INDUSTRIJSKI FORUM IRT 2024

VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO

Portorož, 10. in 11. junij 2024

15. INDUSTRIJSKI FORUM IRT

VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO

Zbornik foruma

Urednik
Darko Švetak

Portorož, 10. in 11. junij 2024

Naslov:	**15. Industrijski forum IRT - VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO**
Urednik:	Darko ŠVETAK, PROFIDTP, d. o. o., Škofljica
Organizator:	PROFIDTP, d. o. o., Škofljica
Glavni pokrovitelji:	ABB d. o. o. FANUC Adria, d. o. o. KONICA MINOLTA SLOVENIJA
Pokrovitelji:	BTS Company, d. o. o. TOPOMATIKA, d. o. o. YASKAWA SLOVENIJA, d. o. o.
Medijski partnerji:	Revija IRT3000 Revija OBRTNIK-PODJETNIK Revija VENTIL Revija Računalniške novice Finance.si
Oblikovanje, prelom in priprava za tisk:	Darko Švetak, s. p., Škofljica
Založnik in izdajatelj:	PROFIDTP, d. o. o., Škofljica
Tisk:	Tiskarna SCHWARZ PRINT, d. o. o., Ljubljana
Naklada:	350 izvodov

CIP – Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

338.45(497.4)(082)
001.895(082)

INDUSTRIJSKI forum IRT (15 ; 2024 ; Portorož)
Vir znanja in izkušenj za stroko : industrijski forum IRT 2024 : zbornik foruma : Portorož, 10. in 11. junij 2024 / urednik Darko Švetak ; [organizator Profidtp]. – Škofljica : Profidtp, 2024

ISBN 978-961-95800-4-2
COBISS.SI-ID 194641411

Programski odbor smatra, da je tematika prispevkov v skladu s cilji foruma, ne odgovarja pa za noben podatek ali drugo informacijo, podano v zborniku.

Uvodnik

Kdor maže, ta vozi in dela

Kdor je svoje prve korake v svet avtomobilizma ali motociklizma napravil v prejšnjem stoletju, je zagotovo slišal nasvet mehanikov: »Kdor maže, ta vozi.« Čeprav se danes področje sodobne mobilnosti vse bolj elektrificira, pa omenjeni rek vsekakor še vedno drži. Še precej bolj pa sta mazanje in podmazovanje pomembna v industriji. »Ni industrije brez tribologije,« mi je pred leti dejal dr. Mitjan Kalin iz Laboratorija za tribologijo in površinsko nanotehnologijo na ljubljanski Fakulteti za strojništvo. Tako je tudi drugi dan letošnjega Industrijskega foruma IRT zaznamovala bienalna konferenca o vzdrževanju in tribologiji SLOTRIB, ki je tokrat drugič potekala pod okriljem Industrijskega foruma. Že 15. SLOTRIB po vrsti s svojim programom bogati in nadgrajuje vsebine, ki jih že dobro poznajo stari znanci Industrijskega foruma. Med ključnimi tematikami letošnjega posveta so maziva, hladilno-mazalna sredstva in goriva, zelena mobilnost in elektromobilnost, tribološke lastnosti sodobnih materialov, zelene rešitve za industrijske sisteme, bio-tribologija, nano-tribologija in mikro-tribologija, obraba in poškodbe strojnih elementov in vzdrževanje ter dodajalne tehnologije in 3D-tisk.

Tribologija kot veda se dotika tudi površinskih tehnologij in kontaktnega inženiringa, ki v praksi omogočajo nove funkcionalnosti in zmogljivosti mehanskih sistemov. Inženiring površin bo odločilnega pomena pri zeleni preobrazbi industrije in uvajanju zelenih tehnologij. Mazanje in podmazovanje sta lahko umazana ali pa čista rešitev, odvisno, kako sta izvedeni. Industrija počasi spoznava tudi prebojne rešitve na področju t. i. kriogenega odrezavanja. Rešitev LCO2 za hlajenje s kapljevitim dušikom namreč prinaša tako hladilne kot mazalne učinke v obdelovalne procese. Sam dušik sicer ne zagotavlja mazanja, zato se vanj dodaja olje v ustreznem razmerju glede na aplikacijo, posledično pa orodja in svedri lahko prenašajo tudi zelo visoke navore, ki so se v klasičnih aplikacijah prej lomili.

Če ste obiskali Industrijski forum IRT v Portorožu, potem sta se vam v spomin zagotovo vtisnili tudi dve nadvse zanimivi delavnici – ena je imela opravka s predstavitvijo aditivnih tehnologij v proizvodnji (s 3D-tiskanjem kovin je mogoče natisniti marsikaj), druga pa je predstavila plazemsko elektrolitsko poliranje. In prav to je tudi poslanstvo Industrijskega foruma – odpiranje oči industriji in proizvodnim podjetjem, kaj vse je mogoče še narediti ali izboljšati. Cilj je očiten: dosegati (mnogo) višjo dodano vrednost, ki krepi naše gospodarstvo in blaginjo. Ta pa seveda ni odvisna zgolj od (uporabljenih) tehnologij,

temveč tudi od znanja in idej zaposlenih. Od talentov. Če si sposodim analogijo Edite Krajnović, direktorice podjetja Mediade, gre za fiziko inovacij in kemijo odnosov – šele oboje skupaj sestavi okolje, v katerem cvetijo talenti. In posledično inovacije in rešitve, ki vodijo do nadpovprečnih izdelkov. Izdelkov, ki jih je lažje (dražje) prodati. Kot smo ugotavljali na okrogli mizi v okviru foruma, še tako dober razvoj zablesti (šele) na trgu, ko in kjer ustvari novo vrednost.

Pred vami je zbornik Industrijskega foruma IRT. Vsebuje zgovorne primere in projekte, ki so v preteklem letu nastali v svetu domače industrije in akademskega okolja. Kot sem v preteklosti že poudaril, ta zbornik v mojih očeh predstavlja neke vrste življenjepis oziroma CV domače industrije. Kako uspešno so nosilci znanj v industriji ter širše letos sodelovali in kaj je nastalo na temelju tega sodelovanja, lahko preberete na naslednjih straneh – dovolj zgovoren je že pogled v kazalo, ki razkriva vrsto zanimivih dosežkov. Prijetno branje želim.

Portorož, junij 2024

Darko ŠVETAK

PROFIDTP, d. o. o.
Škofljica

Na povezavi ali preko črtne kode, lahko dostopate do mape, kjer se nahajo zbornik Industrijskega foruma IRT

https://www.forum-irt.si/o-forumu/arhiv-zbornikov/

QR koda:

VSEBINA

Strokovni prispevki foruma

DAN 1 - DVORANA 1

DIGITALNI DVOJČKI KOT MOŽNOST ZA OPTIMIZACIJO PROIZVODNIH SISTEMOV
Robert OJSTERŠEK, Borut BUCHMEISTER, Iztok PALČIČ, Klemen KOVIČ, Aljaž JAVERNIK
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo 3

NA ČLOVEKA OSREDOTOČENA INDUSTRIJA 60 – POT V SUPER INOVACIJSKO DRUŽBO
Gorazd RAKOVEC
KIBERNOVA Gorazd Rakovec, s.p. 9

PRIPRAVA AKCIJSKEGA NAČRTA ZA RAZOGLJIČENJE PROIZVODNEGA PODJETJA
Gašper GANTAR[1,2], Danijel KUKOVIČ[3], Branko BRAČKO[3]
1Visoka šola za proizvodno inženirstvo
2Fakulteta za varstvo okolja
3Unior d.d. 13

TRAJNOSTNI PROIZVODNI SISTEM
Matevž RESMAN, Marko ŠIMIC, Niko HERAKOVIČ
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo 17

MERILNNI IZZIVI V SODOBNI INDUSTRIJI
Blaž KOROTAJ
MEREL d. o. o. 21

IZLOČANJE ZRAKA IN PENJENJE HIDRAVLIČNIH OLJ
Maja VIDMAR, Aleš HROBAT, Milan KAMBIČ
OLMA d.o.o. 25

DAN 2 - DVORANA 1

NAPREDNA ROBOTSKA OBDELAVA: ZNAČILNOSTI PROGRAMA SPRUTCAM X PRI ROBOTSKI OBDELAVI
Nikolay KONOV
KROKK, d.o.o. 31

FLEKSIBILNA POPOLNOMA AVTOMATIZIRANA LINIJA ZA OBDELAVO IN MONTAŽO ALUMINIJASTIH ULITKOV
Lea PILIĆ, Vinko DREV
LTH Castings d.o.o. 37

REZKANJE Z ROBOTOM
Andrej ZIDAR[1], Jožef BABIČ[2]
[1]FANUC Adria d.o.o.
[2]NOPROMAt d. o. o. 43

UPORABA SODELUJOČEGA ROBOTA (KOBOTA) ZA KONTROLO KAKOVOSTI
Peter KEREC, Robert LOGAR
ABB d.o.o. 47

AVTOMATIZIRANA ROBOTSKA REŠITEV ZA RAZIGLJEVANJE IN ČIŠČENJA ROBOTSKIH ULITKOV Z UPORABO 3D STROJNEGA VIDA
Hubert KOSLER[1,2,3], Erih ARKO[3], Matej MERKAČ[1]
[1]YASKAWA Slovenija d.o.o.
[2]YASKAWA Europe robotics d.o.o.
[3]YASKAWA Ristro d.o.o. 51

POVEČANJE UČINKOVITOSTI STROJNEGA PARKA S POMOČJO PRILAGODLJIVEGA KONCEPTA PROIZVODNJE (FMC) IN CENTRALIZIRANEGA SISTEMA ZA UPRAVLJANJE STROJNIH NALOG (JMS)
Gregor TRESKA[1], Tim HERBERTSON[2]
[1]Trecon d.o.o.
[2]EROWA AG 55

AVTOMATIZIRAN PROCES OBDELAVE GRAVURNIH VLOŽKOV NA CELICI EROWA
Kristjan KUTIN, Jan TAVČAR
Domel, d. o. o. 59

POVEČAJTE UČINKOVITOST OBDELAVE: PREDNOSTI ROTACIJSKIH MIZ LEHMANN
Sergey TOLSTYAKOV, Nikolay KONOV
KROKK, d.o.o.. 65

NOVA BOSIO KALILNA LINIJA ZA DRUŽBO SIJ RAVNE SYSTEMS
Egidij HUDRAP[1], Bojan GOLUH[2]
[1]SIJ Ravne Systems d.o.o
[2]BOSIO d.o.o. 71

