

Hibridna in digitalna proizvodnja jeder: Pogled v prihodnost

Hybrid and digital core production: A look into the future

Povzetek

Prihodnost proizvodnje jeder bo hibridna, digitalna in učinkovitejša. V tem vizionarsko naravnem članku je predstavljen pogled v prihodnost razvoja livarske industrije zaradi vse večjih zahtev po prilagodljivosti, kakovosti in trajnosti. Vključevanje digitalnih tehnologij in dodatnih postopkov, ki presega tradicionalno proizvodnjo, odpira nove razsežnosti v proizvodnji jeder.

Avtorja predstavljata hibridni model, pri katerem se proizvodnja jedra lahko izvaja v podjetju, aditivno s 3D-tiskanjem ali pa se v celoti odda v zunanje izvajanje – odvisno od geometrije jedra, velikosti serije in strateških zahtev. To prilagodljivo nastavitve podpirajo pametna uporaba podatkov, avtomatizacija in napredna simulacija procesov, ki omogočajo spremljanje v realnem času ter ciljno usmerjen nadzor stroškov in emisij.

Prehod z organskih na anorganska veziva je obravnavan kot odziv na strožje okoljske predpise, medtem ko nadzorni sistemi s podporo umetne inteligence in avtomatizirana logistika zmanjšujejo ročno delo in izboljšujejo zanesljivost postopkov. Popolnoma avtomatizirani sistemi so sposobni izdelati kompleksna jedra v najkrajšem cikličnem času, s tem pa je na voljo vpogled v potencial livarn naslednje generacije.

Ta članek ne ponuja le tehničnega pregleda, temveč tudi strateški pogled na to, kako se lahko obdelava jeder popolnoma preoblikuje z združitvijo znanja na področju izvedbe, digitalnih inovacij in prilagodljive avtomatizacije s ciljem izpolniti zahteve proizvodnje ulitkov v prihodnosti.

Ključne besede: hibridna proizvodnja jedra, digitalizacija v livarnah, 3D-tiskanje s peščenimi formami, avtomatizacija procesov v livarnah

Abstract

The future of core production will be hybrid, digital, and more efficient. This visionary article outlines a forward-looking perspective on how the foundry industry is evolving in response to increasing demands for flexibility, quality, and sustainability. Moving beyond traditional manufacturing, the integration of digital technologies and additive processes opens up new dimensions in core production.

The authors present a hybrid model where core production can be conducted in-house, additionally via 3D printing, or outsourced entirely — depending on the core geometry, lot size, and strategic requirements. This flexible setup is supported by smart data use, automation, and advanced process simulation, enabling real-time monitoring and targeted cost and emission control.

The transition from organic to inorganic binder systems is explored as a response to tightening environmental regulations, while AI-supported control systems and automated logistics reduce manual effort and improve process reliability. Fully automated systems are

shown to be capable of producing complex cores within the shortest cycling times, offering a glimpse into the potential of next-generation foundries.

This article offers not just a technical overview, but a strategic outlook on how core shops can reinvent themselves — blending craftsmanship, digital innovation, and scalable automation to meet the demands of tomorrow's casting production.

Keywords: hybrid core production, digitalization in foundries, 3D sand printing, process automation in foundries

1 Uvod

Proizvodnja peščenih jeder v livarski industriji se je skozi desetletja nenehno razvijala in doživela številne tehnološke preboje. Pot je bila dolga – od prve ročne uporabe sistemov na osnovi vodnega stekla [1] v preprostih lesenih jedrovnikih do mehaniziranih postopkov, kot je postopek croning s peskom, prevlečenim s smolo [2], [3]. Uvedba polnjenja jeder leta 1949 s Hansbergovim patentom [4] je pomenila mejnik, ki je revolucionarno spremenila industrijsko proizvodnjo. Danes so za industrijsko proizvodnjo jeder značilni najsodobnejši sistemi veziv, vključno s postopki vročega in hladnega strjevanja ter anorganskimi tehnologijami in avtomatizirani postopki. Kljub temu napredku pa je ročna proizvodnja še vedno nepogrešljiva pri nižnjih aplikacijah, kot je litje velikih ulitkov ali maloserijska proizvodnja.

