC Portorož 2025 – 2. del

V tem prispevku predstavljamo v nadaljevanju celoten program predavanj, ki je bil predstavljen na 65. IFC Portorož 2025 in sicer v rednem programu s skupino 10 plenarnih predavanj in skupinami v sekcijah: železove litine, livarske tehnike in tehnologije, neželezove zlitine, magistrski in doktorski študentje ter posterske predstavitve.

## PLENARY LECTURES / PLENARNA PREDAVANJA

J. J. GONZÁLEZ, The World Foundry Organization WFO (UK): **Current situation and cooperative challenges for foundry** / Trenutno stanje in kooperativni izzivi za livarstvo

M. SCHUMACHER, S. TEWES, German Foundry Association, BDG (D): **Roadmap to greenhouse gas neutrality for the german foundry industry – four decarbonisation pathways by 2045** / Načrt za nevtralizacijo toplogrednih plinov za nemško livarsko industrijo – štiri poti do razogljičenja do leta 2045

P. MRVAR<sup>1</sup>, M. PETRIČ<sup>1</sup>, H. PALKOWSKI<sup>2</sup>, S. KASTELIC<sup>3</sup>, A. CARRADÓ<sup>4</sup>, <sup>1</sup>Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana (SI), <sup>2</sup>Institute of Metallurgy, Clausthal University of Technology, Clausthal-Zellerfeld, (DE), <sup>3</sup>TC Livarstvo d.o.o. (SI), <sup>4</sup>Institut de Physique et de Chimie des Matériaux de Strasbourg, CNRS UMR, (F): **Gravity, centrifugal and HPDC casting of composed as-cast foam from biodegradable ZnMg<sub>1,5</sub> alloy** / Gravitacijsko, centrifugalno in tlačno litje sestavljenih litih biorazgradljivih kovinskih pen iz zlitine ZnMg<sub>1,5</sub>

R. DEIKE<sup>1</sup>, I. ADHIWIGUNA<sup>2</sup>, L. ZACHARROPOULS<sup>1</sup>; J. GELDRMANN<sup>1</sup>, R. WARNECKE<sup>3</sup>, <sup>1</sup>University Duisburg-Essen (D), <sup>2</sup>Pt. Zenith Allmart Precisingo, (ID), <sup>3</sup>GKS Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH (D): **The incinerator bottom ash (iba) is a future sustainable source for ferrous, non-ferrous, and precious metals used in the**



José Javier González, World Foundry Organisation (UK) - plenarni predavatelj



Max Schumacher in dr. Sebastian Tewes, Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie e.V.(BDG) (D) - plenarna predavatelja



prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani (SI) – plenarni predavatelj in predsedujoči sekcije



Ruediger Deike, Universität Duisburg-Essen (D) - plenarni predavatelj in predsedujoči sekcije



prof. Jianxin Zhou, Huazhong University of Science and Technology (PRC) - plenarni predavatelj



dr. Peter Hofer-Hauser, Montanuniversität Leoben (AT) - plenarni predavatelj



prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani (SI) - plenarni predavatelj in predsedujoči sekcije

**metallurgical industry** / Pepel iz sežigalnic je trajnostni vir za železove, neželezne in plemenite kovine, ki se uporabljajo v metalurški industriji

J.X. ZHOU, X.W. QIAN, X.Y. JI, Y.J. YIN, W. LI, X. SHEN, Y.C. LI, State Key Lab of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology (PRC): **„1+N“ digital foundry innovation platform and its applications** / „1+N“ Inovativna platforma digitalne livarne in njene aplikacije

P. HOFER-HAUSER<sup>1</sup>, M. PAMMER<sup>1</sup>, T.L.S. STOISSER<sup>2</sup>, F. RÖPER<sup>3</sup>, R. GSCHWANDTNER<sup>3</sup>, <sup>1</sup>Technical University of Leoben (AT), <sup>2</sup>SHW AG (D), <sup>3</sup>Austrian Foundry Research Institute (AT): **Rheocasting as a key technology for circular economy in the aluminium foundry** / Rheocastnig kot ključna tehnologija krožne ekonomije v livarnah aluminija

J. MEDVED<sup>1</sup>, M. VONČINA<sup>1</sup>, T. BALAŠKO<sup>1</sup>, J. BURJA<sup>2</sup>, K. GRABNAR<sup>3</sup>, <sup>1</sup> University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department for Materials and Metallurgy (SI), <sup>2</sup> Institute of Metals and Technology (SI), <sup>3</sup> Metal Tech Solutions d.o.o. (SI): **Wear resistance of hot-work tool steel with high thermal conductivity in molten aluminium** / Obrabna obstojnost orodnega jekla za delo v vročem z visoko toplotno prevodnostjo v talini aluminija



Matthias Gamisch, Fill Gesellschaft m.b.H. (AT) - plenarni predavatelj



Fabian Hofstätter, SAG New Technologies GmbH (AT) - plenarni predavatelj



Bogomil Kandus, Savena d.o.o. (SI) - plenarni predavatelj

M. GAMISCH, Fill Gesellschaft m.b.H. (AT): **Challenges in the machining of large castings** / Izzivi pri mehanski obdelavi velikih ulitkov

B. KANDUS, M. ŠIFRER, T. VOLGEMUT, SAVENA d. o. o. (SI): **Added value of energy management systems** / Dodana vrednost sistemov upravljanja z energijo

## LECTURES / PREDAVANJA

CH. KNEISSL<sup>1</sup>, W. FUNK<sup>1</sup>, DR. E. KASCHNITZ<sup>1</sup>, DR. T. PABEL<sup>1</sup>, HEINZ HOLZER<sup>1</sup>, H. SCHROETTNER<sup>2,3</sup>, H. HAIDER<sup>4</sup>, <sup>1</sup>Austrian Foundry Research Institute (AT), <sup>2</sup>Institute of Electron Microscopy and Nanoanalysis (AT), <sup>3</sup>Graz Centre for Electron Microscopy (AT), <sup>4</sup>OFI Technologie & Innovation GmbH (AT): **3D-MeKuH - optimisation of additive manufacturing characterisation of anisotropy in 3D printed materials** / 3D-MeKuH – Optimizacija aditivne proizvodnje s karakterizacijo anizotropnost v 3D natisnjenih materialih

Y. YANG, X. DUAN, Hunan Central South Intelligent Equipment Co., Ltd (PRC): **A hybridization of embodied artificial intelligence and digital twin for casting** / Hibridizacija utelešene umetne inteligence in digitalnega dvojčka za litje

A. TEKAVČIČ, J. POKLIČ, J. VRANC, Kovis Livarna d.o.o. (SI): **Development of the foundry sand recycling process in the manufacturing process of components for the railway industry** / Razvoj procesa reciklaže livarskega peska v procesu izdelave komponent za železniško industrijo

C. MUELLER, Laempe Mössner Sinto GmbH (D): **Advantages of casting production with additively manufactured sand cores / molds** / Prednosti proizvodnje ulitkov s peščenimi jedri / formami izdelanimi z aditivno tehnologijo

T. HOF, A. KIRCHNER, HEINRICH WAGNER SINTO MASCHINENFABRIK GmbH (D): **Increasing the efficiency of sand foundries** / Povečanje učinkovitosti livarn, ki uporabljajo peščene mešanice

E. KOPPENSTEINER, T. PETKOV, Austrian Foundry Research Institute (AT): **Reproduction of industrial melting processes on a laboratory scale for process optimization** / Reprodukcijski industrijskih talilnih procesov v laboratorijskem merilu za optimizacijo procesov



prof. dr. Mitja Petrič, Univerza v Ljubljani (SI) - predavatelj in predsedujoči sekcije



dr. Christian Kneissl, ÖGI-Österreichisches Gießerei-Institut (AT) - predavatelj



dr. Jiehua Li, Montanuniversität Leoben (AT) - predavatelj



prof. Yang Yang, Hunan Zhongnan Intelligent Equipment Co., Ltd. (PRC) - predavatelj



dr. Vladimir Krutiš, Brno University of Technology (CZ) - predavatelj



prof. Yuzeng Chen, North-western Polytechnical University (PRC) - predavatelj



Anže Tekavčič, KOVIS LIVARNA d.o.o. (SI) - predavatelj



Carsten Müller, Laempe Mössner Sinto GmbH (D) - predavatelj

B. DAMJANOVIČ, A. VELIČEVIČ, Kremen d.o.o. (SI): **Exploitation and economic viability of underutilized resources of quartz sand in european quarries** / Izkoriščanje in ekonomska upravičenost premalo izkoriščenih virov kremenčevega peska v evropskih kamnolomih

A. ŠUC<sup>1</sup>, U. KLANČNIK<sup>1</sup>, B. KOŠEC<sup>1</sup>, M. AIGNER<sup>2</sup>, M. DROBNE<sup>1</sup>, <sup>1</sup> Valji d.o.o. (SI), <sup>2</sup> Eisenwerk Sulzau-Werfen (AT): **Development of a pinch roll with a working layer made of high alloyed cast iron** / Razvoj stiskalnega valja z delovno plastjo iz visoko legiranega litega železa

M. SLOVÁČEK, J. KUBÍČEK, Brno, University of technology (CZ): **Casting repairs by welding** / Popravila ulitkov z varjenjem

J. PROCHAZKA, J. BENO, SAND TEAM, SPOL. S R.O. (CZ): **Practical experiences with inorganic no bake mixtures in iron foundry** / Praktične izkušnje z anorganskimi No-bake mešanici v livarni železa

M. PETRIČ<sup>1</sup>, S. KASTELIC<sup>1</sup>, L. KOŠMERL<sup>1</sup>, B. ŽUŽEK<sup>2</sup>, J. BRCE<sup>1</sup>, P. MRVAR<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana (SI), <sup>2</sup>Inštitut za materiale



dr. Jože Arbeiter, LTH Castings d.o.o. (SI) - predavatelj in predsedujoči sekcije



Tobias Hof, Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH (D) - predavatelj



prof. dr. Rebeka Rudolf, Univerza v Mariboru (SI) - predavateljica in predsedujoča sekcije



Eduard Koppensteiner, ÖGI - Österreichisches Gießerei-Institut (AT) - predavatelj



in tehnologije (SI): **Dimensional and mechanical properties of ceramic shells for investment casting** / Dimenzijske in mehanske lastnosti keramičnih školjk za precizijsko litje

J. LI, Montanuniversität Leoben (AT): **Recycling Al-based powders for re-additive manufacturing** / Recikliranje praškov na osnovi Al za ponovno aditivno proizvodnjo

V. KRUTIŠ, R. ŠTĚPÁN, R. JELÍNEK, A. ZÁDĚRA, Brno University of Technology (CZ): **Analysis of parameters affecting fluidity for Al thin-walled castings in the investment casting technology** / Analiza parametrov, ki vplivajo na livnost Al tankostenskih ulitkov pri precizijskem litju

Y.Z. CHEN<sup>1,2</sup>, F. LIN<sup>1</sup>, C. LI<sup>1,2</sup>, J. WAN<sup>1</sup>, J.Y. WANG<sup>2</sup>, Z.Q. LIU<sup>2</sup>, Y.Y. WANG<sup>2</sup>, <sup>1</sup>State Key Lab of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University (PRC), <sup>2</sup>Suzhou Yunjing Metal Technology Co., Ltd. (PRC): **Hot work steels for additive manufacture and additive manufacturing of high pressure die casting die inserts** / Jekla za delo v vročem za aditivno proizvodnjo in aditivno proizvodnjo vložkov za tlačno litje

J. ARBEITER, N. NEMEC, A. DEZHURNOV, B. TOLAR, LTH Castings d.o.o. (SI): **Influential factors on the mechanical properties of aluminum high-pressure die castings** / Vplivni faktorji na mehanske lastnosti aluminijevih tlačnih ulitkov

R. RUDOLF<sup>1,2</sup>, P. MAJERIČ<sup>1,2</sup>, V. LAZIČ<sup>3</sup>, <sup>1</sup>University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, (SI), <sup>2</sup>Zlatarna Celje d.o.o. (SI) <sup>3</sup>Clinic for Prosthodontics, School of Dental Medicine, University of Belgrade (SRB): **State of the art and development of gold dental alloys** / Stanje tehnike in razvoj zlatih dentalnih zlitin

H. Z. FANG, X. K. YANG, L. Y. ZHOU, K. X. LI, J. S. LIANG, School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology (PRC): **Lamellar orientation control and mechanical property optimization of TiAl alloy** / Nadzor orientacije lamel in optimizacija mehanskih lastnosti zlitine TiAl

U. KOVAČEC<sup>1</sup>, F. ZUPANIČ<sup>2</sup>, T. BONČINA<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Impol d.o.o (SI), <sup>2</sup>University of Maribor (SI): **Melt refining of wrought aluminium alloys with increased fractions of external scrap** / Rafinacija talno preoblikovalnih aluminijevih zlitin s povečanim deležem po-potrošniških surovin



prof. Hongze Fang, Harbin Institute of Technology (PRC)  
- predavatelj



Uroš Kovačec, Impol d.o.o. (SI) - predavatelj



Bojan Damjanovič, Kremen d.o.o. (SI) - predavatelj



Anže Šuc, Valji d.o.o. (SI) - predavatelj





prof. dr. Zdenka Zovko-Brodarac, University of Zagreb (CRO) - predavateljica in predsedujoča sekcije



dr. Marek Slovák, Brno University of Technology (CZ) - predavatelj



Ashley Stone, MAXImolding! Technology GmbH (D) - predavatelj



Jan Procházka, SAND TEAM, SPOL. S.R.O. (CZ) - predavatelj

Z. ZOVKO BRODARAC<sup>1</sup>, F. KOZINA<sup>1</sup>, M. PAPEŠ<sup>2</sup>, S. LAZIĆ<sup>3</sup>, <sup>1</sup>University of Zagreb Faculty of Metallurgy, Sisak (CRO), <sup>2</sup>Ministry of Finance, Customs Administration, Customs Office Sisak (CRO), <sup>3</sup>CIAL d.o.o. Sisak (CRO): **Solidification modeling and corrosion behavior of recycled aluminium De-OX alloy** / Modeliranje strjevanja in korozijske lastnosti reciklirane aluminijeve zlitine De-OX