NAPOVEDOVANJE OBLIKE KALJENIH KOVINSKIH OBDELOVANCEV Z GLOBOKIMI NEVRONSKIMI MREŽAMI
Tadej PERŠAK, Jernej HERNAVS, Lucijano BERUS, David POTOČNIK, Kristijan ŠKET, Mirko FICKO, Simon KLANČNIK
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo 75

DAN 2 - DVORANA 2

PASTI DIGITALIZACIJE PRI ZAGOTAVLJANJU KAKOVOSTI V PROIZVODNIH PROCESIH
Peter KORENČAN, Boštjan MALAVAŠIČ, Andraž ŽERTEK, Dušan BOŽIČ
Inden, informacijske rešitve, d.o.o. 79

VIZUALNI PREGLED KAKOVOSTI V PROIZVODNJI - KAKO POVEČATI UČINKOVITOST S STROJNIM VIDOM Z UMETNO INTELIGENCO
Boštjan JUSTIN[1], Petr ATANASČEV[2]
[1]Konica Minolta Slovenija, d.o.o.
[2]Konica Minolta Europe 83

INDUSTRIJSKA VIZUALIZACIJA ZA VIZIONARJE
Peter SKOPEC
ControlTech d.o.o. 87

NAPOVED OBRABE REZILNEGA ROBA Z UPORABO STROJNEGA UČENJA
Miha KODRIČ[1], Jure KORBAR[1], Luka BERTONCELJ[2], Rok KOČEVAR[2], Gregor ČEPON[1]
[1]LADISK, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani
[2]Iskra ISD d.o.o. 91

NAPREDNE TEHNOLOŠKE REŠITVE PRI IZDELAVI MICRO IZVRTIN
Branko UŠAJ
BTS Company d.o.o. 95

DIMENZIJSKA ANALIZA TEHNIČKIH SKLOPOVA POMOĆU KOMPJUTERIZIRANE TOMOGRAFIJE (X-Ray)
Luka KURTALJ, Josip KOS, Nenad DRVAR, Tomislav HERCIGONJA
Topomatika d.o.o 101

ZMANJŠANJE STROŠKOV Z UPORABO NAMENSKEGA ORODJA IN PONOVNIM BRUŠENJEM
Branko UŠAJ, Grega BOH
BTS Company d.o.o. 107

OPTIMIZACIJA HITRE IZDELAVE ORODIJ ZA BRIZGANJE
Blaž NARDIN, Marko VERČKOVNIK, Silvester BOLKA
Fakulteta za tehnologijo polimerov 113

RAZVOJNE AKTIVNOSTI ZA ZAGOTAVLJANJE MEROSLOVNE SLEDLJIVOSTI PRECIZNIH MERITEV DOLŽIN V INDUSTRIJI
Rok KLOBUČAR, Luka ČAS, Bojan AČKO
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za tehnološke meritve 117

DAN 2 - DVORANA 3

TERMOPLASTIČNI KOMPOZITI PRIPRAVLJENI IZ RECIKLIRANE MATRICE IN RECIKLIRANIH TERMOPLASTIČNIH VLAKEN
Blaž NARDIN[1], Boštjan ŽAGAR[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov
[2]CAP – center za aplikativne polimere d.o.o. 123

BRIZGANJE PLASTIKE IN NADZOR VODE
Miha PUŠNIK[1], Milan PECL[2]
[1]FANUC Adria d.o.o.
[2]M Pecl d.o.o. 127

ALTERNATIVNI POSTOPEK LAKIRANJA KAROSERIJSKE SVETLOBNE OPREME
Anet ROŽIČ, Matija OBOLNAR
Hella Saturnus Slovenija d.o.o. 131

HITRA IZDELAVA BRIZGANIH IZDELKOV S POMOČJO 3D-TISKANIH ORODIJ
Andrej GLOJEK, Anton KOČAR, Matevž OGRAJENŠEK, Matej ŽNIDARŠIČ, Sebastjan KOTNIK
TECOS 135

ZALIVANJE ELEKTRIČNEGA POGONA Z ZALIVNO MASO
Martin TOLAR
Domel 139

AVTOMATIZACIJA VARJENJA PLASTIČNE POSODE ODTOKA Z UPORABO GRELNIH PLOŠČ
Matej VRČKOVNIK[1], Vid ZABRET[2], Albert GRGIĆ[2]
[1]GORENJE IPC, d. o. o.
[2]FLEXIDO, d. o. o. 143

TRANSFORAMCIJA AVTOMOBILSKE INDUSTRIJE – NOVE PRILOŽNOSTI ZA PROIZVAJALCE KAROSERIJSKIH DELOV
Aleš ADAMLJE
HELLA SATURNUS SLOVENIJA, d. o. o. 149

RAZVOJ IN PROIZVODNJA OHIŠIJ ZA TOČENJE GORIVA / POLNJENJE BATERIJ ICE, PHEV IN BEV VOZIL
Dejan KOZJEK
Siliko d.o.o 153

PLASTIČNI DELI BREZ HLADNIH SPOJEV
Boštjan ŠMUC[1], Jörn SENGELAUB[2], Cem BARIS ÖZGÜVEN[2], Christian PREUSS-KOENIG[2]
[1]ABC-Brizganja d.o.o
[2]CONTURA-MTC GmbH 157

»SKI RAILS« KOT DEMONSTRATOR ZA RECIKLIRAN TERMOPLASTIČNI KOMPOZIT OJAČEN Z ODPADNIM RECIKLATOM DUROPLASTIČNEGA KOMPOZITA
Blaž NARDIN[1], Rok ZAVRŠNIK[2], Jure PERME[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov
[2]Turnaplast d.o.o. 161

DAN 2 - DVORANA 4

ADITIVNE TEHNOLOGIJE: OSNOVNI KONCEPTI, OBETI IN IZZIVI
Edvard GOVEKAR
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo 167

TOPOLOGY OPTIMIZATION FOR ADDITIVE MANUFACTURING
Damir GODEC, Mario BROZOVIĆ, Jelena ŠIRJAN
University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture ……. 171

FIZIKALNI PROCESI PRI 3D-TISKANJU KOVINSKIH IZDELKOV: IZBIRA MATERIALOV IN TEHNOLOGIJ
Alex KATZ
Israel Institute of Materials Manufacturing Technologies, Technion R&D Foundation, Technion ……. 177

TEHNOLOGIJA MOLDJET - ADITIVNA PROIZVODNJA 2.1 - NASLEDNJA STOPNJA
Steffen W. KUHN
DACH, Munich ……. 181

PLAZEMSKO ELEKTROLITSKO POLIRANJE V KADI IN Z ELEKTROLITSKIM CURKOM
Vincent STEPPUTAT
Plasmotion GmbH ……. 185

OD PROTOTIPIRANJA DO PRODUKCIJE - ZGODBA PODJETJA ADDITIVE DRIVES
Tobias GLASER
Additive|Drives GmbH ……. 189

3D-TISKANJE LAHKIH ZLITIN IN RAZVOJ NOVIH MATERIALOV
Keren ZHAR-HAUBER
Israel Institute of Materials Manufacturing Technologies, Technion R&D Foundation, Technion ……. 193

PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ MIM IN MBJ
David HOMAR, Domen STRENČAN, Jernej LOKOVŠEK
Solid World d.o.o. ……. 197

IZBOLJŠAVA INTEGRITETE POVRŠIN S TEHNOLOGIJO PLAZEMSKEGA ELEKTROLITSKEGA POLIRANJA NA INDUSTRIJSKIH ŠTUDIJAH PRIMEROV
Joško VALENTINČIČ, Marko JERMAN, Jithinraj Edaklavan KOROTH, Andrej LEBAR, Pavel DREŠAR, Izidor SABOTIN
Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani ……. 199

TEHNOLOGIJA REZANJA Z LEDNIM ABRAZIVNIM VODNIM CURKOM: KORAK V SMERI TRAJNOSTNE PROIZVODNJE V SLOVENIJI
Marko JERMAN[1], Andrej LEBAR[1,2], Izidor SABOTIN[1], Pavel DREŠAR[1], Joško VALENTINČIČ[1]
[1]Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
[2]Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta ……. 203

KOMERCIALNI OGLASI PODJETJI ……. 209

15. INDUSTRIJSKI FORUM IRT

STROKOVNI PRISPEVKI

Portorož, 10. in 11. junij 2024

DIGITALNI DVOJČKI KOT MOŽNOST ZA OPTIMIZACIJO PROIZVODNIH SISTEMOV

Robert OJSTERŠEK, Borut BUCHMEISTER, Iztok PALČIČ, Klemen KOVIČ, Aljaž JAVERNIK

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za načrtovanje proizvodnih sistemov

IZVLEČEK

Članek predstavlja uporabo digitalnih dvojčkov v namen optimizacije proizvodnih sistemov. Osredotoča se na primerjavo med rezultati simulacijskega modeliranja digitalnega dvojčka in podatki pridobljenimi v realnem proizvodnem sistemu. Digitalni dvojček je ustvarjen v programskem okolju Simio, ki temelji na uporabi podatkovno vodenega simulacijskega modela. Delovanje digitalnega dvojčka v realnem času olajša analizo proizvodnih parametrov (številom končnih izdelkov, povprečnim pretočnim časom izdelkov, izkoriščenostjo kapacitet in kakovostjo izdelkov). Rezultati poudarjajo finančno upravičenost in analitične zmožnosti digitalnih dvojčkov v namen optimizacije proizvodnih sistemov. Delovanje v realnem času omogoča neprekinjeno vrednotenje in sledenje proizvodnim parametrom. Študija poudarja pomen natančne izbire vhodnih podatkov, ki v veliki večini predstavljajo glavno omejitev pri dosegi, v realnem svetu, uporabnih rezultatov. Rezultati spodbujajo integracijo digitalnih dvojčkov v proizvodne sisteme v slovenski industriji.