Proizvodnja peščenega jedra je osnova številnih livarskih aplikacij. To je bistvenega pomena za kompleksne geometrije in zelo natančne komponente za panoge, kot so avtomobilska, strojna, letalska in vesoljska industrija. V preteklosti je mehanizirana proizvodnja peščenih jeder poleg stroškovne učinkovitosti zagotavljala tudi zanesljivost, ki je ročni postopki niso mogli doseči. Vendar je za soočanje z današnjimi izzivi, kot so trajnost, ohranjanje virov in stroškovni pritisk, potrebna sprememba paradigme: kombinacija tradicionalnih tehnik z najsodobnejšo tehnologijo.

1 Introduction

The production of sand cores in the foundry industry has developed continuously over the decades and experienced numerous technological breakthroughs. It was a long way from the early manual use of water glass-based systems [1] in simple wooden core boxes to mechanized processes such as the Cronging process with resin-coated sand [2], [3]. The introduction of core shooting in 1949 with Hansberg's patent [4] marked a milestone that revolutionized industrial production. Today, state-of-the-art binder systems - including hot and cold curing processes as well as inorganic technologies - and automated processes characterize industrial core production. However, despite these advances, manual production remains indispensable in niche applications such as large-scale casting or small-batch production.

Sand core production forms the backbone of many foundry applications. It is essential for complex geometries and high-precision components that are in demand in industries such as automotive, mechanical engineering, and aerospace. Historically, the mechanized production of sand cores offered not only cost efficiency but also a reliability that manual processes could not match. However, in order to meet today's challenges, such as sustainability, resource conservation, and cost pressure, a paradigm shift is needed: the combination

2 Kaj pomenita hibridizacija in digitalizacija jedrarne prihodnosti?

Hibridna proizvodnja omogoča livarnam prilagodljivost pri izpolnjevanju zahtev spreminjajočega se trga. Cilj je proizvajati visokokakovostne izdelke ob hkratnem ohranjanju virov in zmanjševanju stroškov na enoto. S tem pristopom se podjetja na podlagi svojega posebnega portfelja izdelkov odločijo, katera jedra je treba izdelati s tradicionalnimi metodami, katera z dodatnimi postopki in katera kot storitev pridobiti od zunanjih ponudnikov (»jedro kot storitev«).

Za utemeljitev teh odločitev so bistvene zanesljive podlage za izračun. Digitalni sistemi, ki so popolnoma vključeni v obstoječe sisteme, omogočajo hitro določanje natančnih podatkov. Rešitve, kot je programska oprema Laempe Digital Cockpit, združujejo obratovalne podatke, jih analizirajo in vizualno prikazujejo v realnem času. Tako lahko podjetja ne le spremljajo učinkovitost celotnega obrata (»OEE«), temveč tudi zgodaj prepoznajo možnosti za optimizacijo. Spremljanje v realnem času omogoča takojšnje posredovanje, zlasti v primeru napak, kar je očitna izboljšava v primerjavi s tradicionalno analizo ob koncu cikla.

Digitalizacija ne prinaša le operativnih prednosti, temveč tudi strateške priložnosti. S sistematičnim beleženjem empiričnih vrednosti lahko podjetja dolgoročno optimizirajo in ustvarijo bazo znanja, ki presega znanje posameznih zaposlenih. To ne zagotavlja le kontinuitete, temveč tudi spodbuja inovacije in večjo učinkovitost.

of traditional techniques with state-of-the-art technology.

2 What does hybridization and digitalization mean in the core shop of the future?

Hybrid production gives foundries the flexibility they need to adapt to the requirements of a changing market. The aim is to produce high-quality products while conserving resources and minimizing unit costs. With this approach, companies decide, based on their specific product portfolio, which cores should be produced using traditional methods, which should be manufactured using additive processes and which should be sourced from external providers as a service ("core as a service").

Reliable calculation bases are essential for these decisions to be well-founded. Digital systems that are seamlessly integrated into existing systems allow precise data to be determined quickly. Solutions such as the Laempe Digital Cockpit bundle operate on data, analyze it, and display it visually in real time. In this way, companies can not only monitor the effectiveness of their entire plant ("OEE"), but also identify optimization potential at an early stage. Real-time monitoring enables immediate intervention, particularly in the event of faults, which is a clear improvement over traditional analysis at the end of a shift cycle.