A. STONE, MAXImolding! Technology GmbH (D): **CCDC2.0: from chips to parts with MAXImolding reactor attachment to cold chamber die casting machine** / CCDC2.0: od granulata do izdelka z MAXImolding reaktorjem dodanim na hladno komorni tlačni stroj

R. CHEN, S. SUN, Y. LI, J. HAO, X. XUE, H. FANG, School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology (PRC): **Multiscale simulation design and preparation of ultra-high strength and toughness titanium alloy** / Večstopenjska simulacijska zasnova in priprava titanove zlitine ultra visoke trdnosti in žilavosti

G. GYARMATI, J. ERDÉLYI, University of Miskolc (HU): **Ductility improvement of Al-5Mg-2Fe alloy by melt treatment with a custom flux mixture** / Izboljšanje duktilnosti zlitine Al-5Mg-2Fe z obdelavo taline s posebno mešanico talila



prof. Ruirun Chen, Harbin Institute of Technology (PRC) - predavatelj



dr. Gábor Gyarmati, University of Miskolc (HU) - predavatelj



Matjaž Balant, Starkom d.o.o. (SI) - doktorant



Levente Hajas, University of Miskolc (HU) - doktorant

## MAGISTRSKI IN DOKTORSKI ŠTUDENTJE

M. BALANT<sup>1</sup>, R. RUDOLF<sup>2,3,4</sup>, T. VUHERER<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Starkom (SI), <sup>2</sup>University of Maribor (SI), <sup>3</sup>Zlatarna Celje (SI), <sup>4</sup>Pomurje Science and Innovation Centre (SI): **Characterization of Al-alloy EN AW-5454 intended for laser hybrid welding** / Karakterizacija Al-zlitine EN AW-5454 namenjene za lasersko hibridno varjenje

L. HAJAS, D. MOLNÁR, G. GYARMATI, University of Miskolc (HU): **Development of a Zr-containing grain refining flux and its effect on the properties of an AISi10Mg casting alloy** / Razvoj talila, ki vsebuje Zr za udobnjevanje in njegov vpliv na lastnosti livarske zlitine AISi10Mg

X.X. YANG, P. YU, X.Y. JI, W.H. ZHOU, M.J. HOU, X.M. TU, Y.J. YIN, J.X. ZHOU, National Key Laboratory of Materials Forming and Die Technology, Huazhong University of Science and Technology (PRC): **Defect prediction in titanium alloy casing castings via data-simulation integration** / Napovedovanje napak v ulitkih ohišij iz titanovih zlitin z integracijo simulacije podatkov

G. IUREVA<sup>1</sup>, J. PÖLZL<sup>1</sup>, T. HÖSELE<sup>1</sup>, M. PAMMER<sup>1</sup>, P. HOFER-HAUSER<sup>1</sup>, A. HAEMMERLE<sup>2</sup>, P. PROKOP<sup>2</sup>, J. LI<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Technical University of Leoben (AT), <sup>2</sup>Neuman Aluminium GmbH (AT): **Laboratory-scale direct chill casting of recycled 6082 aluminium alloy** / Laboratorijsko kontinuirno litje reciklirane aluminijeve zlitine 6082

L. KRESNIK<sup>1</sup>, P. MAJERIČ<sup>1,2</sup>, R. RUDOLF<sup>1,2,3</sup>, <sup>1</sup>Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor (SI), <sup>2</sup>Zlatarna Celje d.o.o. (SI), <sup>3</sup>Pomurje science and innovation centre (SI): **Study of high-frequency signal losses in printed circuits fabricated with gold nanoparticles** / Študija izgub visokofrekvenčnih signalov v tiskanih vezjih pripravljenih z nanodelci zlata.

V. NYESTE, D. MOLNÁR, V. MERTINGER, University of Miskolc (HU): **Effect of parameter changes for local squeezing and mechanical properties** / Vpliv sprememb parametrov na lokalno stiskanje in mehanske lastnosti



Xinxiang Yang, Huazhong University of Science and Technology (PRC) - doktorant



Galina Iureva, Montanuniversität Leoben (AT) - doktorantka



Lan Kresnik, University of Maribor (SI) - doktorant



Viktor Nyeste, University of Miskolc (HU) - doktorant

## POSTER PRESENTATIONS / POSTER PREDSTAVITVE

D. B. KARUNAKAR<sup>1</sup>, T. MATHEW<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Indian Institute of Technology Roorkee (IN), <sup>2</sup>COER University, Roorkee (IN): **Evaluation of 3D printed polymer patterns coated with nanofluids for the rapid investment casting process** / Analiza 3D-natisnjenih polimernih vzorcev, prevlečenih z nanotekočinami, za precizijsko litje

Y.X. WANG<sup>1,2</sup>, Y.C. LI<sup>3</sup>, Z.F. HE<sup>4</sup>, P.W. WAN<sup>5</sup>, J.X. ZHOU<sup>3</sup>, <sup>1</sup>China Academy of Machinery Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd. (PRC), <sup>2</sup>Foundry Institution of China Mechanical Engineering Society (PRC), <sup>3</sup>State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science & Technology (PRC), <sup>4</sup>Clariant Chemical Technology (Shanghai) Co., Ltd. (PRC), <sup>5</sup>School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology (PRC): **Overview of research and application technology of molding materials presented at the 75th World Foundry Congress** / Pregled raziskav in tehnologij formarskih materialov, predstavljenih na 75. svetovnem livarskem kongresu

R. DAŃKO<sup>1</sup>, A. KMITA<sup>2</sup>, P. MALINOWSKI<sup>1</sup>, A. MALINOWSKA<sup>1</sup>, <sup>1</sup>AGH University of Krakow, Faculty of Foundry Engineering (PL), <sup>2</sup>AGH University of Krakow, Academic Centre for Materials and Nanotechnology (PL): **Reducing foundry emissions through innovative molding technologies: Green Casting LIFE project findings** / Zmanjševanje emisij v livarnah z inovativnimi tehnologijami litja: ugotovitve projekta Green Casting LIFE

B. SARAC<sup>1</sup>, E. SHARIFIKOLOUEI<sup>2</sup>, Y. ZHENG<sup>3</sup>, P. HOFER-HAUSER<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Institute of Casting Research, Montanuniversität Leoben (AT), <sup>2</sup>Center for Translational Research on Autoimmune and Allergic Diseases - CAAD, Department of Health Sciences, Università del Piemonte Orientale UPO (IT), <sup>3</sup>Key Laboratory of Polar Materials and Devices, Department of Electronics, East China Normal University (PRC): **Amorphous and nanocrystalline stainless steel microfibers: enhanced mechanical properties and corrosion resistance for advanced applications** / Amorfn in nanokristalna mikrovlakna iz nerjavečega jekla: izboljšane mehanske lastnosti in odpornost proti koroziji za napredne aplikacije

S. KASTELIC<sup>1,2</sup>, A. MAHMUTOVIĆ<sup>2</sup>, M. PETRIČ<sup>1</sup>, P. MRVAR<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta (SI), <sup>2</sup>TC Livarstvo d.o.o. (SI): **Optimization of casting based on numerical simulation and the use of a tungsten core** / Optimizacija litja na podlagi numeričnega izračuna in uporabe volframovega jedra

T. DREVENŠEK<sup>1</sup>, N. VALENČIČ<sup>1</sup>, D. VUGA<sup>1</sup>, M. MAKAROVIČ<sup>1</sup>, B. PERKO<sup>1</sup>, N. BALANTIČ<sup>1</sup>, M. VONČINA<sup>1</sup>, T. BALAŠKO<sup>1</sup>, S. KORES<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za materiale in metalurgijo (SI), <sup>2</sup>TALUM d.d. (SI): **Optimisation of heat treatment to achieve high mechanical properties of an AlSi10MgMn alloy product for e-mobility** / Optimizacija toplotne obdelave za doseg visokih mehanskih lastnosti izdelka iz zlitine AlSi10MgMn za e-mobilnost

J. BOROWIECKA-JAMROZEK, Kielce University of Technology (PL): **The effect of addition of the natural zeolite on the microstructure and mechanical properties of sintered iron matrix composite** / Vpliv dodatka naravnega zeolita na mikrostrukturo in mehanske lastnosti sintranih kompozitnih materialov s kovinsko matriko



J. KASIŃSKA, Kielce University of Technology (PL): **The role of rare earth metals in shaping alloy properties for defense and industrial applications** / Vloga redkih zemeljskih kovin pri oblikovanju lastnosti zlitin za obrambne in industrijske namene

## RAZSTAVLJAVCI

V drugem delu prispevka predstavljamo po abecednem redu na kratko vse razstavljalce na letošnji livarski razstavi, skupaj s fotografijami\* njihovih razstavnih prostorov.



BL METAL, BOGDAN LOVŠIN s.p. (SI)

### BL METAL, BOGDAN LOVŠIN s.p.

Podjetje BL Metal iz Slovenije se ukvarja z dobavo opreme za industrijo, s poudarkom na livarski industriji, a pokrivajo tudi druge industrijske panoge. Specializirani so za inovativne tehnologije in skupaj s partnerskimi podjetji omogočajo celovito izvedbo investicij. Z veseljem sprejemajo nove izzive ter nudijo podporo pri nakupu, prodaji ali iskanju informacij o opremi.

### CARL ZEISS d.o.o.

ZEISS je vodilno podjetje na področju optike in optoelektronike z več kot 175-letno tradicijo tehnološkega napredka. S svojimi rešitvami podpira številne industrije, od polprevodnikov, avtomobilske in STROJNE industrije do biomedicinskih raziskav, medicinske tehnologije ter optičnih naprav. Slovensko podjetje Carl Zeiss d.o.o., ustanovljeno leta 1994, pokriva Slovenijo in del Hrvaške ter je v 100% lasti matične družbe Carl Zeiss GmbH iz Avstrije.



CARL ZEISS d.o.o. (SI)

### ELKEM ASA

Podjetje, ustanovljeno leta 1904, specializirano za proizvodnjo silicijevih materialov, silicijevih zlitin, ogljikovih izdelkov in mikrosilike. Gre za eno vodilnih svetovnih ponudnikov naprednih silicijevih materialov, ki prispevajo k boljši in bolj trajnostni prihodnosti. Podjetje razvija in proizvaja širok spekter izdelkov, vključno s silikoni, silicijevimi izdelki in ogljikovimi rešitvami. Njihovi izdelki se uporabljajo v različnih industrijah, kot so mobilnost in transport, zdravstvo, gradbeništvo, osebna nega, digitalne komunikacije, energetika ter napredna proizvodnja. Podjetje ima več kot 30 proizvodnih obratov po vsem svetu.



ELKEM ASA (NO)

Podjetje je zavezano trajnostnemu razvoju in inovacijam. Nedavno so predstavili novo generacijo silikonskih elastomerov, posebej zasnovanih za aditivno proizvodnjo, kar kaže na njihovo zavezanost k napredku in prilagajanju tržnim potrebam.

### EXOTERM-IT d.o.o.

Podjetje je ustanovljeno leta 2002 in je specializirano za proizvodnjo in dobavo pomožnih materialov za livarstvo in metalurgijo, predvsem na območju jugovzhodne Evrope. Podjetje ponuja širok spekter izdelkov, kot sledi: **izdelki za jeklarne** (različni materiali, namenjeni optimizaciji procesov v jeklarnah), **izdelki za livarne** (pomožni materiali, ki izboljšujejo kakovost livarskih izdelkov), **trgovsko blago** (dodatni materiali in oprema za podporo livarskim in metalurškim procesom). S pomočjo računalniške simulacije litja in strjevanja livarskih ulitkov, ki jo omogoča programski paket MAGMASOFT, podjetje svojim kupcem nudi tehnično podporo za doseganje optimalnih rešitev in kakovostnih metalurških ter livarskih proizvodov.

### FAPROSID srl

**Podjetje Faprosid**, ustanovljeno leta 1965 v Brescii, je začelo z izdelavo izdelkov za jeklarske obrate, nato pa razširilo proizvodnjo na posebne izolacijske komponente (tulce) v livarstvu pri litju železa, jekla in neželeznih kovin in postalo eno vodilnih podjetij na tem področju v Italiji. Z nenehnimi vlaganji v proizvodne linije, širitev proizvodnih površin na 13.000 kvadratnih metrov in pridobitvijo certifikata ISO 9001:2008, je podjetje postalo zanesljiv partner tako v jeklarski kot livarski industriji. Njihova raziskovalna in razvojna ekipa neprestano razvija nove rešitve in materiale, s čimer izpolnjujejo visoke standarde kakovosti ter zagotavljajo izdelke, ki izboljšujejo lastnosti litih in jeklenih izdelkov.

### FEAL INŽENIRING d.o.o.

Podjetje FEAL-INŽENIRING d.o.o. od leta 1992 uspešno deluje na trgih Slovenije, Hrvaške, Bosne in Hercegovine ter Makedonije, specializirano je za prodajo visokokakovostnih izdelkov za različne vrste livarn in litja. V sodelovanju z globalnimi proizvajalci, kot so CHEM-TREND, VESUVIUS in FOSECO, ponujajo izdelke z visoko kakovostno in ekološko strategijo. Njihova ponudba, znanje in napredne rešitve zagotavljajo vrhunske odlitke.