1 UVOD

S prehodom v Industrijo 4.0, digitalizacija prinaša posebne izzive in skrbi za proizvodna podjetja. Eden od načinov za reševanje teh izzivov je uporaba digitalnih dvojčkov (angl. Digital Twin – DT). DT ni le nova tehnologija, temveč večplastna struktura, ki povezuje fizične entitete z njihovimi virtualnimi dvojniki [1]. DT zagotavlja dinamično predstavitev fizičnega sistema v realnem času, ob tem ima osrednjo vlogo v viziji pametne tovarne. Omogoča prehod od analiziranja preteklosti k napovedovanju prihodnosti. Njegova večdimenzionalna narava, raziskana s sistematičnim pregledom literature in raziskavami, poudarja njegovo vsestranskost in potrebo po nadaljnjem raziskovanju [2]. Presečišče DT s pametnimi proizvodnimi okviri, kibernetično-fizičnimi sistemi (angl. Cyber Physical Systems – CPS) sistemi, velikimi podatki (angl. Big Data) in z njimi povezanimi izzivi kaže na obetavno pot za prihodnost novih proizvodnih tehnologij [3].

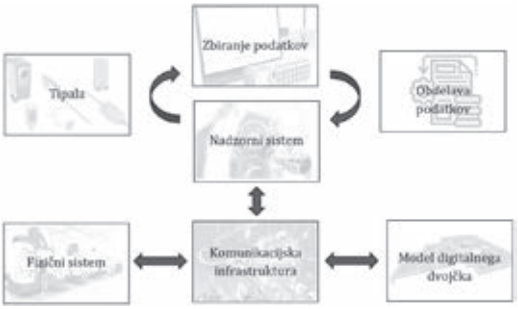
Predstavljeno delo preučuje DT kot optimizacijsko tehnologijo, ki zagotavlja v prihodnost usmerjeno perspektivo industrijskega razvoja onkraj Industrije 4.0 [4]. Obstoječa zakladnica znanja zagotavlja pregled konceptov, tehnologij in industrijskih aplikacij DT [5, 6]. Ta sinteza obogati naše razumevanje z zagotavljanjem pogleda na trenutno tehnološko pokrajino in praktične uporabe DT v različnih industrijskih sektorjih (vzdrževanja, planiranja, terminiranja, vodenja kapacitet, spremljanja zalog itd.) [7, 8]. Z integracijo DT se lahko agilna proizvodnja uspešneje prilagaja dinamičnih proizvodnih okoljih slovenske in globalne industrije.

2 DIGITALNI DVOJČEK

V hitro razvijajočem okolju sodobne proizvodnje je integracija digitalnih tehnologij revolucionirala tradicionalne pristope, kar je konceptu DT utiralo pot v dobo pametne proizvodnje. V središču te paradigme je brezhibna povezava med fizičnim sistemom in njegovim virtualnim dvojnikom, ki ustvarja simbiotično razmerje. Ta povečuje operativno učinkovitost, produktivnost in celotno zmogljivost proizvodnega sistema. Fizični sistem, kot temelj proizvodnega okolja, uteleša oprijemljive entitete in procese, ki so bistveni za proizvodnjo. Vzporedno imajo naprave za zaznavanje, ki jih sestavljajo senzorji, naprave interneta stvari in drugi viri podatkov, osrednjo vlogo z aktivnim zbiranjem podatkov v realnem času. Enota, ki je odgovorna za predhodno obdelavo in organizacijo vhodnih podatkov, ima ključno vlogo pri zagotavljanju kakovosti in ustreznosti podatkov. Učinkovitost kasnejših analiz in procesov odločanja je močno odvisna od

celovitosti in točnosti obdelanih podatkov. Zaloga informacij je podlaga za ustvarjanje modela DT. DT je ob tem virtualna predstavitev fizičnega sistema, vsebuje trenutna stanja, vedenja in druge pomembne atribute, ki izhajajo iz zbranih podatkov.

Na področju inteligentne proizvodnje (angl. Smart Manufacturing) model DT presega zgolj simulacijo in postane inteligentna entiteta, ki je sposobna sprejemati analitične odločitve. Nadzorni sistemi izkoriščajo vpoglede, ki jih ponuja DT, tako, da ga uporabljajo kot virtualno ogledalo fizičnega sistema, ki omogoča natančno odločanje in izdajanje ukazov krmilnim enotam. Ta sinergija med digitalnim in fizičnim svetom ustvarja zaprto zanko, v kateri DT nenehno izpopolnjuje svoje razumevanje in odzive na podlagi povratnih informacij realnega proizvodnega sistema. Kompleksnost delovanja DT se odraža pri medsebojnem delovanju fizičnega sistem, napravami za zaznavanje, komunikacijsko infrastrukturo, obdelavo podatkov, modeliranjem digitalnega dvojčka in nadzornimi sistemi, ki podpirajo upravljanje proizvodnega sistema (sistemi angl. Enterprise Resource Planning – ERP, Manufacturing Execution System – MES in Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA), kar prikazuje Slika 1.



Slika 1: Blokovna struktura digitalnega dvojčka

2.1 Simulacijsko okolje Simio

Simulacijsko okolje Simio omogoča izdelavo digitalnih dvojčkov, pri čemer je njegova velika prednost možnost uporabe vhodnih podatkov realnega proizvodnega sistema. Podatkovno voden simulacijski model, ki je podkrepljen z grafičnim vmesnikom, omogoča učinkovito in robustno numerično računanje s kratkimi odzivnimi časi. Kratki časi računanja omogočajo izvedbo digitalnega dvojčka, pri čemer so lahko numerični rezultati podkrepljeni s simulacijo v vmesniku virtualne realnosti (angl. Virtual Reality).

Programsko okolje Simio omogoča uporabo dinamičnih tri-dimenzionalnih animacijskih modelov in ponuja obsežno knjižnico standardnih elementov. Ta knjižnica vključuje elemente, kot so viri, ponori, strežniki, združevalniki, separatorji, vozila, delavci, vozlišča, povezovalniki, poti, transporterji itd. Za vsak element so značilne lastnosti, stanja, dogodki, videz in logika. Lastnosti vključujejo uporabniško definirane vhodne vrednosti, medtem, ko stanja predstavljajo dinamične vrednosti, ki se lahko med simulacijo spremenijo. Dogodki so časovni sprožilci, ki obveščajo druge elemente o poznejših dogodkih. Videz je prikazan kot tri-dimenzionalna grafična predstavitev elementa znotraj modela. Notranja logika modela predpiše odzive elementa na določene dogodke in tako določi njegovo vedenjsko dinamiko. Ko je model končan, programsko okolje Simio ponuja možnost definiranja različnih scenarijev. Ti scenariji omogočajo hkratno analizo različnih parametrov in opazovanje njihovih skupnih učinkov na obravnavan sistem.

3 OPIS OBRAVNAVANEGA PROBLEMA

Simulacijski model temelji na arhitekturni postavitvi proizvodnega obrata podjetja v programskem okolju Simio. Natančno je opisana prostorska razporeditev proizvodnih kapacitet. V celoti so bile upoštevane obstoječe transportne poti, skladišča in pomožni prostori. Model obravnava tri različne entitete (angl. Model Entity) izdelek A, izdelek B in izdelek C. Predpostavljena je povprečna hitrost primikanja entitet med delovnimi mesti, ta znaša 2 m/s, kar predstavlja transport izdelkov z viličarji.

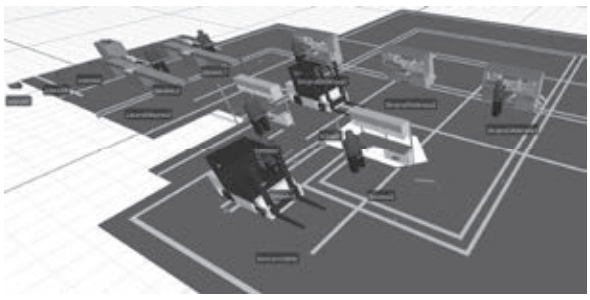
3.1 Digitalni dvojček v programskem okolju Simio

Vhodni podatki uporabljeni DT so pridobljeni iz realnega proizvodnega sistema, ki ga sestavlja sedem delovnih mest. V Preglednici 1 so predstavljeni vhodni podatki, ki poganjajo podatkovno voden simulacijski model.

Preglednica 1: Vhodni podatki DT

Delovno mesto	Razrez 1	Razrez 2	Strojna obdelava1	Strojna obdelava 2	Strojna obdelava 3	Sestava 1	Sestava 2
Stroški obratovanja (EUR/h)	64	64	50	50	50	45	45
Stroški čakanja (EUR/h)	43	43	25	25	25	15	15
x_{lok} (m)	10,8	10,8	16,2	23,24	30,6	37,8	44,4
y_{lok} (m)	12,6	6,6	2,4	2,4	2,4	2,4	7,8
t_{pz} (min)	14,4	14,4	21,6	21,6	21,6	11,5	11,5
Poraba električne energije, obratovanje (kWh)	14	14	9,6	9,6	9,6	1,8	1,8
Poraba električne energije, čakanje (kWh)	1,8	1,8	1,2	1,2	1,2	0,3	0,3
Procesni izmet (%)	2,4	1,8	4,8	5,4	6	1,8	2,4

Uporabljeni podatki opisujejo finančne, časovne, energijske in lokacijske parametre realnega proizvodnega sistema. Vseh sedem delovnih mest je posluževano z delavci, transport vhodnih surovine, medfaznih zalog in končnih izdelkov je izveden s pomočjo viličarja. Simulacijski model na Sliki 2 predpostavlja delovanje v dveh osem urnih izmenah, v pet dnevnem delovnem tednu. Izkoristek proizvodnega sistema pri teoretičnem izračunu proizvodnih kapacitet zanaša 78 %.