Digitalization not only brings operational advantages but also strategic opportunities. By systematically recording empirical values, companies can optimize in the long term and create a knowledge base that goes beyond individual employees. This not only ensures continuity but also promotes innovation and increased efficiency.

2.1 Sodobni nadzorni sistemi: učinkovitost s procesi, ki temeljijo na podatkih

Prihodnost proizvodnje jeder bodo odločilno zaznamovali nadzorni sistemi, ki temeljijo na podatkih. Te tehnologije omogočajo optimalno uporabo sistemov in natančno načrtovanje proizvodnih procesov s pomočjo umetne inteligence. Scenariji in simulacije, podprte z umetno inteligenco, omogočajo boljše razumevanje tehničnih procesov in prilagajanje parametrov v realnem času. To omogoča nenehno izboljševanje proizvodnih procesov in njihovo usmerjenost k največji stopnji učinkovitosti.

Simulacije in inteligentne nadzorne rešitve pomagajo pri ekonomični izvedbi zapletenih geometrij, saj vnaprej prepoznajo morebitne izzive. Osebo strokovno znanje in empirične vrednote so vključene v digitalne sisteme, kar je podlaga za nenehno optimizacijo. Zaradi vse večjih zahtev po raznolikosti izdelkov in učinkoviti rabi virov se livarne soočajo z nalogo dejavnega oblikovanja te spremembe. Hibridna in digitalna proizvodnja jedra pomaga določiti idealno obratovalno točko, da se doseže največja učinkovitost ob najmanjših stroških. Da bi to dosegli, ne potrebujemo le sodobnih tehnologij, temveč tudi usposobljeno osebje in obsežno znanje o procesih, ki se prenaša v digitalne rešitve.

2.2 Proizvodnja jeder s streljanjem jeder

Prvi korak pri načrtovanju je določitev najboljših možnih strojne in systemske tehnologije za vsako vrsto jedra, pri čemer je treba upoštevati specifične, vendar prilagodljive rešitve za avtomatizacijo. Najbolje bi bilo, če bi vključili obstoječe sisteme in tako izkoristili sinergije.

Osrednji pristop je zgodnja integracija vseh proizvodnih korakov – od proizvodnje

2.1 Modern control systems: efficiency through data-driven processes

The future of core production will be decisively shaped using data-driven control systems. These technologies make it possible to optimally utilize systems and precisely plan production processes with the help of artificial intelligence (AI). AI-supported scenarios and simulations offer a better understanding of technical processes and allow parameters to be adjusted in real time. This allows manufacturing processes to be continuously improved and geared towards maximum efficiency.

Simulations and intelligent control solutions help to realize complex geometries economically by identifying potential challenges in advance. Personal expertise and empirical values are integrated into digital systems, creating the basis for continuous optimization. In view of the increasing demands for product diversity and resource efficiency, foundries are faced with the task of actively shaping this change. Hybrid and digital core production helps to identify the ideal operating point in order to achieve maximum efficiency at minimum cost. To achieve this, not only are modern technologies required, but also trained personnel and comprehensive process knowledge that is transferred to digital solutions.

2.2 Core production by core shooting

The first step in planning is to identify the best possible machine and system technology for each core type, taking into account specific but flexible automation solutions. Ideally, this is done by incorporating existing systems in order to exploit synergies.

A central approach is the early integration of all production steps - from core production, removal, and post-treatment (such as deburring, finishing, drying, or assembly) to storage logistics

jedra, odstranjevanja in naknadne obdelave (kot so glajenje, končna obdelava, sušenje ali montaža) do logistike skladiščenja in vgradnje jedra v matrice ali orodja. Pri načrtovanju jedrovnikov je treba upoštevati vse procesne zahteve: Katera usmeritev jedra je optimalna za postopek streljanja? Ali lahko (robotsko) prijemalo varno obvlada to usmeritev – med odstranjevanjem, predelavo, skladiščenjem ali nastavljanjem jedra? Drugi vidik je standardizacija konceptov prijemal in shranjevanja za različne vrste jeder. Ali je mogoče avtomatizacijo ekonomično uvesti tudi za majhne serije, ne da bi za vsako različico potrebovali popolnoma novo nastavitvev orodja?