EXOTERM-IT d.o.o. (SI)



FAPROSID srl (IT)



FEAL INŽENIRING d.o.o. (SI)

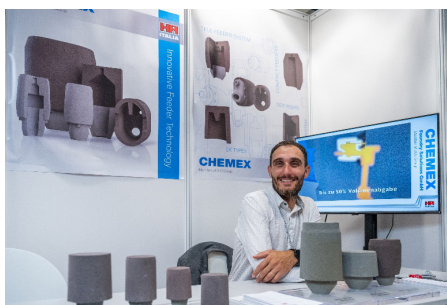




FILL GESELLSCHAFT m.b.H. (AT)



GIESSEREI+HOME OF FOUNDRY (D)



HA ITALIA S.p.A. - CHEMEX (IT)



HAGI GmbH (AT)

### FILL GESELLSCHAFT m.b.H.

**Podjetje Fill Gesellschaft m.b.H.** je eno vodilnih avstrijskih strojno-inženirskih podjetij z visoko dodano vrednostjo in vrhunsko usposobljenim tehničnim kadrom. Njegova dejavnost zajema področja strojogradnje, proizvodnje specialnih strojev ter razvoja celovitih rešitev za naslednje industrijske panoge: avtomobilsko, letalsko, lesno-gradbeno ter športno in rekreativno industrijo. Podjetje posluje globalno – tako preko izvoza in sodelovanja s kupci po celem svetu, kot tudi preko svojih podružnic v ZDA, na Kitajskem in v Mehiki. Ukvarja se z razvojem in proizvodnjo specializiranih strojev ter s celovitimi rešitvami za proizvodne procese – od litja surovcev, njihove obdelave in montaže do končnega izdelka. Podjetje poseben poudarek namenja inovacijam, kakovosti, trajnosti in tehnološkemu razvoju.

### GIESSEREI + HOME OF FOUNDRY

**GIESSEREI** je vodilna evropska strokovna revija za livarsko industrijo, ki pokriva teme, kot so tehnologija litja, materiali, oprema in tržne trende. „**HOME OF FOUNDRY**“ je spletni portal, povezan z revijo, ki ponuja aktualne novice, članke, informacije o izdelkih in podjetjih, dogodkih ter zaposlitvenih priložnostih v livarski industriji. Skupaj zagotavljata celovite informacije in podporo strokovnjakom ter podjetjem v livarski panogi.

### HA ITALIA – CHEMEX

**Hüttenes-Albertus**, z več kot 100-letno tradicijo, je zanesljiv partner livarn po vsem svetu. Je proizvajalec kemičnih izdelkov za livarsko industrijo (organska in anorganska veziva, premaze, posebne peske, ločilna sredstva ter metalurške izdelke). Kot globalno uspešno družinsko podjetje ima HA Group močno mednarodno mrežo s približno 1.800 zaposlenimi v več kot 30 državah. Njihova vizija je ustvarjati trajnostne rešitve, ki pustijo vtis, ne pa okoliškega odnosa.

### HAGI GmbH

**HAGI GmbH** je tehnična prodajna agencija, ki s strokovno usposobljenimi inženirji svetuje na



HAITIAN PFI (IT)



HWS MASCHINEFABRIK GmbH (D)



HWS MASCHINEFABRIK GmbH (D)

področju livarstva, trdnih snovi in 3D tiskanja. S svojo mrežo in partnerstvi zagotavlja tehnično in ekonomsko svetovanje, prilagojeno potrebam strank. Poleg tega zastopa podjetja in proizvode za avstrijski trg ter sosednje države.

### HAITIAN PFI

Haitian Die Casting je del ugledne skupine Haitian, ki temelji na filozofiji napredka, tehničnih inovacij in partnerskega sodelovanja. Njihov cilj je zagotavljati celovite rešitve in visokotlačno livarsko opremo, ki združuje vrhunsko kakovost in optimalno stroškovno učinkovitost. Leta 2021 so v Beilunu, Ningbo, odprli najmodernejšo proizvodno bazo z investicijo 160 milijonov USD na površini 139 hektarjev. Nova tovarna omogoča proizvodnjo celotne serije livarskih strojev s hladno komoro in zapiralno silo od 180 do 9000 ton ter s toplo komoro od 30 do 400 ton. Letna zmogljivost obrata je 4.000 strojev – kar jih postavlja med vodilne proizvajalce na globalnem trgu.

### HEINRICH WAGNER SINTO MASCHINEFABRIK GmbH

**Podjetje HWS**, ustanovljeno leta 1937, se ukvarja s proizvodnjo naprednih livarskih strojev in sistemov za izdelavo visoko kompaktnih kalupov za sodobne livarne. Od leta 2003 je v 100-odstotni lasti japonske skupine SINTOKOGIO, največjega svetovnega proizvajalca livarskih strojev. Podjetje je danes vodilno na trgu oblikovalnih sistemov, strojev in tehnologij za livarsko industrijo.

### IDEF d.o.o.

Podjetje IDEF d.o.o. s sedežem v Zagrebu se ukvarja z zastopanjem, uvozom, izvozom in veleprodajo opreme ter potrošnega materiala za neporušitveno testiranje (NDT). Že od leta 1992 uspešno sodeluje z vodilnimi svetovnimi proizvajalci, za katere zagotavlja tudi pooblašeni

servis in tehnično podporo na najvišji ravni. Njihova oprema je namenjena širokemu spektru industrij, kot so kovinska industrija, ladjedelnštvo, livarstvo, letalska in kemijska industrija, kot tudi izobraževalnim ustanovam. Delujejo na trgih Bosne in Hercegovine, Slovenije in Srbije.

### INDEMAK LTD

**INDEMAK Ltd.** je uveljavljeno turško podjetje, specializirano za izdelavo indukcijskih peči in ogrevalnih sistemov za livarsko industrijo. Njihova proizvodnja je prilagodljiva in omogoča



rešitve tako za manjše kot za velike proizvodne zahteve. Podjetje proizvaja srednje frekvenčne indukcijske talilne peči z močjo od **50 kW do 8 MW** ter s talilno zmogljivostjo do približno 20 ton taline. Poleg tega ponujajo tudi ogrevalne sisteme za cevi in billete ter številne **podporne sisteme**, kot so hladilne enote, avtomatske izlivne sisteme z 3D-laserjem, indukcijske tuljave in nadzorne plošče. I NDEMAK nudi tudi naslednje **storitve**: montaže in predelave obstoječih peči z namenom povečanja njihove kapacitete, tehnično podporo pri servisiranju ter dobavo rezervnih delov. Široka ponudba izdelkov in zanesljivo zagotavljanje servisne podpore p mu omogočata konkurenčen položaj, tako na domačem, kot na tujih trgih.

### INDUCTOTHERM EUROPE Ltd

Kot vodilni svetovni proizvajalec indukcijskih sistemov za taljenje kovin za današnje proizvajalce kovin je podjetje Inductotherm zgradilo več kot 36.500 sistemov za taljenje in ogrevanje kovin ter livarskih izdelkov po vsem svetu. Z dokazano indukcijsko tehnologijo za vsako potrebo livarne imajo znanje in izkušnje, da vam pomagajo. Samo Inductotherm vam lahko ponudi preverjene, učinkovite, zanesljive in visoko zmogljive sisteme, ki vam zagotavljajo konkurenčno prednost. Načrtujejo in proizvajajo najsodobnejše indukcijske sisteme za taljenje, ogrevanje, zadrževanje in ulivanje, namenjene praktično vsem kovinam in materialom. To vključuje opremo za sivo in nodularno litino, jeklo, baker in bakrove zlitine, aluminij, cink, reaktivne kovine, plemenite kovine, silicij in grafitno ogrevanje ter številne druge posebne aplikacije. Prav tako razvijajo in proizvajajo celotno linijo indukcijske opreme za taljenje, ogrevanje, prevleke, galvanizacijo v neprekinjenem procesu, predvsem za jeklarsko industrijo.

### IRT3000

**Revija IRT3000** se osredotoča na inovacije, razvoj in tehnologije, ki podpirajo napredek gospodarstva ter povečujejo konkurenčnost industrije. Poroča o novostih, dosežkih in dobrih praksah v različnih tehniških in industrijskih panogah ter spodbuja prenos znanja v prakso. Z obsežnimi tematskimi



INDEMAK LTD (TR)



INDUCTOTHERM EUROPE Ltd (UK)



IRT 3000 (SI)

področji, kot so strojništvo, energetika, proizvodne tehnologije in informatika, predstavlja ključen vir informacij za strokovnjake v industriji.

### ITALPRESSEGAUSS S.p.A.

**ITALPRESSE GAUSS S.l.r.** je italijansko podjetje z dolgoletno tradicijo in specializacijo na področju izdelave livarskih strojev za litje lahkih kovin. Proizvaja stroje za **visokotlačno (HPDC)**, **nizkotlačno (LPDC)** in **gravitacijsko litje** lahkih kovin, predvsem za potrebe avtomobilске industrije in sorodnih panog. Poleg osnovnih strojev podjetje ponuja tudi avtomatizirane delovne celice (**"work cells"**) za litje ter **celovite integrirane rešitve** za livarne, ki združujejo stroje, avtomatizacijo in digitalno podporo. Podjetje je izrazito vključeno v digitalno transformacijo in razvoj v okviru Industrije 4.0. Ni zgolj proizvajalec mehanske opreme, temveč aktivno razvija in uvaja rešitve, ki omogočajo pametnejšo proizvodnjo, **večjo povezanost**, podatkovno analitiko in storitveno usmerjenost. Italtresse Gauss je močno usmerjeno v inovacije, globalno prisotnost in zanesljive servisne rešitve.



ITALPRESSEGAUSS S.p.A. (IT)



JUCOM d.o.o. (SI)

### JUCOM d.o.o.

Podjetje JUCOM d.o.o. je uspešno, specializirano manjše slovensko podjetje, ki se ukvarja z distribucijo, servisiranjem in tehnološkimi rešitvami v industriji strojne obdelave in orodij. Podjetje se osredotoča na prodajo CNC-obdelovalnih centrov, portalnih in revolverskih stružnic, strojev za litje pod tlakom (HPDC) ter strojev za injekcijsko brizganje (IMM). Za potrebe orodjarske dejavnosti zagotavlja rezalna orodja, merilno opremo in različna specializirana orodja za kovinsko industrijo. Poleg prodaje se podjetje ukvarja tudi s servisno dejavnostjo in tehnično podporo. Zastopa priznane blagovne znamke, kot so Yizumi, Kern Microtechnik, Kaltenbach, MEP in Leadwell. Kljub svoji manjši velikosti podjetje odlikujeta široka ponudba in močne mednarodne povezave.

### KATEDRA ZA LIVARSTVO NTF LJUBLJANA

Katedra za livarstvo deluje v okviru Oddelka za materiale in metalurgijo na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Njena glavna dejavnost je izobraževanje in raziskovanje na področju livarstva ter sorodnih tehnologij. Katedra izvaja pouk na univerzitetnem študijskem programu „Materiali in metalurgija“ ter na visokošolskem strokovnem programu „Metalurške tehnologije“. Predmetna področja vključujejo livarstvo, livarske tehnologije, inženirske materiale, statistiko in



KATEDRA ZA LIVARSTVO NTF LJUBLJANA (SI)



kontrolno kakovosti. Raziskovalno delo katedre obsega temeljne raziskave, usmerjene v industrijsko uporabo. Sodelujejo z industrijo na področjih, kot so gravitacijsko litje v trajne in enkratne forme, tlačno litje, procesna tehnika litja, livne zlitine, taljenje, obdelava taline, razplinjevanje, oksidacija, cepljenje in kontrola. V laboratoriju se izvajajo raziskave s področja livarstva za potrebe pedagoškega procesa in znanstvenoraziskovalnega dela. Delom prispeva k razvoju livarske stroke v Sloveniji ter k povezovanju znanstvenih in industrijskih praks na tem področju.



Kremen d.o.o. (SI)

#### **KREMEN d.o.o.**

Skupino Kremen sestavljajo podjetja za pridobivanje, predelavo, proizvodnjo in prodajo kremenovih surovin (kremenov pesek, kvarcit) ter izdelavo ognjevarnih materialov (vlažne, suhe, specialne suhe in specialne plastične mase). Ti materiali so ključni za industrije, ki zahtevajo visoko odpornost na visoke temperature in korozivno okolje. Svojo dejavnost opravljamo v sodelovanju s strateškimi partnerji, podjetjema RHI Magnesita in EKW GmbH, ki imata izjemno dolgo tradicijo (200 in 110 let).



LABENA d.o.o. (SI)

#### **LABENA d.o.o.**

Skupina Labena, ustanovljena leta 1993, se ukvarja s prodajo in servisno podporo visoko specializirane laboratorijske, proizvodne in procesne opreme, namenjene farmacevtski, živilski in raziskovalni industriji. Poleg distribucije opreme podjetje aktivno deluje na področju raziskav in razvoja z lastnim pogodbenim raziskovalnim laboratorijem (CRO Z nenehnim vlaganjem v laboratorijske kapacitete ter z ustanovitvijo programa Labena Ventures, podjetje spodbuja inovacije in širi svojo prisotnost v biotehnološkem in farmacevtskem sektorju po vsem svetu.



LABSYS LJUBLJANA d.o.o. (SI)

#### **LABSYS LJUBLJANA d. o. o.**

**Podjetje LABSYS d.o.o.** je uveljavljeno slovensko podjetje na področju laboratorijske opreme, testiranja in procesne kontrole, s prisotnostjo v Sloveniji in širši regiji. Deluje kot dobavitelj opreme in storitev za laboratorije ter izvajalce testiranja. Njegova glavna prodajna dejavnost vključuje analitične laboratorijske instrumente, opremo za fizikalna testiranja materialov, opremo za procesno kontrolo in proizvodnjo, laboratorijski

potrošni material ter pripomočke, poleg tega pa nudi tudi najem in servis opreme. Podjetje svojo lastno blagovno znamko razvija od leta 1995. Od leta 1997 razpolaga s prvim profesionalnim kalibracijskim laboratorijem za kalibracijo in servis viskozimetrov. LABSYS je opremljen s fizikalnim laboratorijem za statistične teste, z dinamičnim preizkuševalnim sistemom za mehanske in metalurške analize ter meritve debeline galvanskih nanosov. Poleg tega razpolaga z vzorčnim spektralnim analizatorjem za določanje čistosti dragih kovin (zlata, srebra, paladija) in z več visokozmogljivimi XRF-sistemi.