Slika 2: Simulacijski model v programskem okolju Simio

4 REZULTATI

V poglavju rezultati je cilj predstaviti razliko med rezultati pridobljenimi s DT in rezultati pridobljenimi iz realnega proizvodnega sistema. Glede na literaturo je ustreznost rezultatov klasičnih simulacijskih metod zadovoljiva kadar govorimo o manj kot 3 % odstopanju med rezultati simulacij in dejanskim stanjem. V nasprotnem primeru je tveganje za neučinkovitost simulacijskega modela s stališča ekonomskih, varnostnih in drugih omejitev, prevelika. Preglednica 2 predstavlja numerične rezultate primerjave med realnim proizvodnim sistemom in DT za parametre vezane na število končanih izdelkov in povprečen pretočen čase. Rezultati dokazujejo, da prihaja do odstopanj med pridobljenimi rezultati DT in realnim stanjem v proizvodnji. Glede na to, da rezultati predstavljajo povprečje desetih iteracij izvedbe simulacijskega model, opazimo višjo razliko med realnimi rezultati in rezultati DT pri štirih od sedmih analiziranih parametrih, pri treh parametrih pa je odstopanje manjše od zastavljene meje 3 %. Omejitev rezultatov dokazujejo, da je analiza v obravnavanem DT obravnavala krajše časovno obdobje, kot ga predstavljajo vhodni podatki realnega proizvodnega sistema. Te so v proizvodnem procesu zajemali dlje časa s pomočjo integriranega MES sistema.

Rezultati dokazujejo, da je DT pravilno upošteval pravilo razdeljevana števila delovnih nalogov vezanih na proporcionalni delež izdelkov A, B, in C. Skupno število končanih izdelkov je v primeru realnega proizvodnega sistema (RPS) višje kot pri rezultatih digitalnega dvojčka, to lahko pripišemo uporabi funkcij naključne porazdelitve vhodnih podatkov in uporabi konstantnih vrednosti, ki jih predpostavlja realni proizvodni sistema. Uporaba naključni porazdelitev v simulacijskem modelu DT omogoča simuliranje realnih fluktuacij, ki se na dnevni bazi dogajajo v realnem proizvodnem sistemu.

Pri parametru pretočnega časa vidimo, da je odstopanje med rezultati realnega proizvodnega sistema in rezultati DT pri izdelkih A in B sprejemljivo, pri izdelku C, kjer pa je proizvodna

količina majhna pa prihaja do večjih dostopanj, saj majhno število izdelkov odstotkovno veliko vpliva na deviacijo končnih rezultatov.

Preglednica 2: Primerjava rezultatov

	Rezultati RPS	Rezultati DT	Odstopanje [%]
Celotno število končanih izdelkov	196	190	3,06
Število končanih izdelkov A	114	110	3,51
Število končanih izdelkov B	55	55	0
število končanih izdelkov C	27	25	7,69
Povprečen pretočni čas izdelka A [h]	206	211	2,43
Povprečen pretočni čas izdelka B [h]	179,76	183,24	1,94
Povprečen pretočni čas izdelka C [h]	125,64	146,6	16,68

Preglednica 3 prikazuje rezultate parametrov zasedenosti delovnih mest in števila kosov procesnega izmeta.

Preglednica 3: Primerjava rezultatov zasedenosti delovnih mest in števila kosov procesnega izmeta

	RPS	DT	Odstopanje [%]
Povprečna zasedenost DM [%]	79,6	82,4	+2.8
Izmet [kos]	18	9	-50

Tudi v tem primeru primerjalni rezultati prikazujejo odstopanje med vrednostmi realnega proizvodnega sistema in rezultati DT. Ker obravnavan primer predstavlja proizvodnjo po naročilu (angl. Job Shop Production) je glede na rezultate ta visoko zasedena. Terminiranje delovnih nalogov in zasedenje razpoložljivih kapacitet je učinkovito, prihaja do manjših zastojev zaradi mikrozastojev in nepravilnostmi pri transportu surovin in medfaznih zalog. Opažamo, da je zasedenost v realnem proizvodnem sistemu nižja, kot jo navaja DT, kar podkrepi, da je ustrezno vodenje naročniške proizvodnje, ki ob svoji visoki dinamiki, predstavlja velike izzive s stališča dolgoročnega vzdržnega delovanje proizvodnega sistema.

Podobno lahko ugotovimo, da nastaja razlika pri parametru ustreznega števila končanih izdelkov, rezultati dokazujejo, da pri realnem proizvodnem sistemu prihaja do odstotkovno višje vrednosti neustrezno izdelanih izdelkov. Razliko med primerjalnimi rezultati realnega proizvodnega sistema in DT lahko pripišem kompleksnosti sledenja in podrobnega spremljana nepravilnost izdelovanja/obdelave polizdelkov znotraj DT, ki v realnem proizvodnem sistemu nastajajo kontinuirano na vseh fazah izdelave.

5 ZAKLJUČEK

Glede na uvodoma zastavljeno raziskovalno vprašanje ali lahko s pomočjo DT optimiziramo proizvodne sisteme in ali so simulacijski rezultati primerljivi z realnim stanjem v proizvodnji. Članek predstavlja zgrajen DT v programskem okolju Simio, DT je osnovan na podatkovno vodenemu simulacijskem modelu realnega proizvodnega sistema. Vhodni podatki podrobno opisujejo DT, kjer njihovo vodenje omogoča izvajanje DT v realnem času s pomočjo grafične uprizoritve izvajanja delovnih nalogov. Pridobljeni numerični rezultati prikazujejo opis proizvodnega sistema s pomočjo parametrov: števila končanih izdelkov, povprečnega pretočnega časa, povprečne zasedenosti delovnih mest in ustreznosti kvalitete končanih izdelkov. V primerjalni študiji pridobljenih rezultatov realnega proizvodnega sistema in DT prihaja do povprečnega odstopanja (ne upoštevajoče razlikovanje pri parametru procesnega izmeta) 4,76 % kar je glede na priporočila v literaturi presega mejno sprejemljivo vrednost odstopanja, ki znaša 3 %. S stališča preseganje mejne vrednosti je razvidno, da prihaja do prekoračitev razlik pri parametrih, ki opisujejo številčno manjkrat ponovljene meritve, kjer ta meritev predstavlja velik skupen delež. V ta namen bi bilo smotrno delovanje DT podaljšati simulacijski čas iz trenutno pet dnevnega delovnika, v dveh izmenah, na daljše časovno obdobje, npr. mesečno ali trimesečno delovanje proizvoden sistema. Pojavljena odstopanja za razliko od realnega proizvodnega sistema, ki je bil dlje časa izpostavljen merjenju parametrov in uporabljeni podatki predstavljajo povprečne vrednosti več mesečnega delovanja, pri digitalnem dvojčku predstavljajo naključne porazdelitve vhodnih podatkov, ki so nujne v visoko dinamičnih proizvodnih okoljih. Predstavljeno raziskovalno delo je omejeno z obravnavanim študijem primera, ki bi ga bilo smotrno razširiti in

generalizirati. Ob navedenih omejitvah prikazani rezultati dokazujejo, da je s pomočjo izvedbe DT možno izvesti analizo delovanja proizvodnega sistema z namenom njegove optimizaciji. Pri tem je glavna prednost DT njegova finančna upravičenost, saj lahko vnaprej predvidimo kaj se bo v proizvodnem sistemu dogajalo. Delovanje DT je možno v realnem času ob kontinuiranem delovanju proizvodnega sistema z namenom evalvacije in sledenja specifičnim parametrom proizvodnega procesa.

Predstavljen pristop dokazuje visoko stopnjo uporabnost DT v pametnih proizvodnih sistemih. Glede na to, da visoko dinamika trga, v proizvodnih sistemih, spodbuja kontinuirano optimizacijo, DT to omogočajo ob možnosti preučevanja vseh ključnih parametrov vezanih na učinkovitost, finance, okolje in socialni vidik. Ob uporabi DT je, glede na pridobljene rezultate, ključnega pomena prava izbira vhodnih podatkov, ki morajo dodobra predstavljati/opisovati analiziran proizvodni sistem. Že majhno odstopanje vhodnih podatkov lahko predstavlja prekomerno odstopanje končnih rezultatov. V tem primeru je prioritetnega pomena podroben zajem, analiza, filtriranje ter razumevanje vhodnih podatkov. Tako lahko zagotovimo ustreznost numeričnih in grafičnih rezultatov, kjer ključnega pomena odigra zaključna evalvacija zgrajenega DT.

V prihodnosti, bo napredek DT v proizvodnji močno odvisen od razvoja in implementacije novih tehnologij, analitike podatkov, algoritmov strojnega učenja in komunikacijskih tehnologij. Pri tem bo potrebno obravnavati izzive vezane na varnost podatkov, povezljivost med različnimi sistemi in platformami ter potreba po znatnih naložbah v informacijsko-komunikacijsko infrastrukturo in usposabljanje. Z vpeljavo novih tehnologij bodo DT postali še pogostejši sestavni del proizvodnje, saj bodo pomagali premostiti vrzel med operativno tehnologijo in informacijsko tehnologijo, kar vodi do pametnejših, učinkovitejših in bolj na človeka (angl. Human-centered Manufacturing) osredotočenih proizvodnih okolij. Ta tehnološki razvoj bo ključnega pomena za uresničitev celotnega potenciala Industrije 4.0/5.0.

Viri:

[1] Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., Hicks, B. (2020). Characterising the digital twin: a systematic literature review, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Let. 29, Del A, 36-52

[2] Lu, Y., Liu, C., Wang, K.I.-K., Huang, H., Xu, X. (2019). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Let. 61, Članek 101837, 14 strani

[3] Ojstersek, R., Javernik, A., Buchmeister, B. (2023). Optimizing smart manufacturing systems using digital twin, Advances in Production Engineering & Management, Let. 18, Št. 4, 475-485

[4] Fuller, A., Member, S., Fan, Z., Day, C., Barlow, C. (2020). Digital twin: enabling technologies, challenges and open research, IEEE Access, Let. 8, 108952-108971

[5] Tao, F., Zhang, M. (2017). Digital twin shop-floor: a new shop-floor paradigm towards smart manufacturing, IEEE Access, Let. 5, 20418-20427

[6] Rasheed, A., San, O., Kvamsdal, T. (2020). Digital twin: values, challenges and enablers from a modeling perspective, IEEE Access, Let. 8, 21980-22012

[7] Maddikunta, P.K.R., Pham, Q.-V., Prabadevi, B., Depa, N., Dev, K., Gadekallu, T.R., Ruby, R., Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications, Journal of Industrial Information Integration, Let. 26, Članek 100257, 19 strani

[8] Liu, M., Fang, S., Dong, H., Xu, C. (2021). Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications, Journal of Manufacturing Systems, Let. 58, Del B, 346-361

NA ČLOVEKA OSREDOTOČENA INDUSTRIJA 60 – POT V SUPER INOVACIJSKO DRUŽBO

Gorazd RAKOVEC
KIBERNOVA Gorazd Rakovec, s.p.