Analizirati je treba tudi pretok materiala med obratom za obdelavo jeder in livarno. Katere rešitve ločevanja med procesnimi koraki so smiselne, da se v primeru delne odpovedi ohranijo preostali procesi in preprečijo prekinitve v celotni procesni verigi? Proučiti je treba tudi možnost izdelave velikih, ročno izdelanih jeder za ročno oblikovane dele s streljanjem jeder. To bi lahko pospešilo proizvodnjo in zmanjšalo število potrebnega osebja. Če so ti vidiki dosledno upoštevani, sodobna strojna tehnologija podpira učinkovito delovanje. Vedno večja avtomatizacija in prilagodljivost strojev za streljanje jeder revolucionarno spreminjata proizvodnjo, tudi za majhne in srednje velike serije. Skrbno načrtovanje, ki vključuje vse faze izdelave, skladiščenja, logistike in vstavljanja jedra, zagotavlja večjo učinkovitost in nižje stroške ter omogoča, da je proizvodnja jeder pripravljena na prihodnje izzive.

2.3 Proizvodnja jedra s 3D-tiskanjem

Uporaba tehnologij 3D-tiskanja v proizvodnji jeder [5] prinaša številne prednosti. Posamezni sistemi omogočajo izdelavo majhnih in srednje velikih serij brez

and the core-setting into dies or molds. All process requirements must be taken into account when designing the core boxes: Which orientation of the cores is optimal for the shooting process? Can this orientation be safely handled by a (robot) gripper - whether during removal, reworking, storage, or core-setting? Another consideration is the standardization of gripper and storage concepts for different core types. Can automation also be implemented economically for small series without the need for a completely new tool setup for each variant?

The material flow between the core shop and foundry also needs to be analyzed. Which decoupling solutions between the process steps make sense to maintain the remaining processes in the event of a partial failure and avoid interruptions to the entire process chain? The possibility of producing large, manually manufactured cores for hand-molded parts by core shooting should also be examined. This could speed up production and reduce the number of personnel required. If these aspects are consistently taken into account, modern machine technology supports efficient operation. The increasing automation and flexibility of core shooters are revolutionizing production, even for small and medium-sized series. Careful planning, which includes all steps of core making, storage, logistics, and core insertion processes, ensures increased efficiency and reduced costs - and makes core production fit for future challenges.

2.3 Core production by 3D printing

The use of 3D printing technologies in core production [5] opens up numerous advantages. Individual systems make it possible to produce small and medium batch sizes without the use of expensive

uporabe dragih orodij. Ker se tiskanje izvaja neposredno iz digitalnih 3D-podatkov, je mogoče spremembe različic izvesti hitro. Odpravljeni so stroški, povezani s konvencionalno proizvodnjo jeder za izdelavo in prilagajanje orodja, ter stroški skladiščenja in vzdrževanja orodja.

Medtem ko se je 3D-tiskanje s peščenimi kalupi včasih uporabljalo predvsem za posamezne kose in majhne serije – zaradi razmeroma dolgega časa postopka in velikega ročnega napora pri razpakiranju – se je tehnologija zdaj močno razvila. Najsodobnejši tiskalniki visoke hitrosti s popolnoma avtomatiziranimi sistemi razpakiranja in čiščenja zdaj omogočajo učinkovito proizvodnjo jeder, pripravljenih za litje. Izjemen primer tega je linija za 3D-tiskanje družbe Laempe, ki se uspešno uporablja v livarni lahkih kovin BMW v Landshutu. Sistem sestavlja šest tiskalnikov, dve mikrovalovni postaji za strjevanje, samodejna priprava in vračanje materiala za orodja ter popolnoma samodejno čiščenje jedra in končna 3D-meritev jedra. Ta celovita rešitev omogoča proizvodnjo od začetka do konca brez ročnih posegov. To je pomemben pogoj za reševanje izzivov, s katerimi se soočajo livarne: Z razvojem novih tehnologij za vozila se zahteve po ulitih delih in njihovi geometriji nenehno povečujejo. Novi šestvaljni motor skupine BMW Group na primer zahteva natančna jedra ulitkov zaradi optimiziranih hladilnih kanalov, česar ni mogoče doseči s tradicionalnimi postopki. To med drugim velja za kombinirana jedra, ki izdelajo hladilne kanale, katerih kompleksne strukture omogočajo boljše hlajenje ter prispevajo k povečanju učinkovitosti in zmanjšanju emisij motorja. Štiri taka šestvaljna kombinirana jedra za izdelavo hladilnih kanalov za novo generacijo motorjev je mogoče izdelati v 20 minutah s tiskalnikom na sistemu Laempe.