### **LABTIM d.o.o.**

Podjetje LABTIM d.o.o. se ukvarja z zagotavljanjem celovitih rešitev na področju laboratorijske opreme in storitev. Njihova ponudba vključuje instrumente in aparate za tekočinsko kromatografijo, masno spektrometrijo, termično analizo, kalorimetrijo, reologijo, mehansko in elementno analizo ter pripravo laboratorijske vode. Poleg tega nudijo programsko opremo, izobraževanja, tehnično in aplikativno podporo ter izvajajo analize v lastnem laboratoriju, ki je certificiran po standardih EU GMP in ISO 9001:2015. Podjetje sodeluje z vodilnimi svetovnimi proizvajalci laboratorijske opreme.



LABTIM d.o.o. (SI)



LAEMPE MOSSNER SINTO GmbH (D)



LIVING d.o.o. (SI)

### **LAEMPE MÖSSNER SINTO GmbH**

Laempe Mössner Sinto GmbH je nemško podjetje, ustanovljeno leta 1980. Specializirano je za tehnologije izdelave jeder v livarski industriji. Podjetje ponuja celovite rešitve, vključno z avtomatskimi stroji za izdelavo jeder, plinskimi napravami, mešalniki peska, sistemi za pripravo peska ter rešitvami za nadaljnjo obdelavo jeder. Podjetje zaposluje približno 300 ljudi na področjih marketinga, prodaje, raziskav in razvoja, projektiranja, proizvodnje ter storitev. Leta 2015 je sklenilo strateško partnerstvo z japonskim podjetjem Sinto, največjim proizvajalcem livarskih strojev na svetu. Laempe Mössner Sinto sodeluje z različnimi industrijami, vključno z avtomobilsko in komercialno industrijo, rudarstvom, energetiko, elektrotehniko, železniškim inženiringom ter proizvodnjo industrijskih ventilov in strojnih komponent. Podjetje je znano po inovativnih rešitvah in visokih standardih kakovosti, kar potrjujejo tudi številni certifikati, kot je ISO 9001:2015.

### **LIVING d.o.o.**

Podjetje je bilo ustanovljeno leta 1996 in je specializirano za projektiranje in proizvodnjo

opreme za livarne ter sistemov za čiščenje zraka. Proizvodni program vključuje transportne naprave (elevatorje, tračne transporterje, vibracijske transporterje in pnevmatski transport), peskalne stroje različnih tipov za obdelavo površin, oprema za livarne (mešalnice, aeratorje, sita, hladilnike peska in drobilnike) ter filtrirne sistemi z različnimi vrstami filtrov za industrijsko odpravevanje.

### **MASCHINENFABRIK GUSTAV EIRICH GmbH & Co.KG**

Podjetje je ustanovljeno leta 1863. Specializirano je za razvoj in proizvodnjo strojev ter naprav za pripravo sipkih materialov, gnojek in blata. Njihova glavna področja delovanja vključujejo mešanje, mletje, granuliranje, peletiranje in sušenje. Podjetje ima 15 lokacij v 12 državah, Eirich je znan po svoji inovativni mešalni tehnologiji, zlasti po razvoju intenzivnega mešalnika, ki omogoča ločeno vrtenje mešalnega orodja in posode, kar povečuje kakovost mešanja. Njihovi izdelki se uporabljajo v različnih industrijah, vključno z metalurgijo, gradbeništvom, keramiko, steklarstvom, baterijsko industrijo. Podjetje se osredotoča na raziskave in razvoj ter sodeluje z raziskovalnimi inštituti in univerzami. Poleg tega ponuja storitve, kot so svetovanje, inženiring, proizvodnja, montaža, zagon, usposabljanje in poprodajna podpora.

### **MAZZON S.p.A.**

Podjetje F.lli Mazzon S.p.A., ustanovljeno leta 1962, se ukvarja s proizvodnjo in dobavo kemikalij za livarne in gradbeno industrijo, z vezivi, premazi, raznimi dodatki ter izdelki

za zaščito in čiščenje kovin. S široko paleto izdelkov, ki vključuje približno 1.000 kemikalij, oskrbuje več kot 600 podjetij v več kot 30 državah, zlasti prek mreže agentov in distributerjev, ki zagotavljajo lokalno podporo in prilagoditev izdelkov. Podjetje se osredotoča na inovacije, kakovost, trajnost in partnerski pristop, kar omogoča reševanje izzivov livarske industrije na učinkovit in zanesljiv način.

### **NAJPI A.S.**

**NAJPI s.r.** je slovaško rudarsko-predelovalno podjetje, specializirano za izkop in predelavo peskov z zelo kakovostnih nahajališč na Slovaškem, ki se nahajata v krajih Borský Peter in Šajdíkové Humence. Obrat za predelavo, rafinacijo in distribucijo surovine se nahaja v industrijskem parku v Senici, ki zagotavlja logistično zelo



MASCHINENFABRIK GUSTAV EIRICH GmbH & CoKG (D)



MAZZON - HA ITALIA S.p.A. (IT)



NAJPI A.S. (SK)



ugoden položaj za kupce. Podjetje izkopava in predeluje stekleni pesek (glass sand) ter pesek za livarstvo (foundry sand), ki sta pomembni surovini v livarski, steklarski in gradbeništvu.

### NOVACAST SYSTEM AB

**NOVA CAST SYSTEM AB** je globalno švedsko podjetje, specializirano za razvoj programskih in sistemskih rešitev za livarsko industrijo – od modeliranja in simulacij ulivanja ter metalurškega nadzora do analiz stroškov in okoljskih vplivov. Podjetje ima močno mednarodno prisotnost, saj deluje tudi v Indiji, ZDA in na Tajskem. Gre za visoko specializirano podjetje, ki razvija in dobavlja programsko opremo ter sisteme za simulacijo livarskih procesov in nadzor metalurških postopkov v livarski industriji. Glavne dejavnosti in produkti podjetja vključujejo: simulacijske rešitve za litje z orodji *NovaFlow&Solid*, *NovaOne HPD*, *NovaOne Gravity* in *NovaStress*, predprocesorski CAD/modelirni sistem *NovaMethod*., modul za izračun vtokovnega sistema *NovaGating*, sisteme za metalurški nadzor (zbiranje podatkov, nadzor in optimizacija talilnih ter metalurških procesov), orodja za izračun stroškov in okoljskih vplivov.

### OLMA d.o.o.

Podjetje OLMA d.o.o. z več kot 77-letno tradicijo je vodilni regionalni proizvajalec in ponudnik vrhunskih maziv ter strokovnih triboloških rešitev. Njihovo delovanje temelji na znanju, inovacijah in trajnostnem razvoju, s čimer partnerjem pomagajo doseči večjo učinkovitost, zanesljivost in okoljsko odgovornost. Prodajo usmerjajo na trge jugovzhodne Evrope, kjer s tehnično podporo in svetovanjem zagotavljajo celovite rešitve za industrijo prihodnosti. Svoj proizvodni program dopolnjujejo z izdelki priznanih partnerjev, kot so Quaker Houghton, Setral, Tribo-Chemie in drugi, kar jim omogoča oblikovanje naprednih, uporabniku prilagojenih rešitev.

### PIQ2 S.r.l.

Ustanovljeno leta 2011, podjetje PiQ2 podpira obstoječo, ter razvija svojo programsko opremo, primerno za izvedbo simulacij HPDC litja barvnih kovin. Kot član CSMT Tehnološkega Centra v Brescii, podjetje tesno sodeluje z akademsko - industrijskim kadrom, ter posredno ugodno vpliva na nadaljnje procese tehnološke optimizacije in



NOVACAST SYSTEM AB (SWE)



OLMA d.o.o. (SI)



PiQ2 S.r.l. (IT)



razvoja programske opreme. Njihove rešitve so tako vedno odraz praktičnih izkušenj, kot tudi trenutnega stanja livarske industrije ter želja/zahtev poslovnih partnerjev. PiQ2 stranke podpira na področjih tehničnih izobraževanj, svetovanj in optimizacij procesov HPDC litja.

### PRIMAKEM d.o.o.

Podjetje je specializirano za proizvodnjo in trženje kemijskih izdelkov ter opreme za industrijsko čiščenje. Podjetje razvija in proizvaja čistila, sredstva za obdelavo kovin, biološko razgradljiva maziva, sredstva za protikorozijsko zaščito ter izdelke za poliranje in razmaščevanje. Podjetje nadalje ponuja različne naprave in stroje za industrijsko pranje in čiščenje, vključno z vakuumskimi destilatorji za obdelavo odpadnih voda. Ob tem pa nudi tudi celovite rešitve za industrijsko čiščenje, ki obsegajo svetovanje, dobavo naprav, kemikalij za čiščenje, izobraževanje, servis ter podporo v celotni življenjski dobi naprav. Podjetje sodeluje z uglednimi tujimi proizvajalci opreme za industrijsko čiščenje in obdelavo odpadnih voda, kar omogoča ponudbo celovitih rešitev za različne industrijske panoge.

### PSR d.o.o. – Projekti, Svetovanje in Razvoj

PSR sodeluje z vodilnimi svetovnimi proizvajalci livarske opreme, da vam zagotovimo najboljše rešitve na trgu. Njihova misija je celovita podpora pri industrijskih tehnoloških projektih, ki prinaša konkurenčno prednost in dolgoročno učinkovitost. Z najnovejšo, najsodobnejšo tehnologijo omogočajo livarnam maksimalno avtomatizacijo, optimizacijo stroškov in vrhunsko kakovost proizvodnje – ne glede na to, ali gre za železove, jeklene ali neželezne livarne. Kot ekskluzivni partnerji vodilnih proizvajalcev, kot so DISA, Wheelabrator, Haitian, Inductotherm, ProserviceTech, Indefunsa, LIANCO, Wollin, zagotavljajo zanesljivo dobavo nove opreme in strokovno podporo na vsakem koraku. PSR – inovacije, ki oblikujejo prihodnost livarstva.

### RESAND OY

Podjetje je bilo ustanovljeno leta 2013 v okolju, kjer se peski s ukvarjajo že od leta 1793. To finsko tehnološko podjetje je specializirano za regeneracijo in reciklažo livarskega peska. Podjetje ponuja inovativne rešitve za skoraj 100-odstotno reciklažo livarskega peska, kar zmanjšuje potrebo po novem pesku in emisije CO<sub>2</sub> pri uporabi ter transportu peska do 80 %. Aprila 2024 je Resand predstavil prvi električni regeneracijski sistem za



PRIMAKEM d.o.o. (SI)



32. PSR d.o.o.



RESAND OY (FI)

pesek na evropskem trgu. Ta modularna enota omogoča čiščenje uporabljenega peska neposredno na lokaciji livarne, kar odpravlja potrebo po odlaganju peska na odlagališčih. Podjetje s svojimi inovativnimi rešitvami prispeva k trajnostnemu razvoju livarske industrije, zmanjšuje okoljski vpliv in spodbuja učinkovito rabo virov.

### ROBOT SERVICE SRL

ROBOT SERVICE S.r.l. je italijansko podjetje, ki se ukvarja z razvojem, projektiranjem in izvedbo avtomatiziranih ter robotiziranih rešitev ter z avtomatizacijo logističnih procesov. Podjetje je prisotno v avtomobilski in letalski industriji, pri obdelavi kovinskih delov ter v medicinskem sektorju. Glavne dejavnosti in rešitve podjetja zajemajo naslednja področja: projektiranje in izvedbo robotiziranih delovnih celic za faze finiiranja kovinskih delov, kot so brušenje, odstranjevanje materiala in čiščenje, integracijo sistemov z roboti priznanih proizvajalcev, kot sta FANUC in ABB, avtomatizacijo logističnih procesov in shranjevanja, na primer z vertikalnimi skladiščnimi sistemi in manipulatorji, analizo in optimizacijo proizvodnih procesov z namenom povečanja učinkovitosti, zmanjšanja stroškov in izboljšanja produktivnosti.



ROBOT SERVICE SRL (IT)

### RWP GmbH

Podjetje RWP, ustanovljeno leta 1984 pod vodstvom dr. Konrada Weissa, je vodilni razvijalec programske opreme za optimizacijo livarskih procesov, znano po inovativni programski opremi WinCast® expert. S pomočjo računalniške simulacije omogočajo enostavno upravljanje procesov, kot so načrtovanje ulitkov, polnjenje kalupov, strjevanje in deformacije, kar prispeva k izboljšanju kakovosti izdelkov in prihrankom. RWP si je z zanesljivostjo, stalnimi inovacijami in strokovno ekipo ustvaril odličen ugled ter dosegel široko sodelovanje.



RWP GmbH (D)

### SAND TEAM spol. s r.o.

Podjetje SAND TEAM, spol. s r.o., se osredotoča na celovito podporo pri proizvodnji ulitkov, zlasti pri izdelavi peščenih jeder in kalupov ter razvoju geopolimernih veziv GEOPOL®. Poleg dobave anorganskih in organskih veziv nudijo kremenove in nekremenove peske, obložene peske za Croning tehnologijo ter širok spekter pomožnih sredstev in laboratorijske opreme za nadzor kakovosti. Podjetje izvaja tudi raziskave in razvoj, usmerjene v okolju prijazna livarska veziva, ter ponuja stroje za pripravo peskov in reciklažo le- teh.