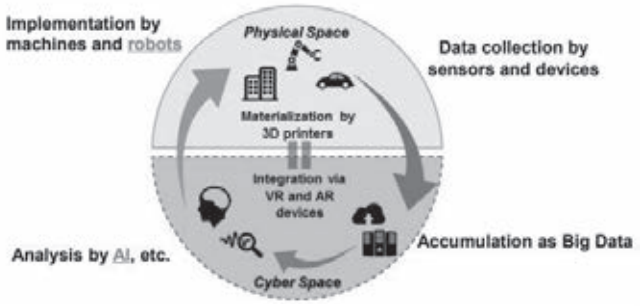
IZVLEČEK

Leta 2016 je Japonska objavila strategijo z naslovom Družba 5.0 (Society 5.0), ki je ekvivalentna EU Industriji 4.0 iz leta 2011. Za osnovni generator razvoja so postavili tehnologijo digitalnih dvojčkov. Celotno Japonsko od takrat dalje razvijajo kot digitalni dvojček, sestavljen iz mnogih digitalnih dvojčkov. Okoljsko nadgradnjo so Japonci dodali strategiji Družba 5.0 marca 2021, vendar niso spremenili številke revolucije, ker se ta seveda ni zgodila. EU komisija je osem mesecev kasneje objavila strategijo, januarja 2022 pa razvojno vizijo z naslovom Industrija 5.0, ki je tudi okoljska nadgradnja Industrije 4.0 in ni tehnološka revolucija, temveč politični konstrukt. EU dejansko še vedno živi v dobi industrije 4.0 in bo to še precej časa. Japonska v svoji strategiji že od leta 2016 postavlja dobrobit človeka v središče vsega razvoja in enako je postavila človeka v središče tudi EU Industrija 5.0 šest let kasneje. EU strategi so ob prepisovanju japonske strategije v Industriji 5.0 izpustili razvoj digitalnih dvojčkov in namesto njih predvideli ročno dodelavo visoko individualiziranih izdelkov, s tem pa usmerili razvoj EU nazaj namesto naprej. Razvoj tehnologije prehiteva razvoj družbe za deset let ali več in dobesedno vleče razvoj družbe naprej. Najrazvitejša družba je posledica najrazvitejše tehnologije in v današnjem času so to digitalni dvojčki, kar so EU politiki izpustili. Slovenski razvoj zaostaja za tri revolucije, zato nam ne ostane drugega, kot da sedaj izvajamo industrijske revolucije 3.0, 4.0 in 5.0 hkrati in integrirane v celoto, pod nazivom Na človeka osredotočena industrija 60 kot generator super inovacijske družbe.

1 JAPONSKI RAZVOJNI MODEL: DRUŽBA 5.0

Japonci so svojo razvojno strategijo pod nazivom družba 5.0 ali super pametna družba definirali januarja 2016 v petem Planu znanosti in tehnologije [1]. Japonska strategija načrtuje celotno Japonsko pretvoriti v digitalne dvojčke, dobesedno vse fizične stvari in procese; kmetijstvo, vozila, naravo, promet, mesta, celotno industrijo in tudi vse storitvene in družbene sisteme, celo politiko, filozofijo itd. Družba 5.0 je družba, v kateri ljudje aktivno uporabljajo napredne tehnologije ne zaradi ekonomije, temveč zaradi koristi in udobja državljanov. Cilj je na človeka osredotočena družba.

Keidanren, najpomembnejše japonsko poslovno združenje, je 19. aprila leta 2016 predstavil koncept družbe 5.0 (Society 5.0), imenovane tudi super pametna družba (Super smart society)[2]. Pozneje ga je promovirala tudi japonska vlada (Slika 1).



Slika 1: Prva shema japonske družbe 5.0, definirane kot kibernetični fizični prostor – CPS (Cyber Phisical Space), ali digitalni dvojček zgrajen iz mnogih digitalnih dvojčkov v obliki japonske zastave, iz leta 2016 [2]

V osnovni definiciji na ravni države so digitalne dvojčke definirali: »Družba, osredotočena na človeka, ki usklajuje gospodarski napredek in reševanje družbenih problemov s sistemom, ki visoko povezuje (integrira) kibernetski in fizični prostor.« [3] Japonska 5.0 kot digitalno-fizični dvojček je sestavljena iz dveh polov (bratov): kibernetičnega prostora in fizičnega prostora, ki sta integrirana v kibernetični fizični prostor – CPS (Cyber Phisical

Space) preko vmesnikov mešane resničnosti (MR, AR, VR) in mehatronskih vmesnikov tako, da optimirata gospodarstvo in celotno družbo z upoštevanjem narave in okolja. Senzorji z merilniki, vmesniki, omrežji so postavljeni v fizičnem svetu na vseh objektih in procesih ter pošiljajo podatke v kibernetični prostor, kjer jih s programi obdelajo in pošljejo nazaj v fizični prostor strojem in ljudem, ki digitalne dvojčke vsak dan uporabljajo za izvajanje procesov in njihovo nenehno optimiranje.

Vlada Japonske je marca 2021 sprejela Šesti plan znanosti in tehnologije (The 6th Science and Technology Basic Plan) [4], s katerim nadaljuje izvedbo družbe 5.0. Druga petletka izvedbe Society 5.0 ima predvsem okoljske dodatke po koroni in klimatskih katastrofah. Številke revolucije niso povečali, ker se ta ni zgodila.

2 KAJ JE PRINESLA INDUSTRIJA 5.0

Evropska komisija je decembra 2021 [5] objavila strategijo in januarja 2022 [6] vizijo z naslovom Industrija 5.0, a transformative vision for Europe. Industrija 5.0 ni tehnološka revolucija, temveč politični konstrukt Evropske unije. Vsebinsko je okoljska nadgradnja industrije 4.0 s postavljanjem človeka v center po vzoru japonske strategije.

Industrija 5.0 vsebuje tri področja (Slika 2):

1. v center vizije je postavljen človek – dobrobit za ljudi,
2. večanje odpornosti podjetij pred naravnimi katastrofami,
3. zagotavljanje trajnostnega okolja – zelena transformacija.

Vse troje močno povečuje stroške podjetij, zato je nujno izvajanje industrij 4.0 in 3.0 (informatizacija in avtomatizacija) sočasno, ki najmočneje znižujeta stroške in večata dodano vrednost.

Vse skupaj je sočasni inovacijski razvoj, ki mu lahko rečemo tudi inovacijska družba. Past inovacijske družbe je, da je inovacij neskončno mnogo. Družba zaostaja, če zapravlja čas in vire za inovacije z nizko dodano vrednostjo. Zato je ključno, da je oblika ciljnih inovacij točno definirana. V svetu je prevladal model inovacije digitalnih dvojčkov kot izvor največje dodane vrednosti, kar so pa EU strategi izpustili.

Slika 2: Industrija 5.0 - EU Komisija [5]

3 PRIMERJAVA EVROPSKIH IN JAPONSKIH TRANSFORMACIJ

Številke revolucij v EU in na Japonskem so zamaknjene do številke 5.0. Industrija 4.0 iz Nemčije – EU leta 2011 je ekvivalentna družbi 5.0 na Japonskem z leta 2016. Obe nastopita za dobo informatike in fleksibilne avtomatizacije.

EU je 4. industrijsko revolucijo slabo definirala. Različni lobiji, posebno informacijski, so informacijske preimenovali v digitalne sisteme in EU skupaj s Slovenijo se je znašla v kaosu navideznih transformacij in ostala v 3. eri, podobno tudi drugje, kjer so jo posnemali. Primerjave:

1. Na človeka osredotočena družba je vključena pri obeh, na Japonskem od leta 2016, v EU pa šele od leta 2021-22 z Industrijo 5.0. Očitno je to EU prevzela od Japonske. So pa evropski prepisovalci pri tem izpustili pretvarjanje Japonske v digitalne dvojčke in skušajo nasprotno od dvojčkov uvesti rokodelsko proizvodnjo.
2. Japonci štejejo tehnologijo digitalnih dvojčkov za glavno sredstvo, ki jih bo pripeljalo do družbe blaginje vseh ljudi. Zeleni politiki Evropske unije štejejo tehnologijo skupaj z Industrijo 4.0, ki je očitno ne razumejo, za sovražnika narave in ljudi ter

ludistično poudarjajo ročno delo, kar je korak za več revoluciji nazaj.

3. Multidisciplinarna inženirska izobrazba STEAM je poudarjena na Japonskem in planirana, da se uvede od vrtcev do univerz. Japonci so ameriško izobrazbo STEM razširili na STEAM. Evropska unija poudarja ročne spretnosti (skills). V Sloveniji storitveni lobi poudarja samo informacijsko izobraževanje za virtualni svet, nič pa ostalih inženirskih strok, ki predstavljajo fizični svet – fizične dvojčke in vmesni digitalni svet.
4. Kolaboracija ljudi in strojev v proizvodnji je močno poudarjena v EU (kjer ni dovolj ljudi), v japonski strategiji ne. Na Japonskem je poudarjena močna robotizacija, saj je ljudi vedno manj.
5. Hiper individualizirani izdelki so poudarjeni v EU, čeprav večina ljudi ne želi odstopati, na Japonskem ne.
6. Zelena transformacija in odpornost sta vključeni pri obeh zaradi naravnih katastrof, epidemij itd.
7. Poudarjen inovacijski razvoj vključujeta obe strani. Japonska ima za cilj ustvariti inovacijsko najprijaznejšo družbo na svetu. V Sloveniji je mentaliteta izrazito antiinovacijska. Večina se izogiba inovacijam kolikor more, radi pa bi imeli plače enake, kot najbolj inovacijske države na svetu.
8. Strategije Japonske vključujejo spajanje znanja, ne le naravoslovja, tudi humanistike in družboslovja, v Evropski uniji ne.
9. TRŽNO VOJNO ZAMENJA VOJNA ZA TALENTE Z VSEGA SVETA pri obeh! Zmagajo tisti, ki privabijo več talentov in njihovih podpornikov.