tools. As printing is carried out directly from the digital 3D data, variant changes can be implemented quickly. The costs associated with conventional core production for tool production and adaptation, as well as the costs for tool storage and maintenance, are eliminated.



Slika 1. Stroj za izdelavo jeder: Učinkovit in prilagodljiv: Sodobni stroji za izdelavo jeder ostajajo osrednji steber hibridne proizvodnje jeder

(vse slike: © Laempe Mössner Sinto GmbH)

Figure 1. Core shooting machine :Efficient and flexible: Modern core shooting machines remain a central pillar of hybrid core production.

(all Pictures: © Laempe Mössner Sinto GmbH)

While 3D sand printing used to be used primarily for individual pieces and small batches - due to comparatively long process times and the high manual effort involved in unpacking, - the technology has now developed significantly. State-of-the-art high-speed printers with fully automated

Zaradi tega napredka lahko 3D-tiskanje s peščenimi formami ne le zmanjša stroške in čas, potreben za izdelavo orodij za posamezne kose in majhne serije, temveč lahko izvede tudi kompleksne strukture za velike serije, ki ne bi bile izvedljive s konvencionalnimi postopki, ki temeljijo na orodjih.



Slika 2. Sistem za 3D-tiskanje: Natančnost brez orodij: Linija Laempe za 3D-tiskanje omogoča hitro izdelavo jeder za zahtevne geometrije – popolnoma avtomatizirano in pripravljeno za ulivanje.

Figure 2. 3D printing system: Precision without tooling: The Laempe 3D printing line enables high-speed core production for demanding geometries – fully automated and ready-to-cast.

2.4 Pridobivanje jeder pri zunanjih ponudnikih

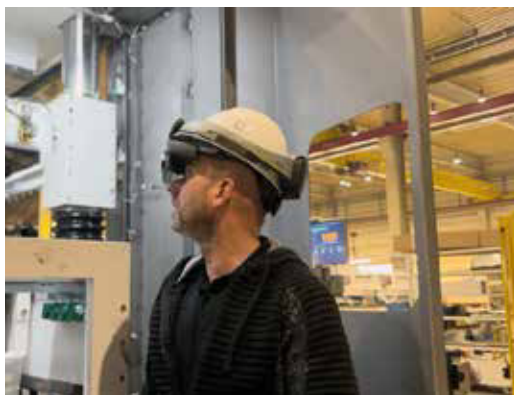
V številnih livarnah velja izdelava jeder za zamuden in stroškovno intenziven postopek, ki pogosto ni v ospredju tehnološkega razvoja ali človeških virov. Odločitev, da se jedra in orodja pridobijo od specializiranih dobaviteljev, je privlačna alternativa. To livarnam omogoča, da svoje vire usmerijo v ključne kompetence in hkrati povečajo svojo produktivnost.

unpacking and cleaning systems now enable the efficient production of ready-to-cast cores. An outstanding example of this is the 3D printing line from Laempe, which is successfully used in the BMW light metal foundry in Landshut. The system consists of six printers, two microwave stations for curing, automatic mold material preparation and return, as well as fully automatic core cleaning and final 3D measurement of the core. This complete solution enables end-to-end production without manual intervention. An important prerequisite for the challenges facing foundries: With the development of new vehicle technologies, the demands on cast parts and their geometries are constantly increasing. The BMW Group's new six-cylinder engine, for example, requires precise casting cores due to optimized cooling channels, which cannot be achieved with traditional processes. This applies, among other things, to the water jacket combination cores, whose complex structures enable improved cooling and contribute to increasing the efficiency and reducing the emissions of the engine. Four six-cylinder water jacket combination cores for the new generation of engines can be produced within 20 minutes using a printer on the Laempe system.