SAND TEAM, spol. s r.o. (CZ)



### SIAPRO d.o.o.

Podjetje je Izvajalec inženiring projektov posodobitve ali vgradnje nove opreme za livarne ter proizvajalec in zastopnik industrijske opreme za livarstvo, jeklarstvo in strojno industrijo. Zagotavlja širok spekter naslednje opreme, naprav in strojev: livarsko opremo za pripravo peska in sekundarno regeneracijo peska, formarske stroje, opremo jedrarne, avtomatske livne naprave in sisteme nadzora litja, opremo za iztresanje in hlajenje, razne transportne sisteme, peskalne stroje s opremo za peskanje, opremo za mikrokovanje, drobilce, spektrometre za kemijsko analizo kovin.



SIAPRO d.o.o. (SI)

### SIPAG BISALTA SPA

Sipag Bisalta S.p.a., ustanovljeno leta 1948 v Genovi, je vodilni proizvajalec bentonita in kemijskih izdelkov za različne industrije. Njihovi izdelki in tehnologija se uporabljajo v livarnah proizvajalkah ulitkov za avtomobilsko in strojno industrijo, gradbeništvo ter v okoljskem inženiringu, kemični industriji in drugih panogah. Podjetje ima sedež v Genovi, proizvodni obrat pa se nahaja v Sovizzu pri Vicenzi.



SIPAG BISALTA SPA (IT)

### STEM d.o.o.

Podjetje je bilo ustanovljeno leta 1989. z namenom proizvodnje in razvoja peskalnih strojev za površinsko obdelavo, kot so peskanje, matiranje, mikrokovanje (shot peening, stress peening) in hrapavljenje. Podjetje ponuja širok spekter peskalnih strojev. Podjetje je zelo močno prisotno na mednarodnih trgih, saj več kot 95 % svoje proizvodnje izvozi v skoraj vse evropske države ter tudi v Azijo, Avstralijo in na Bližnji vzhod. Podjetje ima pomembne reference v najprestižnejših evropskih podjetjih in multinacionalkah.



STEM d.o.o. (SI)

### TC LIVARSTVO d.o.o.

Podjetje TC Livarstvo d.o.o. deluje kot tehnološki center za podporo livarnam v Sloveniji in širši regiji. Specializirani so za optimizacijo livarskih procesov z numeričnimi izračuni, razvoj materialov in zlitin ter zagotavljanje kakovosti taline z lastno termično analizo aluminijevih zlitin. Poleg tega ponujajo izdelavo prototipnih in maloserijskih ulitkov, svetovanje pri razvoju tehnologije litja



STEM d.o.o. (SI)



TCT TESIC GmbH (D)



TERMIT d.d. (SI)



TOPOMATIKA d.o.o. (CRO)

ter zastopajo numerične programe skupine ESI Group za območje nekdanje Jugoslavije.

### TCT TESIC GmbH

Podjetje je ustanovljeno leta 1993. Specializirano je za mednarodno trgovino z rabljenimi livarskimi napravami ter njihove premestitve, vzdrževanje in posodobitve. Podjetje deluje kot povezovalni člen med ponudniki in kupci, pri čemer zagotavlja celovite storitve, vključno z demontažo, montažo, popravili in modernizacijo opreme po vsem svetu. Podjetje ponuja naslednji spekter storitev: Nakup in prodajo rabljenih livarskih naprav ter opreme. demontaža, transport in ponovno montažo celotnih livarn ali posameznih naprav, popravila, vzdrževanje in modernizacija livarske opreme za izboljšanje učinkovitosti in podaljšanje življenjske dobe naprav.

### TERMIT d.d.

Gre za rudarsko podjetje ustanovljeno leta 1960. Specializirano je za proizvodnjo in predelavo kremenovih peskov ter izdelavo pomožnih livarskih sredstev za livarne in železarne. Podjetje ponuja rešitve in inovativne tehnologije za potrebe livarstva, gradbeništva ter urejanja športnih in travnatih površin v državah srednje in jugovzhodne Evrope. Iz lastnih oplaščenih, sušenih in sejanih peskov izdelujejo jedra po postopkih Croning, Cold-Box in Anorganic. Program pomožnih livarskih sredstev pokriva vse proizvodne procese v livarnah, od izdelave jeder, priprave taline, formanja, premazovanja do litja vseh vrst železnih in barvnih kovin. Podjetje s svojo dolgoletno tradicijo in inovativnim pristopom ostaja vodilni proizvajalec oplaščenih kremenovih peskov in livarskih jeder v regiji.

### TOPOMATIKA d.o.o.

Podjetje je specializirano za 3D-digitalizacijo in optične meritve, vključno z merjenjem oblik, dimenzij, položajev ter deformacij objektov od 10 mm do več deset metrov. Poleg storitev ponujajo vrhunske tridimenzionalne merilne sisteme Carl Zeiss GOM Metrology, programske rešitve Geomagic, mikroskope Vision Engineering ter opremo za testiranje mehanskih lastnosti materialov podjetja Hegewald & Peschke. Podjetje je ekskluzivni zastopnik za več svetovno priznanih blagovnih znamk na področju 3D-meritev za območje celotne regije.



### TROKUTTEST d.o.o.

Podjetje se ukvarja z zagotavljanjem celovitih rešitev na področju materialnega testiranja, vključno z opremo za merjenje trdote, mehanskimi preizkušnji in metalografijo. Sodelujejo z vodilnimi svetovnimi proizvajalci ter ponujajo podporo pri opremljanju laboratorijev za nadzor kakovosti. Poleg tega nudijo svetovalne storitve za optimizacijo proizvodnih procesov in kakovosti izdelkov v različnih industrijskih panogah.

### WEILER ABRASIVES d.o.o.

Podjetje ima bogato zgodovino, ki sega v leto 1879 in je specializirano za proizvodnjo visokozmogljivih abrazivov, vključno z rezalnimi in brusnimi ploščami ter fleksibilnimi brusnimi orodji. Podjetje je del globalne skupine Weiler Abrasives, ki je vodilni proizvajalec rešitev za obdelavo površin. Podjetje ponuja širok spekter izdelkov za rezanje, brušenje in čiščenje, vključno s vezanimi rezalnimi in brusnimi ploščami, lamelnimi brusnimi ploščami, diamantnimi rezalnimi ploščami, strojnimi in ročnimi ščetkami in tehničnimi tkaninami. Podjetje ponuja tudi več programov za izboljšanje Podjetje je je zavezano k zagotavljanju visokokakovostnih izdelkov in storitev ter k partnerskemu sodelovanju s strankami za reševanje njihovih izzivov na področju obdelave površin.

### WINOA ABRASIV MUTA d.o.o.

Podjetje je del mednarodne skupine WINOA, ki je vodilni proizvajalec jeklenih abrazivov za obdelavo površin. Po letu 1950 se je usmerilo v litje in proizvodnjo litoželeznih abrazivov. Danes je specializirano za proizvodnjo visokokakovostnih jeklenih abrazivov, kot so jekleni okrogli in drobljeni abrazivi ter abrazivi iz nerjavnega jekla. Njihovi izdelki se uporabljajo v različnih industrijah, vključno z avtomobilsko, metalurško, energetiko in gradbeništvom. Podjetje je zavezano k trajnostnemu razvoju in nenehnim inovacijam, kar jim omogoča, da ostajajo vodilni na področju obdelave površin.



TROKUTTEST GROUP (CRO)



WEILER ABRASIVES d.o.o. (SI)



WINOA ABRASIV MUTA d.o.o. (SI)



dr. György Fegyverneki  
in dr. Anna Szombattfalvy  
iz Hungarian Mining and  
Metallurgical Association s  
predsednico Društva livarjev  
Slovenije

## **Sponsors of 65<sup>th</sup> IFC Portoroz 2025 / Pokrovitelji 65. IFC Portorož 2025**

### **GOLDEN SPONSOR / ZLATI POKROVITELJ:**

LAEMPE MÖSSNER SINTO GmbH

### **SILVER SPONSOR / SREBRNI POKROVITELJ:**

LTH Castings d.o.o.

### **BRONSE SPONSORS / BRONASTI POKROVITELJI:**

HA ITALIA S.p.A.

TALUM d.d.

DIFA d.o.o.

**AKTUALNO / CURRENT**

GOLDEN SPONSOR / ZLATI POKROVITELJ



SILVER SPONSOR /  
SREBRNI POKROVITELJ



**LTH Castings**

BRONZE SPONSORS /  
BRONASTI POKROVITELJI



DRIVEN BY PERFECTION

## AKTUALNO / CURRENT

## Seminar o inovativnih rešitvah za predelavo in ponovno uporabo odpadnih livarskih peskov

Dne 21. oktobra 2025 je na sedežu Gospodarske zbornice Slovenije v Ljubljani potekal enodnevni seminar, ki ga je organiziralo Društvo livarjev Slovenije. Dogodek je pripravil finski proizvajalec opreme Resand Oy, ki ga je zastopal dr. Ralf P. Jung, v sodelovanju z njihovim zastopnikom za Slovenijo in Italijo, podjetjem PCS d.o.o., pod vodstvom Jerneja Homarja. Seminarja so se udeležili predstavniki podjetij iz Slovenije in Hrvaške: CRANE Chempharma&Energy CRONING LIVARNA d.o.o., ETA Cekno d.o.o., FERRO-PREIS d.o.o. (Hrvaška), KOVIS- LIVARNA d.o.o., LIVARNA GORICA d.o.o, P.P.C., Buzet d.o.o. (Hrvaška), TALUM d.d., TERMIT d.d. in VALJI d.o.o.

Predavatelja dr. Ralf P. Jung in Jernej Homar sta udeležencem predstavila tehnološke, kemijske in ekonomske vidike regeneracije, rezultate industrijskih testov ter praktične pristope za uvajanje tehnologije v livarne. Kot je bilo izpostavljeno v uvodnem delu, se livarne danes soočajo z dvema ključnima izzivoma – naraščajočo ceno novega peska in stroški odlaganja odpadnega peska, ki v strukturi odpadkov pogosto predstavlja tudi do 90 % vseh odpadkov. Poleg tega evropska zakonodaja močno omejuje odlaganje, kar dodatno spodbuja iskanje krožnih in trajnostnih rešitev.



Resand E-reclaimer

Rešitev podjetja Resand se na te izzive odziva s tehnologijo, ki omogoča zaprt materialni krog peska v livarni – to pomeni bistveno manj odpadkov, nižje transportne stroške in manjši ogljični odtis. Ključ inovacije je patentiran sistem, ki združuje termično in mehansko obdelavo peska. V postopku se pesek segreje na 600–900 °C, pri čemer pride do t. i. premene kremena pri (quartz jump) pri 573 °C. Ta pojav povzroči, da se zrna raztezajo in s tem mehansko lažje odluščijo ostanki smol ter veziv. Pri kemično vezanih mešanicah (npr. furan, fenol - cold-box) veziva v celoti zgorijo, pri bentonitnih peskih pa se preostanki odstranijo z dodatnim mehanskim trenjem in odpraševanjem. Rezultat je regeneriran pesek z ustrezno granulacijo, pH-vrednostjo in nizko žarilno izgubo, ki je primeren za ponovno uporabo v jedrarnah za izdelavo jeder.



Predstavljeni so bili tudi rezultati testiranj iz Finske, Italije in Španije, kjer tehnologija že obratuje v industrijskem merilu, ter raziskave, izvedene v sodelovanju z univerzo TU Freiberg, Nemčija in raziskovalnim centrom Azterlan, Španija. Ti potrjujejo, da regenerirani pesek ohranja lastnosti, ki omogočajo ponovno uporabo brez negativnega vpliva na kakovost ulitkov.

Predstavljen je bil tudi njihov poslovni model »Sand as a Service (SaaS)«, pri katerem podjetje tehnologijo uporablja brez lastne investicije. Resand zagotovi in nadzoruje delovanje opreme, uporabnik pa plačuje le »najemnino« glede na količino obdelanega peska. Takšen model se je izkazal kot zelo privlačen predvsem za manjše livarne, ki želijo slediti trajnostnim smernicam in zmanjšati svoj ogljični odtis, ne da bi pri tem obremenile investicijski proračun.

V razpravi je bilo veliko pozornosti namenjene ekonomski in energetski učinkovitosti procesa. Regeneracija peska je sicer energetsko intenzivna, saj zahteva segrevanje na visoke temperature, pri čemer nastaja tudi določena količina odpadnega prahu, ki ga je treba ustrezno deponirati. Možnih je več implementacij tehnologije – enoto je mogoče postaviti neposredno v livarno ali pa se več livarn poveže v skupni regionalni center regeneracije, kjer bi se obdeloval odpadni pesek iz več obratov. Po mnenju udeležencev bi bila prav slednja rešitev zelo primerna za razmere v Sloveniji in na Hrvaškem, kjer prevladujejo manjše in srednje velike livarne.

V podjetju Kovis Livarna že eno leto uporabljamo mehansko regeneracijo peska drugega proizvajalca. Pred investicijo v to opremo smo letno deponirali tudi do 8.000 ton odpadnega peska, zato smo želeli najti rešitev, ki bi zmanjšala količino odpadkov in porabo primarnega materiala. Umestitev tehnologije v obstoječo proizvodnjo je bila precej zahtevna, saj smo morali uskladiti več področij – od izdelave jeder, do kakovosti krožeče bentonitne peščene mešanice brez kompromisa pri kakovosti ulitkov. Kljub začetnim izzivom se je implementacija izkazala za zelo pozitivno. Danes z regeneriranim peskom uspešno zmanjšujemo odpad in nadomeščamo do 50 % primarnega kremenčevega peska pri izdelavi cold-box jeder, brez kakršnih koli negativnih vplivov na kakovost ulitkov. Poleg tega recikliramo tudi del nastalega prahu in z njim uspešno nadomeščamo delež primarnega bentonitnega premiksa, s čimer dodatno prispevamo k materialni učinkovitosti. Iz izkušenj lahko zato trdimo, da se tehnologije regeneracije peska v praksi obnesejo in da so ključne za zmanjševanje količine odpadkov in izboljšanje snovne učinkovitosti. Za še izboljšanje tega, pa je potrebno v prihodnjih letih na državnem in širšem nivoju delati v smeri olajšanja birokratskih preprek in povečati možnosti uporabe livarskih odpadkov kot sekundarne surovine v drugih branžah.