4 ZAKLJUČKI

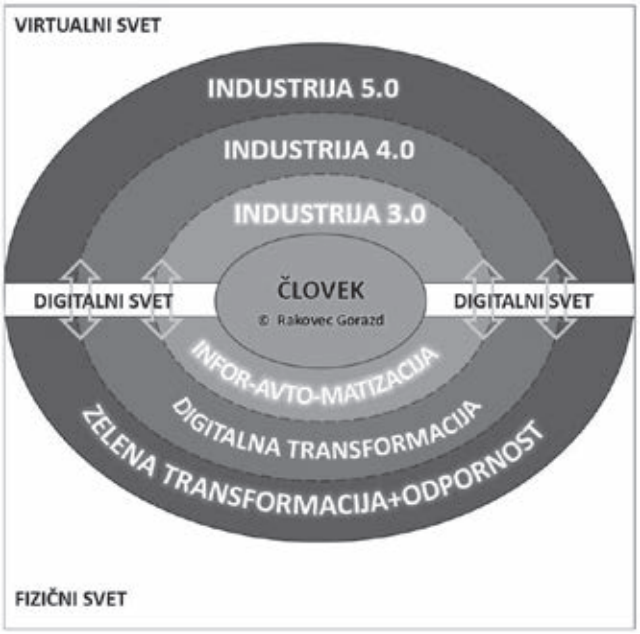
Razvojne strategije gospodarstva ni možno razvijati s sestanki. Uporabna razvojna strategija je lahko le rezultat večmesečnega dela strateško sposobnih svetovalcev s 30 in več let zaposlitve v industriji, ki poglobljeno razumejo obstoječe in tudi najnovejše tehnologije.

V Sloveniji rabimo splošen konsenz: industrija je prva razvojna prioriteta, potem vse ostalo. V storitvah je zaposlenih trikrat več ljudi kot v industriji. Kjer pride do glasovanja o razvoju, storitveni lobi preglasuje industrijo, razvijajo se storitve, zanemarja industrija, s tem pa je zavrt razvoj celotne družbe.

V Sloveniji bi bilo treba povsod uvesti novo inovacijsko kulturo, ki podpira inovacije in inovatorje. Nevoščljivost do znanja enostavno blokira ves razvoj na vseh mestih in ravneh. Sprememba nevoščljivosti iz negativne v pozitivno je pogoj za razvoj vsega.

Industrija 4.0 in industrija 5.0 se nikoli ne končata. Industrija 3.0 kot informatizacija in avtomatizacija ostaja večno. Kdor bi rad naredil najprej Industrijo 3.0 in šele potem 4.0 itd., ne bi nikoli začel niti četrte. Vse tri transformacije je treba izvajati sočasno in spojene skupaj, da nastanejo novi sinergijski učinki, večja dodana vrednost. Dobimo novo celovito strategijo, ki je sinteza vseh trajajočih strategij (Slika 3), enačba (1):

Na človeka osredotočena industrija 60 = človek x industrija 3.0 x industrija 4.0 x industrija 5.0 (1)



Slika 3: Na človeka osredotočena industrija 60 je generator inovacij v super inovacijski družbi, katere cilj je blaginja vsakega posameznika

Tako dobimo na človeka osredotočeno industrijo 60 (3.0 x 4.0 x 5.0 = 60) kot celovito

strategijo in tudi model razvoja super inovacijske družbe s ciljem dobrobiti za vse ljudi.

Na človeka osredotočena industrija 60 je digitalni dvojček sestavljen iz digitalnih dvojčkov z ljudmi in družbo v središču. Enaka shema velja tudi za tovarne, stroje, sisteme, ipd., ki so tudi digitalni dvojček sestavljen iz digitalnih dvojčkov z ljudmi v središču.

Industrije od 3.0 do 5.0 so kot ojačevalec sposobnosti človeka. Človek kot središče vsega dogajanja dobiva povečane sposobnosti, tako fizične kot miselne, v čistem in varnem okolju, zato razvija več za razred boljših inovacij in bolje živi.

Imamo tri svetove in človeka (človeški svet - družbo). Fizični in virtualni svet sta povezana posredno preko digitalnega za dobrobit človeka, ki je v centru vseh svetov. Hkrati potekajo z medsebojnim spajanjem tri glavne transformacije: informatizacija in avtomatizacija iz 3. industrijske ere, digitalna transformacija ali Industrija 4.0 in zelena transformacija z večanjem odpornosti kot Industrija 5.0. Obravnavamo svetove:

1. Človek s človeško družbo se fizično nahaja v fizičnem svetu na katerega lahko fizično vpliva, lahko pa tudi iz fizičnega sveta posega v virtualni in digitalni svet in obratno.
2. Fizični svet je svet v katerem je Zemlja na kateri so ljudje, stvari, procesi, narava in okolje.
3. Virtualni svet je svet v katerem se nahajajo računalniki z omrežji ter podatki in programi.
4. Digitalni svet (vmesni) povezuje virtualni svet in fizični svet. Preko sistemov XR (AR, VR, MR) povezuje ljudi z virtualnim svetom in tudi krmiljenimi stroji v fizičnem svetu. Preko mehatronskih sistemov pa povezuje virtualni svet direktno s krmiljenimi stroji v fizičnem svetu.

Človek je edini celoviti sistem, ki opravlja tako fizične, virtualne - umske aktivnosti ter pretvarjanje umskih v fizične in fizične zaznave v umske aktivnosti. Posnemajo ga vedno bolj tudi stroji, ki jih ustvarja človek.

Inovacije nastajajo z medsebojno interakcijo fizičnega in virtualnega sveta preko digitalnega sveta v kolaboraciji s človekom. Digitalni svet v interakciji s fizičnim svetom izdeluje podatke o fizičnem svetu in jih posreduje v virtualni svet, kjer jih programi, lahko tudi z UI, predelajo v nove informacije, nakar jih digitalni svet posreduje nazaj v fizični svet ljudem in tudi direktno krmiljenim strojem, ki optimirajo fizične procese (tudi v družbi). Virtualni svet optimira fizični svet tako, da človeku omogoča lažje delo in boljše življenje, ob tem pa se v človeku porajajo nove ideje za dodatne inovacije. Proces je krožen in se nikoli ne konča. Nastane super inovacijska družba v kateri ljudje razmišljajo z novimi dimenzijami v več svetovih, vse delajo najmanj za stopnjo bolje in ob tem kreirajo inovacije.

Na človeka osredotočena industrija 60 je generator inovacij v nenehno razvijajoči se super inovacijski družbi, katere cilj je dobrobit ljudi, ki to dosegajo tako, da živijo in delajo skupaj z digitalnimi dvojčki v vsakodnevni interakciji med fizičnim in virtualnim svetom.

Viri:

[1] Government of Japan: The 5th Science and Technology Basic Plan, 18.12. 2015, Dostopno na: https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5basicplan_en.pdf

[2] Keidanren: Toward realization of the new economy and society – Outline - Reform of the economy and society by the deepening of "Society 5.0", 19. 4. 2016, Dostopno na: http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029_outline.pdf.

[3] Cabinet Office, Government of Japan: What is Society 5.0?, 4. 11. 2023, Dostopno na: https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html.

[4] Government of Japan: The 6th Science and Technology Basic Plan, 26. 3. 2021, Dostopno na: https://www8.cao.go.jp/cstp/english/index.html.

[5] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Breque, M., De Nul, L., Petridis, A.: Industry 5.0 – Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry, Publications Office of the European Union, 2021, Dostopno na: https://data.europa.eu/doi/10.2777/308407.

[6] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Renda, A., Schwaag Serger, S., Tataj, D.et al.: Industry 5.0, a transformative vision for Europe – Governing systemic transformations towards a sustainable industry, Publications Office of the European Union, 2022, Dostopno na: https://data.europa.eu/doi/10.2777/17322.

PRIPRAVA AKCIJSKEGA NAČRTA ZA RAZOGLJIČENJE PROIZVODNEGA PODJETJA

Gašper GANTAR[1,2], Danijel KUKOVIČ[3], Branko BRAČKO[3]
[1]Visoka šola za proizvodno inženirstvo
[2]Fakulteta za varstvo okolja
[3]Unior d.d.

IZVLEČEK

V prispevku je na primeru družbe Unior d. d. prikazano, kako morajo proizvodna podjetja pripraviti načrte razogličenja. Osnova je izračun organizacijskega ogljičnega odtisa, ki poda trenutne izpuste toplogrednih plinov (TGP) neposredno v podjetju in tudi posredno, kot posledica delovanja obravnavanega podjetja, na primer v dobaviteljski verigi. Obravnavane so zahteve kupcev iz avtomobilske industrije. Prikazan je način zbiranja in ovrednotenja aktivnosti za razogličenje podjetja. Rezultati potrjujejo, da načrtovane aktivnosti omogočajo doseganje ogljične nevtralnosti do leta 2040 in tudi znižanje omogoča tudi doseganje zastavljenih vmesnih ciljev.

1 UVOD

Podnebne spremembe, ki izhajajo iz antropogenih dejavnosti, so opredeljene kot eden največjih izzivov, s katerimi se sooča svet, in bodo v prihodnjih desetletjih močno vplivale na podjetja in državljane. Z evropskimi podnebnimi pravili se Evropska unija zavezuje, da bo do leta 2050 postala ogljično nevtralna, z vmesnim ciljem zmanjšanja emisij toplogrednih plinov (TGP) za 55 % do leta 2030 glede na leto 1990. Decembra 2019 je Evropska komisija predstavila evropski zeleni dogovor, svoj načrt, kako doseči podnebno nevtralnost Evrope do leta 2050. Cilji tega načrta bodo doseženi s pomočjo evropskih podnebnih pravil, ki podnebno nevtralnost uzakonjajo. Pričakovane zahteve različnih kupcev, predvsem iz avtomobilske industrije, so še bistveno bolj ambiciozne od zavez Evropske unije.