Thanks to these advances, the 3D sand printing process can not only reduce the costs and time required for tool production for individual pieces and small series, but can also realize complex structures for large series that would not be feasible with conventional tool-based processes.

2.4 External procurement of cores

In many foundries, core making is seen as a laborious and cost-intensive area that is often not the focus of technological development or human resources. The decision to source cores and moulds from specialized suppliers offers an attractive



Slika 3, Sistem za 3D-tiskanje: Natančnost brez orodij: Linija Laempe za 3D-tiskanje omogoča hitro izdelavo jeder za zahtevne geometrije – popolnoma avtomatizirano in pripravljeno za ulivanje.

Slika 3. AR-očala pri servisiranju: Podpora v realnem času: Laempe-AR omogoča servisierjem virtualno sodelovanje s strankami za hitro odpravljanje težav in zmanjšanje izpadov.

Specializirani ponudniki storitev, katerih glavna dejavnost je proizvodnja jeder, ne ponujajo le možnosti pokrivanja proizvodnih konic ali dobave zapletenih jeder, ki jih ni mogoče izdelati z lastnimi stroji. Njihovo strokovno znanje in izkušnje na področju proizvodnje jeder jim omogočajo uporabo najsodobnejših tehnologij, kar zagotavlja visoko raven učinkovitosti in kakovosti.

Primer takšnega dobavitelja je INACORE GmbH, skupno podjetje družb Laempe Mössner Sinto GmbH in R. Scheuchl GmbH. Podjetje se osredotoča zlasti na proizvodnjo anorganskih jeder in poleg tehnološko naprednih rešitev zagotavlja tudi dragocene poslovne prednosti z optimiziranimi procesi in uporabo podatkov.

alternative. This allows foundries to focus their resources on core competencies while increasing their productivity.

Specialized service providers, whose main business is core production, not only offer the possibility of absorbing production peaks or supplying sophisticated cores that could not be produced with their own machinery. Their expertise in core production allows them to use state-of-the-art technologies, resulting in a high level of efficiency and quality.

One example of such a supplier is INACORE GmbH, a joint venture between Laempe Mössner Sinto GmbH and R. Scheuchl GmbH. The company focuses in particular on inorganic core production, delivering not only technologically advanced solutions, but also valuable commercial benefits through optimized processes and data usage.

2.5 Analysis of core costs and CO₂ footprint

Many foundries have limited insight into accurate unit costs, including costs along the entire value chain. Modern calculation programs with high technical standards provide clarity here. Based on component geometry and planned quantities, they make it possible to calculate precisely how much a core will cost and how high the expected CO₂ emissions will be. Tools such as the TSET calculation program provide reliable data on costs and the ecological balance sheet.

Costs are calculated either based on standard values or by making specific adjustments to the respective production plant. Plant-specific data, such as that collected by the “Laempe Digital Cockpit” (LDC), can be incorporated into the analysis. This system collects information from the core shop and enables detailed evaluation.

2.5 Analiza stroškov in ogljičnega odtisa jeder

Številne livarne imajo omejen vpogled v natančne stroške na enoto, vključno s stroški vzdolž celotne vrednostne verige. Jasnost pri tem zagotavljajo sodobni programi za izračun z visokimi tehničnimi standardi. Na podlagi geometrije sestavnih delov in načrtovanih količin je mogoče natančno izračunati, koliko bo stalo jedro in kako visoke bodo pričakovane emisije CO₂. Orodja, kot je program za izračunavanje TSET, zagotavljajo zanesljive podatke o stroških in ekološki bilanci.

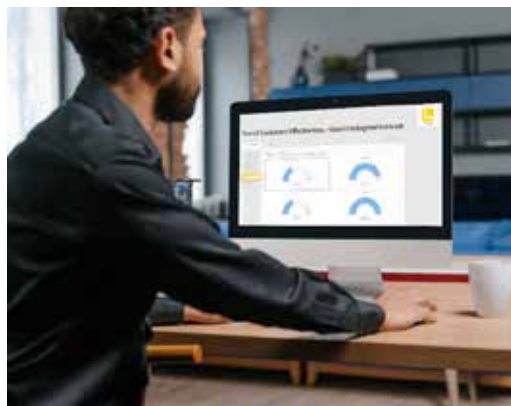
Stroški se izračunajo na podlagi standardnih vrednosti ali s posebnimi prilagoditvami za posamezen proizvodni obrat. V analizo se lahko vključijo podatki, specifični za obrat, kot so podatki, zbrani v digitalni pilotni kabini Laempe («Laempe Digital Cockpit» – LDC). Ta sistem zbira informacije iz obrata za obdelavo jeder in omogoča podrobno vrednotenje.