Seminar je tako pokazal, da je področje regeneracije peskov eno ključnih razvojnih smeri sodobnega livarstva. Trajnostni pristopi niso več le zahteva evropske zakonodaje, temveč postajajo ekonomska nuja in konkurenčna prednost.

Med slovenskimi in hrvaškimi udeleženci je bilo čutiti močno zanimanje za nadaljnje testiranje in sodelovanje, saj tehnologija odpira konkretno pot do zmanjšanja odpadkov in emisij, predvsem pa omogoča prehod livarn v smer krožnega gospodarstva in "Zero Waste" proizvodnje.

Poročala:

Jan Poklič, Kovis-livarna d.o.o.

Anže Tekavčič, Kovis-Livarna d.o.o.

## AKTUALNO / CURRENT

### 3. World Foundry Summit – Svetovni livarski vrh

3. World Foundry Summit – Svetovni livarski vrh je že tretjič združil vodilne predstavnike in direktorje livarn z vsega sveta. Organizator tega livarskega dogodka, ki je potekal 2. in 3. oktobra letos v Franciji, v mestecu Chantilly pri Parizu, je bil WFO – World Foundry Organization ob podpori Association Technique de Fonderie – France. Društvo livarjev Slovenije, ki je članica WFO, se je tega livarskega dogodka udeležilo s tremi predstavnicami: Jerico Vranc, direktorico Kovis – livarne d. o. o., Simono Stegne Ceraj, direktorico Livarna Gorica d. o. o., in mag. Mirjam Jan-Blažič, predsednico Društva livarjev Slovenije. Dvodnevni dogodek je ponudil tehnične in predvsem strateško usmerjene predstavitve svetovno priznanih predavateljev. V nadaljevanju predstavljamo kratke predstavitve predavanj na tem livarskem dogodku.

**IKER JAMARDO ZUGAZA**, vrhovni vodja programskega inženirstva pri podjetju Google Inc., je predstavil predavanje pod naslovom **»Umetnost vodenja uspešnih inženirskih ekip«**

Poudaril, da se napredna raven vodenja ekipe po njegovem mnenju lahko zagotavlja s tem, da se določi karierna pot vodij, vlaga v njihovo usposabljanje, organizirajo redni forumi ekipe in sestanki z višjim nivojem vodstva (»skip-level meetings«). Enkrat letno naj bi se poglede in mnenja vodij pridobilo s posebno anketo. Ob tem naj bi se posluževali tudi posvetov s strokovnjaki za vodenje. Njegova ključna spoznanja so, da morajo managerji vlagati v svoje vodje oz. podrejene in jim zagotavljati spodbudno delovno okolje. Predavatelj je izpostavil tudi nekaj drugih izzivov, kot so spopadanje z manj uspešnimi sodelavci, odhodi zaposlenih in umetno inteligenco.

**CLAIRE KEVAN**, strokovnjakinja za livarstvo – tehnična podpora dobaviteljem Jaguar Land Rover (JLR), je predstavila zelo zanimivo predavanje pod naslovom

**»Življenje v livarnah: livarske napake, funkcionalnost in cena popolnosti«.**

Predavateljica povezuje ključni kazalnik uspešnosti (KPI-Key Performance Indicator) z izmetom. Poudarja, da je kazalnik izmeta kot delež odpadkov ali zavrženih kosov eno ključnih meril uspešnosti proizvodnje. Izpostavlja, da se je treba osredotočiti na delovanje in funkcionalnost in ne na popolnost. Nadalje prihodnost livarn vidi v zagotavljanju digitalizacije, vključevanju umetne inteligence ter nenehnem usposabljanju in ozaveščanju zaposlenih o vrednosti izmetnih ulitkov za aktivnosti v smeri nujne preobrazbe.

**BRUCE DIENST**, predsednik uprave Norican Group, in **SUSAN BEAR**, tehnična direktorica (CTO), Grede, sta predstavila predavanje pod naslovom **»Od podatkov do odločitev: kako se z IoT (medmrežjem) in umetno inteligenco oblikuje prihodnost proizvodnje«.**

Predavatelja ugotavljata, da livarska industrija doživlja prehod od ročnega dela k digitaliziranemu, podatkovno vodenemu

livarstvu in se ob tem srečuje predvsem z naslednjimi izzivi: pomanjkanjem usposobljenih delavcev, visokimi stroški dela ter izgubo znanja zaradi upokojitev. Na drugi strani pa umetna inteligenca prinaša večjo učinkovitost, produktivnost, trajnost in konkurenčnost. Primeri iz prakse (Condals, Morikawa, Atlantis Foundries) kažejo do 50 % manj izmeta in znatne prihranke. Podjetje Grede uvaja standardizirane sisteme (GPS, GQS, GSS) in IoT-rešitve za procese, vzdrževanje in logistiko. Ugotavljajo, da IoT in umetna inteligenca zmanjšujeta stroške vračil in izmeta ter povečujeta sledljivost in stabilnost proizvodnje. Poudarjata, da uspeh industrije 4.0 temelji na sodelovanju, odprtosti za spremembe, podpori vodstva in jasni digitalni strategiji.

**KRZYSZTOF SIKORA**, Desmi Group (danski poslovni sistem), je predstavil predavanje pod naslovom **»NEARSHORING – z vidika kupca«**.

Nearshoring ali vračanje proizvodnih podjetij z oddaljenih interkontinentalnih lokacij nazaj v Evropo oz. v bližnje sosednje države zaradi zmanjšanja tveganj in odvisnosti od oddaljenih trgov je postalo nujna in hkrati zahteven izziv za evropska podjetja. Glavna ovira pri prenosu proizvodnje so visoki začetni stroški. Predavatelj je analiziral sedanje realno stanje Evrope kot trga, ki se sooča z vrsto problemov in omejitev. Evidentna je gospodarska stagnacija, do katere je prišlo v obdobju 2021–2025, kar se kaže v manjšem povpraševanju po odličnih v vseh sektorjih. Zaradi naraščajočih stroškov je bilo doslej zaprtih več livarn, kar je povzročilo 26.000 odpuščenih delavcev. Azijski konkurenti prevladujejo s svojo cenovno konkurenčnostjo. Na drugi strani zahteve Bruslja (EU Green Deal in CBAM) evropskim podjetjem nalagajo velika dodatna bremena. Tu so še carine in logistične težave. Predavatelj ugotavlja,

da manevrskega prostora za nadaljnje zniževanje stroškov v teh pogojih ostaja bore malo. Prihodnost oz. obstoj livarstva vidi predvsem v tesnem sodelovanju s kupci, zaupanju, transparentnosti in tehničnem sodelovanju, saj ne gre zgolj za prodajo ulitkov, temveč za skrb za celovite rešitve, ki bodo v prihodnosti morale temeljiti veliko bolj na sodelovanju, prilagodljivosti in okoljskih izboljšavah. To je po njegovi oceni ključ do uspeha.

**MARTYN WHELPTON**, izvršni vodja razvoja, in **RUSSELL GRAY**, tehnični direktor, oba iz Letercast Foundry iz Velike Britanije, sta predstavila predavanje pod naslovom: **»Razvoj zasnove in livarskega postopka znamenite figure Bentley Flying B«**.

Predavatelja iz livarne Letercast Foundry sta predstavila celoten projekt oblikovanja in izdelave nove maske za Bentleyjev model Flying Spur, t. i. »Flying B« za znamenito figuro, ki krasi pokrov tega avtomobila. Gre za izdelavo zelo zahtevnega ulitka, ki se odliva po tehnologiji precizijskega litja. Podjetje Bentley Motors je podjetju Letercast Foundry naročilo povsem nov dizajn maske s popolnoma elektronskim izvlečnim mehanizmom, prosojnimi akrilnimi krili in, kot v prejšnji verziji, z notranjo osvetlitvijo ter s pokrovno ploščico, ki nadomesti masko, ko je ta shranjena. Projekt je potekal v številnih fazah načrtovanja skupaj z Bentleyjevimi inženirji, da bi zagotovili, da je komponento – ulito iz enega kosa nerjavnega jekla 316 – mogoče izdelati skladno s specifikacijami. Posebej zahtevna je bila izdelava zapletenega votlega notranjega kanala, skozi katerega potekata dve žici premera 1 mm, potrebni za osvetlitev znamenitega »Flying B«.

Simulacija polnjenja in ohlajanja kovine je bila izvedena že v zgodnji fazi projekta, da bi optimizirali zasnovo in zagotovili, da v končnem izdelku ne bo prišlo do krčenja. Šele nato so izdelali aluminijasta orodja za izdelavo voščenih modelov za postopek litja s voskom, vključno s pozicioniranimi pripomočki, ki omogočajo natančno postavitev keramičnih jeder za oblikovanje notranjih kanalov. Videli smo, kako so se voščeni modeli nato sestavili na »drevesa« skupaj z dovodnim sistemom, ki je ključen za pravilno vodenje taline v votlino kalupa. Sledil je natančen nanos keramične mase, sloj za slojem, pri čemer so se posamezne plasti sušile v komorah z nadzorovano klimo. Pojasnili so, da se vosek nato stali in odstrani s pomočjo parnega avtoklava, pri čemer se vosek zbere za recikliranje, keramične lupine pa se žgejo pri temperaturah do 1000 °C, da postanejo dovolj trdne za zadrževanje staljenega jekla med litjem. Po odstranitvi keramične lupine in mehanski ločitvi izdelka od dovodnega sistema sledita poliranje in končna montaža.

**CLOTILDE MACKE-BART**, CETIM, in **PIERRE-YVES BRAZIER**, ESFF, sta pripravila prispevek pod naslovom »**Kako tehnični napredek odgovarja na izzive livarstva v povezavi s francoskim magistrskim študijem livarstva in kovaštva**«.



Simulacija nove verzije figure Bentley Flying B

CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques) je francoski raziskovalno-tehnološki inštitut za strojno industrijo. Ustanovljen je bil z namenom povezovanja raziskav in industrije ter podpore podjetjem pri spremljanju tehnološkega razvoja, standardizaciji in uvajanju inovacij. Deluje na treh strateških področjih: digitalna preobrazba industrije, energetski in okoljski prehod ter obvladovanje tveganj in integritete sistemov. Zaposluje več kot 1100 strokovnjakov in združuje več kot 7000 članov iz industrije.

ESFF (École Supérieure de Fonderie et de Forge) je edina francoska inženirska šola, specializirana za livarstvo in kovaštvo. Deluje od leta 1924 in tesno sodeluje z industrijo ter drugimi akademskimi institucijami. Vsako leto izšola približno 30 novih inženirjev, kise skoraj vsi zaposlijo v manj kot mesecu dni.

CETIM in ESFF tvorita osrednji del francoskega inovacijskega in izobraževalnega ekosistema na področju livarstva, kovaštva in strojne industrije. Skupna vizija je povezovanje raziskav, izobraževanja in industrije z namenom pospeševanja tehnološkega razvoja, trajnosti in konkurenčnosti evropske proizvodnje. Njihovi glavni izzivi so tematsko vezani na naslednja področja: ohranjanje in prenos strokovnega znanja starejših generacij, privabljanje mladih v livarsko in kovinsko industrijo, prilagajanje digitalni in zeleni preobrazbi ter stalno prilagajanje hitrim spremembam na trgu dela in tehnologije. CETIM usmerja raziskave v digitalno metalurgijo, razvoj novih zlitin, trajnostno proizvodnjo, recikliranje materialov in optimizacijo procesov s pomočjo umetne inteligence in simulacij, ESFF pa zagotavlja praktično izobraževanje s sodobnimi industrijskimi orodji (Dassault, ESI, Transvalor) ter tesno sodeluje s podjetji prek raziskovalnih in



razvojnih projektov. Oba poudarjata pomen stalnega sodelovanja med industrijo in akademskim okoljem z vzpostavitvijo mreže, ki usklajuje tehnološki napredek, raziskave in razvoj novih znanj za prihodnost livarstva in kovaštva.

**JOSE JAVIER GONZALEZ**, generalni sekretar World Foundry Organization, je predstavil predavanje pod naslovom **»Globalna situacija v livarski industriji«**.

Predavatelj je navedel podatka, da je svetovna livarska proizvodnja v letu 2020 dosegla 195 milijard USD in da je pričakovati, da bo v prihodnje dosegla raven 250 milijard USD. Pri tem ugotavlja, da globalno okrevanje livarske industrije po pandemiji poteka počasneje od napovedi. Napovedi do leta 2025 se ne bodo uresničile, saj imajo na razvoj odločilen vpliv svetovna geopolitična situacija in na novo nastajajoči globalni trgovinski sistem, ki postajata resna ovira za nemoten razvoj svetovne proizvodnje in livarske dejavnosti. Livarsko industrijo močno zaznamujejo globalne odločitve, ki jih morajo na mednarodni ravni budno spremljati managerji livarskih podjetij. Za vodenje podjetij je treba črpati iz najboljših svetovnih praks. Za managerje sta danes dobičkonosnost in dostop do delovne sile dva ključna izziva, ob tem pa posebej izstopa okoljevarstvena problematika. Livarne majo ključno vlogo pri globalnem razogljičenju, saj so ulitki bistveni del infrastrukture gospodarstva z ničelnimi emisijami. Načrtovano povečanje deleža obnovljivih virov energije v številnih regijah pomeni tudi večje potrebe po ulitkih. Livarne morajo sodelovati v partnerstvih ter biti prisotne povsod tam, kjer se oblikujejo in sprejemajo energetske, industrijske in trgovinske politike, ki morajo biti sprejemljive in dosegljive za livarstvo. To je zelo pomembno, saj je livarska industrija

od strateškega pomena za svetovno proizvodnjo.