V prispevku je na primeru družbe Unior d. d. prikazano, kako morajo proizvodna podjetja pripraviti načrte razogličenja. Družba Unior d. d. je namreč trajnostno naravnano podjetje, ki sledi temeljnemu načelu odgovornosti do varovanja okolja, preprečevanju negativnih vplivov na okolje, skladnosti z zahtevami zakonodaje ter nenehnemu izboljševanju na področju varstva okolja. V srednjeročnem načrtu ima opredeljeno tudi strateško usmeritev sledenja trendom ogljične nevtralnosti.

Najprej so podani podatki o ogljičnem odtisu podjetja Unior d. d. V nadaljevanju je prikazano, kako so bili identificirani cilji za zmanjšanje emisij TGP in kako so bile določene aktivnosti za doseganje zastavljenih ciljev. Vsaka predlagana aktivnost je tudi ovrednotena. Na koncu so predstavljeni rezultati, ki jih je mogoče uporabiti pri trajnostni komunikaciji s kupci in doseganju njihovih zahtev na področju trajnostnega razvoja.

2 NAMEN PRIPRAVE AKCIJSKEGA NAČRTA ZA RAZOGLJIČENJE

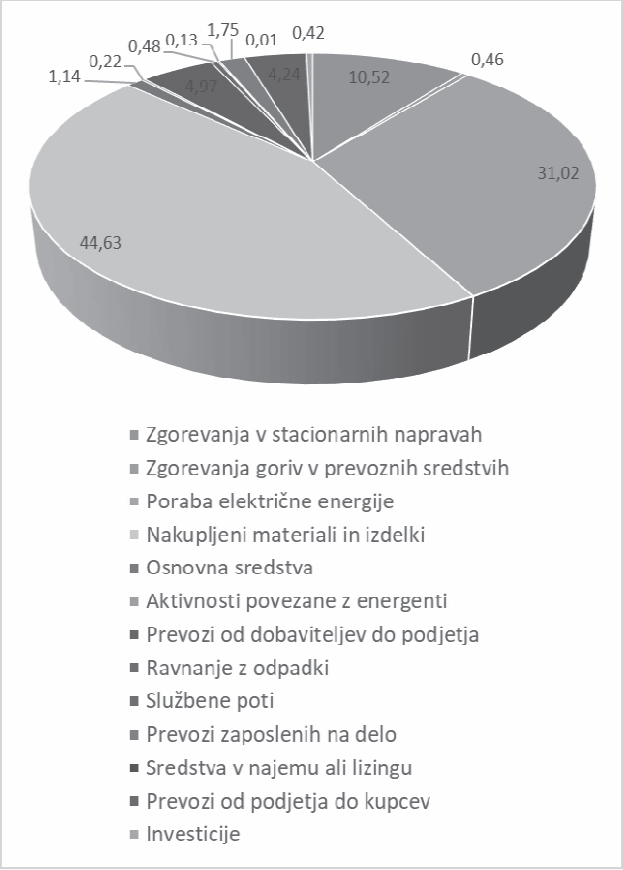
Bistveni namen priprave akcijskega načrta za razogličenje podjetja je doseganje pričakovanj deležnikov (predvsem kupcev) glede emisij TGP. Poleg tega podjetje z njim dokazuje družbeno odgovornost; načrtuje ukrepe za zmanjšanje emisij TGP ne da bi ogrozili ekonomsko uspešnost poslovanja; nudi podporo razvojnim projektom (razvoj okolju prijaznih tehnologij in izdelkov) in služi za motivacijo zaposlenih.

3 ORGANIZACIJSKI OGLJIČNI ODTIS

Ogljični odtis predstavlja skupne emisije CO_2 in drugih TGP (CH_4, N_2O, HFC, PFC in SF_6),

Gašper GANTAR[1,2], Danijel KUKOVIČ[3], Branko BRAČKO[3]
[1]Visoka šola za proizvodno inženirstvo
[2]Fakulteta za varstvo okolja
[3]Unior d.d.

povezanih z dejavnostmi organizacije. Izračun ogljičnega odtisa je priznan kot pomemben merljiv kazalec okoljske uspešnosti. Neposredne emisije TGP so emisije iz virov, ki so v lasti ali pod nadzorom organizacije. Posredne emisije TGP so posledica delovanja in dejavnosti organizacije, vendar izhajajo iz virov, ki niso v lasti ali pod nadzorom organizacije. Te emisije se na splošno pojavljajo v dobaviteljski verigi. Viri emisij TGP, ki nastajajo pri delovanju organizacije, So podrobneje našteti v [1,2]. Na sliki 1 so prikazane aktivnosti, ki povzročajo izpuste TGP in njihov prispevek k ogljičnemu odtisu družbe Unior d. d. za leto 2021 [3].



Slika 1: Delež, ki so ga posamezne aktivnosti prispevajo k celotnemu ogljičnem odtisu družbe Unior d. d. za izhodiščno leto 2021

Izračun ogljičnega odtisa je bil izveden z množenjem podatkov o dejavnosti (kvantitativnih meril, ki ima za posledico emisije TGP, kot so masa, prostornina ali poraba energije) z objavljenimi emisijskimi faktorji (običajno izraženimi kot CO2-e / količino podatka o dejavnosti). Časovni razpon potenciala globalnega segrevanja (GWP), uporabljen v izračunih, je 100 let.

Izračuni prihrankov TGP so bili narejeni na podlagi emisijskih faktorjev, podanih v Environmental Panel on Climate Changes IPCC [4] in sorodnih dokumentih (UK Department for Environment, Food and Rural Affairs – DEFRA [5] ter podatkovni bazi Ecoinvent 3.8 [6].

4 DEFINICIJA CILJEV ZA ZMANJŠANJE EMISIJ TGP

Pri definiciji ciljev, ki jih mora doseči družba UNIOR d. d., ali katerokoli drugo proizvodno podjetje, je treba upoštevati pričakovanja oz. zahteve ključnih kupcev. Na tem področju vlada še precej neznank in negotovosti. Pričakovane zahteve različnih kupcev, predvsem iz avtomobilske industrije, niso vedno izražene natančno in se med seboj nekoliko razlikujejo. Najbolj ambiciozne zahteve kupcev lahko povzamemo na naslednji način:

- treba je znižati emisije TGP v obsegih 1-3,
- cilj je ogljična nevtralnost do leta 2040,
- ničelne emisije je treba doseči brez uporabe mehanizma ogljične izravnave,
- zaželena je uporaba električne energije, ki je pridobljena iz obnovljivih virov energije.

5 PPRIPRAVA AKCIJSKEGA NAČRTA

5.1 Uvodna pojasnila

V zbiranje predlogov je potrebno vključiti predstavnike vseh oddelkov in tudi vodstvo podjetja. Zbrane predloge je treba oceniti (glede izvedljivosti) in ovrednotili (glede potenciala zmanjšanja emisij TGP). Zbrane aktivnosti je smiselno razdeliti v 3 kategorije:

- Kratkoročne (do leta 2025). Sem smo uvrstili vse aktivnosti, ki so že v teku ter nove predlagane aktivnosti, ki so stroškovno nevtralne ali njihova uvedba ne bo povzročila tako visokih stroškov, da bi ogrozila ekonomsko uspešnost poslovanja družbe Unior d. d. Vpliv teh

aktivnosti na ogljični odtis družbe Unior d. d. je seveda omejen;
- Srednjeročne (do leta 2030). Sem smo uvrstili aktivnosti, ki bodo zakonsko predpisane ali je zanje predvideno, da bodo do takrat že stroškovno sprejemljive (gre za tehnologije, ki so trenutno še v fazi razvoja);
- Dolgoročne (do leta 2040). Sem smo uvrstili aktivnosti, ki imajo sicer največji potencial, a temeljijo na tehnologijah, ki trenutno še niso zrele za uporabo, njihovo uvajanje pa je zaenkrat povezano z nesprejemljivo visokimi stroški, ki so lahko nekajkrat večji od trenutnih stroškov.

5.2 Aktivnosti za razogličenje

Med načrtovane kratkoročne aktivnosti smo uvrstili:
- nadgradnjo energetskih bilanc in kazalnikov rabe energije ter redno spremljanje in analiza rezultatov,
- uvedba ocenjevanja dobaviteljev vgrajenih materialov in sestavnih delov ter ponudnikov opreme na podlagi okoljskih kriterijev,
- izobraževanje in ozaveščanje zaposlenih v proizvodnji, tehnološki pripravi in energetiki,
- udeležba in izvajanje informativnih, in izobraževalnih dogodkov,
- optimizacija rabe odpadne toplote za ogrevanje stavb z organizacijskimi in manjšimi investicijskimi ukrepi,
- optimizacija interne logistike,
- nakup električnih viličarjev,
- nakup električnih službenih vozil,
- optimizacija delovanja hladilno prezračevalnih sistemov,
- zamenjava FLUO sijalk za LED sijalke,
- izbira dobavitelja ogljično nevtralne energije z minimalnim ogljičnim odtisom,
- uvedba organizacijskih in tehnoloških izboljšav, ki bodo zmanjšale porabo materiala (manjši izmer, optimiranje delovanja strojev, optimiranje tehnoloških rešitev, ipd.),
- podaljšanje življenjske dobe namenskih preoblikovalnih orodij, rezilnih orodij in ostale opreme,
- izboljšanje sodelovanja z lokalnimi dobavitelji,
- krajši transporti se izvedejo z ogljično nevtralnimi tovornimi vozili,
- zmanjšanje količin odpadkov in prekvalifikacija odpadkov v surovine, ki jih je mogoče ponovno uporabiti,
- zmanjšanje obsega službenih poti,
- zamenjavo letalskih prevozov z uporabo drugih oblik javnega prevoznih na službenih poteh (npr. hitrega vlaka),
- spodbujanje uporabe koles in javnega prevoza za prevoz na delo…