Programska oprema LDC se lahko uporablja ne le za merjenje skupne učinkovitosti opreme (OEE), temveč tudi za ugotavljanje vzrokov za njeno slabšo učinkovitost: Ali so težave povezane z izpadi, izmetom ali časom cikla? LDC daje odgovore na ta vprašanja in konkretna priporočila za ukrepanje, da bi optimizirali postopke ter povečali gospodarnost in trajnost proizvodnje jeder.

2.6 Laempe-AR: Podpora v realnem času v primeru okvar

Družba Laempe ima obsežno strokovno znanje in izkušnje na področju vzdrževanja in popravil strojev in sistemov za polnjenje jeder. Sodobne tehnologije to znanje prenašajo neposredno na stranke. S pomočjo sistema Laempe-AR lahko servisni tehniki iz lokacij Laempe po vsem svetu v realnem času sodelujejo s strankami na

The LDC can be used not only to measure overall equipment effectiveness (OEE), but also to identify the causes of its impairment: Do the problems lie in downtime, rejects, or cycle time? The LDC provides answers to these questions and gives specific recommendations for action to optimize processes and make core production more economical and sustainable.



Slika 4. Laempe Digital Cockpit (LDC): Transparentnost procesov z uporabo podatkov: LDC zbira in analizira podatke o delovanju v realnem času za povečanje učinkovitosti in zmanjšanje stroškov v proizvodnji jeder.

Figure 4. Laempe Digital Cockpit (LDC): Process transparency through data: The LDC collects and analyzes real-time performance data to increase efficiency and reduce costs in the core shop.

2.6 Laempe-AR: Real-time support in the event of malfunctions

Laempe has extensive expertise in the maintenance and repair of core shooters and systems. This knowledge is passed on directly to customers by modern technologies. With the help of Laempe-AR, service technicians from Laempe locations worldwide can work together with customers

kraju samem. Odpravljanje težav se izvaja skupaj z uporabo naprav, kot so očala za navidezno resničnost ali podobne rešitve.

Zlasti v času pomanjkanja kvalificiranih delavcev, omejene razpoložljivosti servisnih tehnikov in vse večjega povpraševanja po učinkovitih procesih ta tehnologija ponuja učinkovit način za hitro in ciljno usmerjeno reševanje težav. Sistem Laempe-AR ne pomaga le zmanjšati izpade proizvodnje, temveč strankam omogoča lažje zagotavljanje dolgoročne zanesljivosti delovanja njihovih sistemov.

2.7 Inovativne tehnologije veziva

Prihodnji razvoj postopkov za izdelavo veziv se vse bolj osredotoča na organske sisteme z nizko vsebnostjo topil in anorganska veziva. Zlasti anorganska veziva postajajo vse pomembnejša tudi na področju litja železa [1]. Uvedba anorganskih sistemov za hladno strjevanje predstavlja nadaljnji napredek, ki bistveno izboljšuje okoljsko združljivost in kakovost pri proizvodnji jeder.

3 Učinkovitost in kakovost z digitalno in hibridno proizvodnjo jeder

Prihodnost proizvodnje jeder je v združevanju preizkušenih proizvodnih metod z najsodobnejšo tehnologijo in avtomatizacijo. Integracija 3D-tiskanja, inteligentnih rešitev za avtomatizacijo in nadzornih sistemov, ki temeljijo na podatkih, lahko bistveno poveča učinkovitost in kakovost v proizvodnji jeder. Podjetja, kot je Laempe Mössner Sinto GmbH, tu prevzemajo pionirsko vlogo in postavljajo inovativne standarde za proizvodnjo jeder prihodnosti.