**WITOLD DOBOSZ**, Odlewnicza Izba Gospodarcza (Poljska livarska gospodarska zbornica), je predstavil predavanje pod naslovom **»CBAM – njegov vpliv na svetovno livarsko industrijo«**.

Iz predstavljenega predavanja povzemamo naslednje ugotovitve: CBAM – Carbon Border Adjustment Mechanism (mehanizem za ogljično prilagoditev na mejah) ali pomensko »ogljčna carina« – je predpis Evropske unije, ki uvaža ogljično dajatev na uvožene izdelke iz držav zunaj EU, če ti izdelki prihajajo iz proizvodnje z višjimi emisijami CO<sub>2</sub> kot v EU. Namenski cilji tega predpisa so preprečiti »ogljčni odliv« (carbon leakage), torej selitev proizvodnje v države z manj strogimi okoljskimi pravili, zaščititi evropsko industrijo, ki že plačuje ceno za svoje emisije CO<sub>2</sub> v okviru sistema EU ETS (trgovanje z emisijami), in spodbuditi tretje države k zmanjšanju svojih emisij. »Ogljična carina« naj bi bila namenjena izenačitvi konkurenčnih pogojev med evropskimi in tujimi proizvajalci ter spodbujanju globalnega razogljičenja. Za livarska podjetja pa uveljavitev tega predpisa EU pomeni dodatno delo in dodatne stroške, saj je treba ob uvozu v EU poročati o vsebovanih emisijah CO<sub>2</sub> v določenih izdelkih. Od leta 2026 se bodo za te emisije morali kupovati CBAM-certifikati, katerih cena bo povezana s ceno emisij v sistemu EU ETS. Ostali vplivi predpisa CBAM na livarska podjetja so naslednji:

- uvozniki jekla, železa in aluminijevih surovin bodo plačevali višje cene zaradi ogljične dajatve, ki se zaračunava glede na vsebovane emisije ogljika v okviru mehanizma CBAM,
- podjetja zunaj EU, ki izvažajo v EU, morajo v prehodnem obdobju meriti in poročati o svojih neposrednih in

posrednih emisijah; v končni fazi, da bi se izognila plačilu ogljične dajatve, so podjetja spodbujena k uvajanju okolju prijaznejših proizvodnih postopkov in uporabi materialov z nižjimi emisijami ogljika, kar krepi inovativnost v sektorju,

- zahteve glede skladnosti bodo povzročile spremembe v globalnih dobavnih verigah; kupci v EU bodo vse pogostejše zahtevali izdelke z nižjim ogljičnim odtisom, livarne zunaj EU pa se bodo morale tem zahtevam prilagoditi,
- cilj CBAM-a je ustvariti pravičnejše konkurenčno okolje z uvedbo stroškov ogljika tudi za uvoz iz držav, ki nimajo podobnih sistemov obdavčitve emisij, ter tako preprečiti t. i. »ogljiki odliv« (carbon leakage),
- livarne morajo vzpostaviti sisteme za natančno spremljanje in poročanje o emisijah; to predstavlja velik izziv, vendar je ključno za skladnost in izogibanje kaznim,
- livarne v EU, ki uporabljajo ali proizvajajo železo, jeklo ali aluminij, se soočajo z višjimi stroški uvoženih surovin zaradi cene ogljika. Cilj ukrepa je spodbuditi naložbe v tehnologije z nizkimi emisijami in trajnostne dobavne verige, da bi podjetja ohranila konkurenčnost in izpolnila zahteve EU glede ogljičnega poročanja in cen emisij.

**SHIAFONG YIN**, University of Southern California (ZDA), je predstavila predavanje pod naslovom **»Od boljših ulitkov do boljšega poslovanja: kaj imajo skupnega agenti umetne inteligence, kardinal Richelieu in Benedict Cumberbatch«**.

Osrednje mesto v tem predavanju je predavateljica namenila umetni inteligenci (UI) kot orodju za izboljšanje poslovanja v livarnah. To usmeritev utemeljuje z mislijo, da gre za prehod »od boljših ulitkov«

k »boljšemu poslovanju«. Uvodoma je predstavila nekaj prispodob in mejnikov v preteklem razvoju UI. Z metaforo je povezala UI in kardinala Richelieua, ki je živel v 17. stoletju in je bil znan po svoji sposobnosti zbiranja informacij, strateškega načrtovanja in subtilnega upravljanja oblasti. Kot osebni svetovalec, strateški mislec in analitik je deloval podobno kot UI – iz ogromne količine podatkov (»informacijskega dvora«) je bil sposoben izluščiti najboljše poteze za vpliv in vodenje. Izraz »Cardinal Rich-bot« simbolizira idejo o osebnem UI-svetovalcu, ki deluje podobno kot Richelieu – razume kontekst, predvideva posledice in svetuje pri strateških odločitvah. Omenila je, da je leta 1950 Alan Turing zastavil vprašanje »Ali lahko stroji razmišljajo?«. Obdobje od leta 1980 do 2000 označuje kot čas razvoja učenja na podlagi izkušenj, digitalizacije in senzorike. Leta 2022 prihaja do generativne in t. i. agentne umetne inteligence (ChatGPT, Copilot ipd.), ki deluje brez potrebe po infrastrukturi v oblaku.

V nadaljevanju je predstavila podatke o vplivu digitalizacije na podjetja, in sicer:

- podjetja z digitalnimi zmogljivostmi imajo 10–16 % večji prihodkovni donos na zaposlenega,
- učinkovito digitalno vodenje poveča finančni izid za dodatnih 9 %,
- skupni učinek digitalizacije in dobrega vodenja lahko zagotavlja do 26 % boljši finančni rezultat.

Predstavila je tudi pogoje za uspešno uvedbo UI, ki so po njeni oceni naslednji

- odločitev in polna podpora morata izhajati s strani vodstva (top-down)
- potrebna je digitalna infrastruktura in ustrezno upravljanje podatkov
- treba je upoštevati postopen pristop – najprej povečanje učinkovitosti obstoječih procesov (OEE – Overall Equipment Effectiveness)
- učenje mora potekati skozi prakso, ne

le teoretično.

Nadaljevala je s predstavitvijo možnih ovir, ki se lahko pojavijo pri uvajanju UI:

- slaba kakovost in razdrobljenost podatkov, •pomanjkanje znanja in tihi odpor zaposlenih,
- težave pri dokazovanju donosnosti naložb (ROI – Return on Investment),
- izzivi upravljanja sprememb in etike umetne inteligence.

Predstavila je tudi učinke uporabe UI v strategiji: •hitrejše in podatkovno podprte odločitve (v tednih namesto mesecih), •analiza tisočih scenarijev namesto le nekaj, •napovedno in konsistentno upravljanje tveganj.

V zaključku navaja, da so glavna področja uporabe UI danes v industriji in livarnah pri nadzoru kakovosti, optimizaciji procesov ter napovednem vzdrževanju. Lahko pa UI deluje tudi kot »poslovni agent«, tj. orodje za strateško načrtovanje, inovacije in konkurenčno prednost. Svet vstopa v t. i. šesti val inovacij – najhitrejši v zgodovini človeštva – in zato smo priča izjemno hitremu spreminjanju tehnologij. Razumevanje sprememb s strani zaposlenih je danes ključen izziv, učenje, sodelovanje in prilagajanje pa so temelji uspeha v tej novi dobi.

**KOEN MELIS**, Melt Cast BV (Nizozemska), je predstavil predavanje pod naslovom **»Od peči do digitalne platforme: kako se livarne na novo preoblikujejo«**.

Predavatelj prihaja iz livarne Melt Cast BV, ki se je iz tradicionalne družinske livarne preoblikovala v sodobno podjetje, temelječe na digitalizaciji in novi poslovni viziji. Predstavil je ključne izzive te preobrazbe, pri katerih tehnologija ni bila najtežji problem, temveč zaposleni, ki nove kulture

in prilagoditev novim potrebam podjetja ter procesom dela niso takoj sprejeli kot svojih. Podjetje se je moralo prilagoditi povpraševanju po manjših serijah in hitrejših dobavah, hkrati pa je evropski poudarek na trajnosti, razogljičenju in krožnem gospodarstvu razumelo kot novo priložnost za nadaljnjo rast. Kot primer dobre prakse je omenil Nizozemske železnice, kjer so našli novo tržno nišo – proizvodnjo rezervnih delov za starejše vlake, za katere originalni dobavitelji ne obstajajo več. Naredili so digitalno rekonstrukcijo in izdelali nove dele s posebno tehnologijo v kombinaciji z litjem. S tem so zagotovili manj izpadov v železniškem prometu, daljšo življenjsko dobo delov ter prispevali h krožnemu gospodarstvu. V livarni so uvedli naslednji trojni pristop:

- digitalizacijo livarne, ki vključuje digitalizacijo dela in 3D-modeliranje kot temelj preživetja in rasti,
- platformo CastLab – uporabo obratnega inženiringa in hitrega prototipiranja za hitro dobavo delov,
- orodje MetalLabs – umetno inteligenco za pomoč pri odločitvah med litjem, 3D-tiskom, strojno obdelavo ali njihovo kombinacijo.

Osnovni cilj, ki so si ga zastavili, je kupcem omogočiti izbiro optimalnih proizvodnih rešitev glede na stroške, ogljični odtis in krožnost, kar se na ta način v celoti uresničuje. V zaključku je predavatelj izrekel naslednjo misel: **»Včasih je bila talilna peč srce industrije, danes pa moč prihodnosti leži v povezovanju umetne inteligence in digitalnih platform.«**

**Zgoraj na kratko predstavljena predavanja so v obliki PowerPoint-predstavitev na voljo v pisarni Društva.**



(iz leve proti desni) dr. Katarzyna Liszka - generalna sekretarka STOP in izvršilna sekretarka WFO, Jose Javier Gonzales – generalni sekretar WFO, mag. Mirjam Jan-Blažič – predsednica Društva livarjev Slovenije, Simona Stegne Ceraj – direktorica Livarne Gorica d.o.o., Jerica Vranc – direktorica Kovis-livarne d.o.o., Andrew Turner – izvršni sekretar WFO

3. World Foundry Summit – Svetovni livarski vrh je znova potrdil svoj ugled kot osrednji globalni dogodek, namenjen povezovanju vodilnih predstavnikov livarske industrije, izmenjavi strateških pogledov ter iskanju odgovorov na ključne izzive, s katerimi se sooča svetovno livarstvo. Dogodek je s svojo mednarodno udeležbo in izjemno kakovostnimi predavanji ponudil vpogled v sodobne trende, med katere nedvomno sodijo digitalizacija, umetna inteligenca, trajnostni razvoj ter preoblikovanje poslovnih modelov v smeri večje učinkovitosti in okoljske odgovornosti. Vrh je hkrati opozoril na nekatere ključne strateške izzive – od pomanjkanja kadrov in prenosa znanja med generacijami do vpliva globalnih regulativ in gospodarskih razmer na konkurenčnost evropskega livarstva. Predavatelji so pokazali, da prihodnost industrije temelji na povezovanju, inovativnosti in pripravljenosti na spremembe. Za predstavnike Društva livarjev Slovenije je bila udeležba na dogodku dragocena priložnost za pridobivanje novih spoznanj, utrjevanje mednarodnih povezav in iskanje možnosti za sodelovanje pri prihodnjih projektih. Mreženje z vodilnimi strokovnjaki in direktorji livarn je omogočilo dragocene stike, ki bodo pomembni tudi pri oblikovanju prihodnjih vsebin za *Livarski vestnik* ter pri povabilih novih predavateljev in udeležencev na konferenci v Portorožu. Dogodek je ponovno dokazal, da ima svetovno livarstvo, kljub številnim izzivom, jasno vizijo prihodnosti: takšno, ki temelji na znanju, sodelovanju, inovacijah in odgovornem ravnanju z okoljem.

Poročala:  
Mag. Mirjam Jan-Blažič



## AKTUALNO / CURRENT

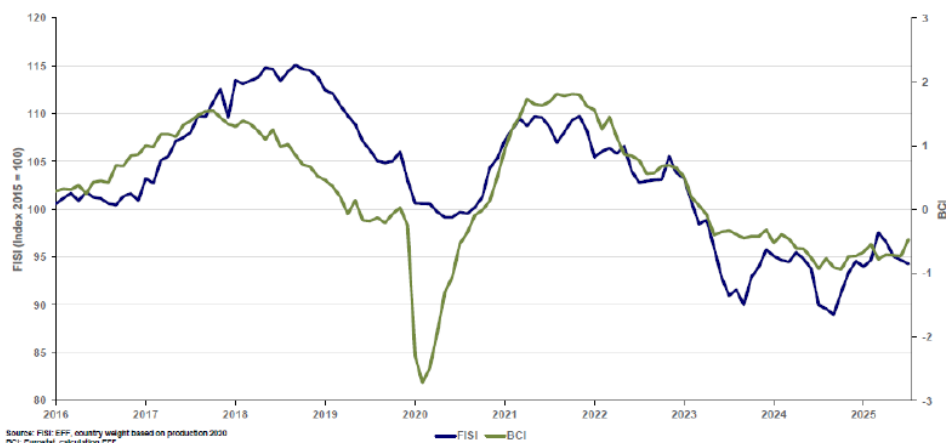
## Evropski indeks sentimenta livarske industrije (FISI) oktobra 2025

Evropski indeks sentimenta livarske industrije (FISI), ki ga mesečno objavlja Evropska livarska federacija, se je oktobra 2025 znižal za 0,4 točke in dosegel raven 94,3 točke. V livarnah sive in nodularne litine pa se je oktobra 2025 indeks zvišal za 0,1 točke, na vrednost 96,1 (v primerjavi z vrednostjo 96,0 septembra 2025). Upoštevajoč pričakovanja za naslednjih šest mesecev so ocene rahlo negativne. Indeks naj bi se znižal za 0,8 točke in dosegel vrednost 85,0.

V evropskih jeklnah je FISI oktobra 2025 zabeležil porast za 1,0 točko v primerjavi s septembrskimi podatki in dosegel 76,6 točke. Tudi v industriji litega železa so pričakovanja za naslednjih šest mesecev negativna. Dosežena vrednost indeksa pričakovanj znaša 99,5, kar pomeni zmanjšanje za 1,3 točke v primerjavi s podatki iz septembra 2025.



**European Foundry Industry Sentiment Indicator (FISI) and  
Business Climate Indicator Euro Area (BCI)  
October 2025**



Graf je priložen oziroma dostopen skupaj z dodatnimi informacijami na [eff-eu.org](http://eff-eu.org).

Evropske livarne neželezovih kovin so oktobra 2025 zabeležila porast indeksa za 0,5 točke, kar pomeni, da je indeks dosegel vrednost 132,6. Tako kot v livarnah sive litine in jeklolitine se je indeks pričakovanj za naslednje polletje znižal za 1,7 točke in znaša 147,9.

Indeks poslovne klime (BCI), ki ga objavlja Evropska komisija, je oktobra 2025 dosegel vrednost -0,47, kar je izboljšanje glede na prejšnji rezultat -0,73 septembra 2025.

Indeks predelovalnih dejavnosti v euroobmočju (PMI) je oktobra 2025 dosegel raven 50,0, kar je povečanje za 0,2 točke v primerjavi s 49,8 septembra 2025.

Indeks FISI – *European Foundry Industry Sentiment Indicator* – je najzgodnejši razpoložljivi sestavljeni kazalnik, ki zagotavlja informacije o rezultatih evropske livarske industrije. EFF ga objavlja vsak mesec, temelji pa na anketnih odgovorih evropske livarske industrije. Članice EFF ocenjujejo trenutno poslovno situacijo v livarskem sektorju in podajajo pričakovanja za naslednjih šest mesecev.

Indeks BCI – *Business Climate Indicator* – je kazalnik, ki ga objavlja Evropska komisija. Mesečno ocenjuje razvojne pogoje v predelovalnem sektorju evroobmočja in uporablja pet bilanc mnenj iz industrijske ankete: proizvodne trende, stanje naročil, izvozna naročila, zaloge in proizvodna pričakovanja.

Indeks PMI (*Purchasing Managers' Index*) v evroobmočju je kazalnik gospodarskega zdravja predelovalnega sektorja. Temelji na kazalnikih, kot so nova naročila, raven zalog, proizvodnja, dobave dobaviteljev in razmere na področju zaposlovanja.

EFF je krovna organizacija nacionalnih evropskih livarskih združenj. Organizacija, ustanovljena leta 1953, združuje 22 evropskih držav članic in deluje za spodbujanje gospodarskih, tehničnih, pravnih in socialnih interesov evropske livarske industrije. Hkrati EFF izvaja dejavnosti za razvoj nacionalnih livarskih industrij ter usklajevanje njihovih skupnih mednarodnih interesov. Generalni sekretariat ima sedež v Düsseldorfu od leta 1997.

EFF predstavlja 4.400 evropskih livarn. Skoraj 260.000 zaposlenih ustvari 39 milijard evrov prihodkov. Evropske livarne zaposlujejo 20.000 delavcev in inženirjev na leto. Glavne odjemalske industrije so avtomobilska, splošno strojništvo, gradbena industrija ter elektroindustrija. Ni industrijskega sektorja, ki ne bi uporabljal ulitih komponent.

Več informacij je na [eff-eu.org](http://eff-eu.org) in na LinkedIn strani EFF.

Kontakt EFF:

Witold Dobosz

EFF – European Foundry Federation

E-pošta: [info@eff-eu.org](mailto:info@eff-eu.org)

Povzela iz informacije za javnost EFF:  
mag. Mirjam Jan-Blažić

**AKTUALNO / CURRENT**

## **Poročilo iz sej Izvršnega odbora in Občnega zbora Društva livarjev Slovenije**

Dne 25. novembra 2025 sta na gradu Strmol v Cerkljah na Gorenjskem potekala naprej seja izvršnega odbora (IO) in takoj za tem volilni Občni zbor Društva livarjev Slovenije (v nadaljevanju Društvo).

Na dnevnem redu Izvršnega odbora so bile naslednje točke:

1. Pregled in potrditev zapisnika 46. redne seje Izvršnega odbora.
2. Določitev volilne liste za vse nove organe Društva (predsednik, dva podpredsednika, Izvršni odbor, Nadzorni odbor, Častno razsodišče) za obdobje 2025-2029.
3. Program dela Društva v obdobju 2025-2029.
4. Sklep o imenovanju strokovnega tajnika Društva za obdobje 2025-2029.
5. Poročilo o realizaciji 65. IFC Portorož 2025.
6. Razno.

Na dnevnem redu volilnega Občnega zbora pa so bile naslednje točke:

1. Otvoritev volilnega Občnega zbora in izvolitev delovnega predsednika.
2. Potrditev dnevnega reda volilnega Občnega zbora.
3. Izvolitev delovnih teles volilnega Občnega zbora:
  - a. Verifikacijska komisija
  - b. Volilna komisija
  - c. Dva overovitelja zapisnika
4. Določitev kandidatne liste za vse organe Društva livarjev Slovenije v mandatnem obdobju 2025-2029 in volitve le-teh.
5. Program dela Društva livarjev Slovenije za mandatno obdobje 2025-2029.
6. Razno.

Osrednje točke dnevnega reda IO in OZ so se nanašale na kadrovske zadeve in programske usmeritve za novi mandat organov Društva 2025 do 2029.

V kandidacijskem postopku, ki je trajal od aprila letos do 24. 11. 2025, so prispeli predlogi kandidatov za vse organe Društva. IO je sestavil in potrdil kandidacijsko listo za volitve na Občnem zboru, katero je Občni zbor sprejel in jo kot volilno listo potrdil.

Kandidatka za predsednico Društva, mag. Mirjam Jan-Blažič je predstavila okvirni program Društva za mandatno obdobje 2025–2029, tako na IO kot OZ.

Glede na finančne vire in iz teh možno kadrovsko zasedbo bo Društvo v svoje letne programe vključevalo vse dosedanje aktivnosti in sicer:

- Izdajo livarske revije Livarski vestnik,
- Sodelovanje skozi mednarodno izmenjavo Livarskega vestnika z domačimi in tujimi sorodnimi strokovnimi revijami
- Organiziranje 5–6 seminarjev letno doma ali na tujem
- Organizacija osrednje vsakoletne livarske konference in razstave v Portorožu



Delegati Občnega zbora na gradu Strmol

- Zagotavljanje pogojev za delovanje Društva po Zakonu o nevladnih organizacijah kot Društva, ki deluje v javnem interesu na področju znanstveno-raziskovalne dejavnosti
- Vključevanje v projekte Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) za sofinanciranje Livarskega vestnika in drugih programov
- Priprava letne statistike livarske proizvodnje Slovenije za EFF - Evropsko livarsko federacijo in WFO – svetovno livarsko organizacijo.
- Posodobitev spletne strani, vključitev v družbena omrežja, digitalizacije poslovanja in umetne inteligence
- Sodelovanje z livarskimi društvi in združenji ter drugimi znanstvenimi in strokovnimi institucijami doma in po svetu (univerze, inštituti, gospodarske zbornice)

IO in OZ sta bila enotna, da bi se Društvo moralo bolj aktivno vključevati v teh zahtevnih gospodarskih časih s pobudami članic direktno ali preko Gospodarske zbornice Slovenije do državnih organov v primerih priprave nove zakonodaje in implementacije le-te. V letošnjem letu se celotno slovensko livarstvo sooča z novimi zaključki BAT, ki jih je Evropska komisija uradno objavila konec novembra 2024, in ti uvajajo bistveno strožje okoljske standarde na področju emisij v zrak, porabe energije, ravnanja z odpadki in odpadnimi vodami. Zaključki BAT so za emisije v zraku in vode pravno zavezujoče za vse naprave, ki povzročajo industrijske emisije. Jasno je, da tem zahtevam livarne ne bodo mogle slediti, ker ne bodo zmogle toliko dodatnih investicij do leta 2028.



mag. Mirjam Jan-Blažič,  
nova/stara predsednica  
Društva



Drugi osrednji problem slovenskih livarn so cene električne energije. Livarne bi morale pridobiti status elektointenzivnih podjetij in na tej podlagi pridobiti pravico do subvencije, ki bo možna po Zakonu o spodbujanju konkurenčnosti elektointenzivnih podjetij, ki je v pripravi. Meja letne porabe na 15 GWh, ki je v predlogu Zakona previsoko postavljena za livarne.

Občni zbor se je odločil, da organe Društva za novo mandatno obdobje 2025-2029 izvoli z javnim glasovanjem. Soglasno so bili sprejeti naslednji organi Društva:

1. Predsednica: mag. Mirjam Jan-Blažič
2. Podpredsednik/-ica: prof. dr. Primož MRVAR, Jerica VRANC
3. Člani oziroma IO v sestavi: mag. Drago BRENCE, dr. Matej DROBNE, mag. Andrej MEGUŠAR, Igor SKOK, Janko ČEVKA, Brane RUS, Anton SERIANZ, Andrej RESNIK, dr. Stanislav KORES, prof. dr. Ivan ANŽEL
4. Člani oziroma Nadzorni odbor v sestavi: Simona STEGNE CERAJ, Aleksander FERJANČIČ, dr. Valter GRUDEN
5. Člani oziroma Častno razsodišče v sestavi: Bojan DAMJANOVIČ, Boštjan VODOPIVEC, Marija GABOR



Kosilu ob koncu volilnega Občnega zbora

Skladno s pristojnostmi je IO potrdil za naslednje štiriletno obdobje dr. Sebastjana Kastelica za strokovnega tajnika Društva.

Poročilo 65. IFC Portorož 2025, ki je bilo tudi na dnevnem redu Izvršnega odbora v tem prispevku ne bomo obravnavali, ker smo o le-tem podrobno pisali že v Livarskem vestniku št. 3/2025.

Koristim to priložnost, da se iskreno zahvalim za izkazano zaupanje ob ponovni izvolitvi za predsednico Društva, v imenu Društva livarjev Slovenije in v svojem imenu ter v imenu vseh udeležencev Izvršnega odbora in Občnega zbora se iskreno zahvaljujem tudi podjetju Exoterm-IT d.o.o. za izjemno gostoljubje in odlično organizacijo izvedbe seje Izvršnega odbora in Občnega zbora. Bili smo deležni profesionalnega in toplega sprejema v čudovitem okolju gradu Strmol, kjer so bili ustvarjeni odlični pogoji za konstruktivne razprave in sklepe, kar je prispevalo k uspešni izvedbi obeh organov Društva.

**Poročala:**

mag. Mirjam Jan-Blažič

## AKTUALNO / CURRENT

### Livarske prireditve 2025/26

| Datum dogodka             | Ime dogodka                              | Mesto in država            |
|---------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 12. 12. 2025              | Polish Foundry Day                       | Krakov, Poljska            |
| 13. – 15. 01. 2026        | Euroguss 2026                            | Nürnberg, Nemčija          |
| 13. – 15. 01. 2026        | 25. Druckgusstag                         | Nürnberg, Nemčija          |
| 23. – 24. 04. 2026        | 68. Österreichische Gießereitagung       | Gurten, Avstrija           |
| 19. – 22. 05. 2026        | 68. International Technical Fair         | Beograd, Srbija            |
| 09. – 11. 06. 2026        | CastForge 2026                           | Stuttgart, Nemčija         |
| <b>16. – 18. 09. 2026</b> | <b>66<sup>th</sup> IFC Portoroz 2026</b> | <b>Portoroz, Slovenija</b> |
| 18. – 24. 10. 2026        | 76th World Foundry Congress              | Istanbul, Turčija          |





**DRUŠTVO LIVARJEV  
SLOVENIJE**

Vabilo za

**66. IFC PORTOROŽ 2026**

z livarsko razstavo

**16. - 18. SEPTEMBER 2026**

**Kontakt: DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE,**  
Lepi pot 6, p.p. 424, 1001 Ljubljana  
T: +386 1 2522 488, [drustvo.livarjev@siol.net](mailto:drustvo.livarjev@siol.net), [www.drustvo-livarjev.si](http://www.drustvo-livarjev.si)

**AKTUALNO / CURRENT****Vodstvo in organi Društva livarjev Slovenije  
za mandatno obdobje 2025 - 2029**

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Predsednica:              | mag. Mirjam JAN-BLAŽIĆ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Podpredsednik:            | prof. dr. Primož MRVAR, Univerza v Ljubljani                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Podpredsednica:           | Jerica VRANC, KOVIS-LIVARNA d.o.o.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Člani Izvršnega odbora:   | mag. Drago BRENCÉ, Livarna Titan d.o.o.<br>dr. Matej DROBNE, Valji d.o.o.<br>mag. Andrej MEGUŠAR, Iskra ISD d.o.o.<br>Igor SKOK, ETA Cerkno d.o.o.<br>Janko ČEVKA, Exoterm d.d.<br>Brane RUS, LTH Castings d.o.o.<br>Anton SERIANZ, Termit d.d.<br>Andrej RESNIK, OMCO Metals Slovenija d.o.o.<br>dr. Stanislav KORES, Talum d.d., PE Ulitki<br>prof. dr. Ivan ANŽEL, Univerza v Mariboru |
| Člani Nadzornega odbora   | Simona STEGNE CERAJ, Livarna Gorica d.o.o.<br>Aleksander FERJANČIČ, Living d.o.o.<br>dr. Valter GRUDEN, Hidria d.o.o.                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Člani Častnega razsodišča | Bojan DAMJANOVIČ, EKW-Kremen d.o.o.<br>Boštjan VODOPIVEC, Mahle Electric Drives Komen d.o.o.<br>Marija GABOR, Croning livarna d.o.o.                                                                                                                                                                                                                                                      |