Kombinacija notranje proizvodnje in sodelovanja s specializiranimi zunanji partnerji omogoča prilagodljivost spreminjajočim se zahtevam trga, hkrati pa

on site in real time. Troubleshooting is carried out jointly using devices such as VR glasses or similar solutions.

Especially in times of a shortage of skilled workers, limited availability of service technicians, and increasing demand for efficient processes, this technology offers an effective way to solve problems quickly and in a targeted manner. Laempe-AR not only helps to minimize downtimes but also supports customers in ensuring the long-term operational reliability of their systems.

2.7 Innovative binder technologies

The future development of binder processes is increasingly focusing on low-solvent organic systems and inorganic binders. Inorganic binders in particular are also becoming increasingly important in the field of iron casting [1]. The introduction of cold-curing inorganic systems represents further progress that significantly improves both environmental compatibility and quality in core production.

3 Efficiency and quality through digital and hybrid core production

The future of core production is in combining proven production methods with state-of-the-art technology and automation. The integration of 3D printing, intelligent automation solutions, and data-driven control systems can significantly increase efficiency and quality in core production. Companies such as Laempe Mössner Sinto GmbH are taking on a pioneering role here and setting innovative standards for the core production of tomorrow.

The combination of in-house production and collaboration with specialized external partners enables flexible adaptation to changing market requirements while optimizing costs at the same time. This

optimizira stroške. Ta hibridni in digitalizirani pristop bo trajno vplival na livarsko industrijo ter odprl nove možnosti za povečanje učinkovitosti in tehnološkega napredka.

4 Zaključek

Prihodnost proizvodnje jeder je v prevzemanju hibridne in digitalne paradigme. Z uporabo tehnologij, kot so 3D-tiskanje, nadzorni sistemi, ki jih poganja umetna inteligenca, in sodobna anorganska veziva, lahko livarne dosežejo večjo učinkovitost, natančnost in prilagodljivost. Vključevanje teh tehnologij ne povečuje le stroškovne učinkovitosti, temveč prispeva tudi k bolj trajnostni vrednostni verigi.

Podjetja, kot je Laempe Mössner Sinto, so pionirji te preobrazbe, saj ponujajo popolnoma integrirane sisteme – od osnovnih strojev za zajem do digitalnih platform in servisnih rešitev na daljavo. Njihov pristop omogoča livarnam, da izberejo najprimernejšo proizvodno metodo za vsako vrsto jedra, ki jo podpirajo podatki v realnem času in razširljiva avtomatizacija.

Navsezadnje ta razvoj spodbuja novo raven prilagodljivosti in preglednosti v obratu za obdelavo jeder, s čimer se industrija lahko spopade z vse večjo kompleksnostjo, pomanjkanjem delovne sile in okoljskimi zahtevami.

hybrid and digitalized approach will have a lasting impact on the foundry industry and opens up new prospects for increasing efficiency and technological progress.

4 Conclusion

The future of core production lies in embracing a hybrid and digital paradigm. By leveraging technologies such as 3D printing, AI-driven control systems, and modern inorganic binders, foundries can achieve greater efficiency, precision, and adaptability. The integration of these technologies not only enhances cost-effectiveness but also contributes to a more sustainable value chain.

Companies like Laempe Mössner Sinto are pioneering this transformation by offering fully integrated systems — from core shooting machines to digital platforms and remote service solutions. Their approach enables foundries to choose the most suitable production method for each core type, supported by real-time data and scalable automation.

Ultimately, this evolution fosters a new level of flexibility and transparency in the core shop, equipping the industry to tackle rising complexity, labor shortages, and environmental demands.

References

- [1] Anorganische Binder zur Form- und Kernherstellung in der Gießerei, Hartmut Polzin, ISBN: 978-3-7949-0824-0
- [2] Recknagel, Ulrich. (2021). Das Maskenformverfahren: Eine deutsche Innovation.
- [3] Patent: Hitze- und Druckverfahren „Bakelite“, Leo Hendrik Baekeland, 1907
- [4] Patent: Vorrichtung zum Schießen von Sandkernen, Fritz Hansberg, 1949
- [5] Patent: Three-dimensional printing techniques, Massachusetts Institute of Technology, Emanuel M. Sachs; 1989