Med načrtovane srednjeročne aktivnosti smo uvrstili:
- izrabljanje odvečne toplote iz procesov s toplotno črpalko,
- energetsko sanacijo sistema ogrevanja industrijske hale,
- prehod na OVE za ogrevanje,
- izgradnjo fotovoltaične elektrarne,
- postopna zamenjava dražje opreme z novo z boljšim izkoristkom,
- uporabo nizkoogljičnega jekla (primarnega in z večjim deležem recikliranega materiala),
- organizacijo skupnega prevoza na delo za zaposlene z izbranih oddaljenih lokacij,
- izbiro dobaviteljev in ponudnikov opreme, ki zagotavljajo nižji ogljični odtis (pri tem se ne sme poslabšati ogljični odtis med uporabo opreme, ker bo v tem primeru celoten učinek nasproten od želenega)…

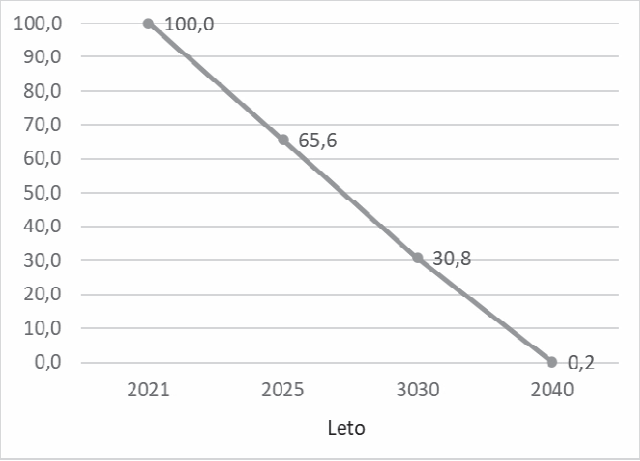
Med načrtovane dolgoročne aktivnosti smo uvrstili:
- dokončen prehod iz ogrevanja stavb s fosilnimi gorivi na obnovljive vire energije,
- zamenjavo plinskih peči in drugih plinskih naprav za električne peči ali uporabo sintetičnega plina,
- transporti se v celoti izvedejo z ogljično nevtralnimi tovornimi vozili,

- na poslovnih poteh se uporabljajo izključno ogljično nevtralni načini javnega prevoza.
- izbiro dobaviteljev in ponudnikov, ki so ogljično nevtralni…

Vsako predlagano aktivnost smo tudi ovrednotili. Projektna skupina je najprej ocenila, za koliko naj bi se zmanjšala poraba materiala, energije, potrebe po prevozu, ipd., nato pa je bil izračunano tudi pričakovano zmanjšanje emisij TGP.

6 REZULTATI

Načrtovano znižanje ogljičnega odtisa družbe UNIOR d. d. do leta 2040, zaradi predvidenih aktivnosti, ki so opisan v poglavju 5, je grafično prikazano na sliki 2. Na navpični osi je naveden ogljični odtis (prikazan v deležu, glede na izhodiščno leto 2021), na vodoravni osi pa leta od 2021, ko je bil izračunan ogljični odtis do leta 2040, ko želi družba UNIOR d. d. postati ogljično nevtralna.



Slika 2: Načrtovano znižanje ogljičnega odtisa družbe UNIOR d. d. do leta 2040

Načrtovane aktivnosti omogočajo doseganje ogljične nevtralnosti do leta 2040. Znižanje omogoča tudi doseganje zastavljenih vmesnih ciljev (do leta 2025 -25 % glede na izhodiščno leto 2021 in do leta 2030 – 50 % glede na izhodiščno leto 2021).

7 SKLEP

Predlagani akcijski načrt za razogličenje omogoča doseganje zahtev naročnikov iz avtomobilske industrije, ki so bolj ambiciozne od zavez Evropske unije.

Akcijski načrt temelji na številnih predpostavkah glede prodajnega programa, obsega poslovanja, števila zaposlenih, investiranja itd. do leta 2040. Izpostaviti velja predpostavko, da bo ostala nespremenjena potreba po nakupljenih materialih. V naslednjih letih se bo zagotovo bistveno povečal delež izkovkov iz aluminija. Za koliko, v tem trenutku še ni mogoče napovedati, zagotovo pa bo to bistveno vplivalo na ogljični odtis družbe Unior d. d.

Akcijski načrt je zastavljen zelo ambiciozno, tako da predvideva doseganje razogličenja oz. ogljične nevtralnosti po obsegih 1-3 brez uporabe mehanizma ogljične izravnave.

V prihodnje bo potrebno natančno spremljati zahteve kupcev po področju zniževanja emisij TGP in glede na nova spoznanja sproti korigirati pričujoč akcijski načrt za razogličenje družbe Unior d. d.

Družba UNIOR d. d. že ima sistem za avtomatičen izračun emisij TGP obsegov 1 in 2. Predlogi za nadaljnje delo je nadgradnja sistema, ki bo omogočal še avtomatičen sproten izračun emisij TGP obsega 3. Tak sistem bo omogočal boljši sproten nadzor nad emisije TGP vseh obsegov (1-3) in sprotno poročanje zainteresiranim kupcem.

Viri:

[1] GHG protocol - Corporate Standard (https://ghgprotocol.org /corporate-standard)
[2] Standard ISO 14064-1:2018
[3] Interni dokumenti družbe Unior d. d.
[4] Baza emisijskih faktorjev IPPC (https://www.ipcc.ch/data/)
[5] Baza emisijskih faktorjev DEFRA (https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-environment-food-rural-affairs)
[6] Baza emisijskih faktorjev Ecoinvent (https://ecoinvent.org/)

TRAJNOSTNI PROIZVODNI SISTEM

Matevž RESMAN, Marko ŠIMIC, Niko HERAKOVIČ
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

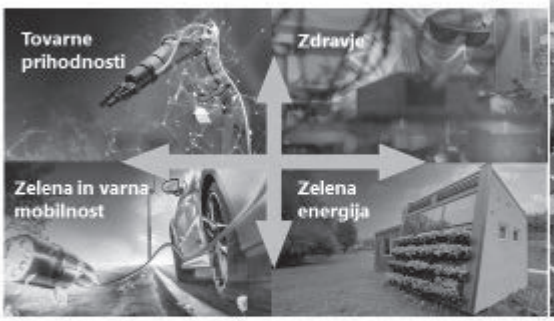
Prihajajoči Industrijski Forum IRT bo letos osvetlil ključno temo trajnostne transformacije podjetij. Z zavedanjem naraščajočega pomena trajnostnega razvoja bodo pogovori na forumu nanesli tudi na pristop k zmanjšanju ogljičnega odtisa, krožnemu gospodarstvu, družbeni odgovornosti podjetij in druge ključne vidike trajnostnega poslovanja.

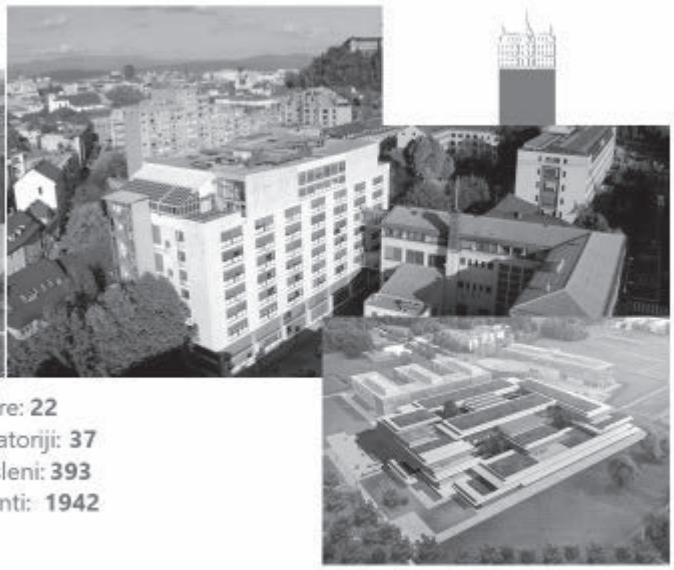
Trajnost v proizvodnem okolju se nanaša na prakse, ki omogočajo proizvodnjo blaga ali storitev na način, ki zmanjšuje negativne vplive na okolje, varuje naravne vire in podpira dolgoročno vzdržnost. To lahko vključuje uporabo obnovljivih virov energije, recikliranje odpadkov, zmanjšanje porabe vode, optimizacijo procesov za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov ter zagotavljanje varnih in zdravih delovnih pogojev za zaposlene.

Poleg okoljske trajnosti je pomembno tudi, da proizvodnja zagotavlja socialno trajnost, kar pomeni spoštovanje pravic delavcev, vključno s poštenimi plačami, varnimi delovnimi pogoji in enakopravnimi priložnostmi. Trajnost v proizvodnem okolju torej zajema tako okoljske kot tudi socialne vidike in je ključna za dolgoročni uspeh podjetij ter dobrobit skupnosti in okolja.

University *of Ljubljana*
Faculty *of Mechanical Engineering*

RAZISKOVALNA PODROČJA





LASIM

Katedre: **22**
Laboratoriji: **37**
Zaposleni: **393**
Študenti: **1942**

STAGE

MOTIVACIJA

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

EUROPEAN GREEN DEAL

Corporate Sustainability Reporting Directive

- Gospodarski sektorji dosegajo ničelne emisije CO_2, da omejijo dvig svetovne povprečne temperature na 1,5 °C
- Zmanjšajte podnebne spremembe, ki imajo različne učinke na okoljske, človeške in gospodarske vidike
- Evropa na poti trajnosti in blaženja podnebnih sprememb skozi cilje »20-20-20« opredeljene za leto 2030
- Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov za 40 % glede na vrednosti iz leta 1990
  Najmanj 32 % porabe obnovljive energije

STAGE

Paolo Renna, Sustainability in Production Systems through the reduction of energy consumption and use of renewable energy sources, ICQIS 2022, International conference on Quality Innovation and Sustainability

KORISTI ZA PODJETJA

1. Podjetja bodo vedela več o proizvodnih procesih in sistemih
2. Podjetja bodo vedela več o trajnostni proizvodnji
3. Kako lahko ključni dejavniki, tehnologije spodbujajo trajnost v proizvodnji
4. Pridobite nove ideje, kako vpeljati trajnost v proizvodnjo
5. Pridobite znanje, kako nadaljevati z implementacijo trajnostnih proizvodnih sistemov

STAGE

4

TRAJNOSTNA PROIZVODNJA

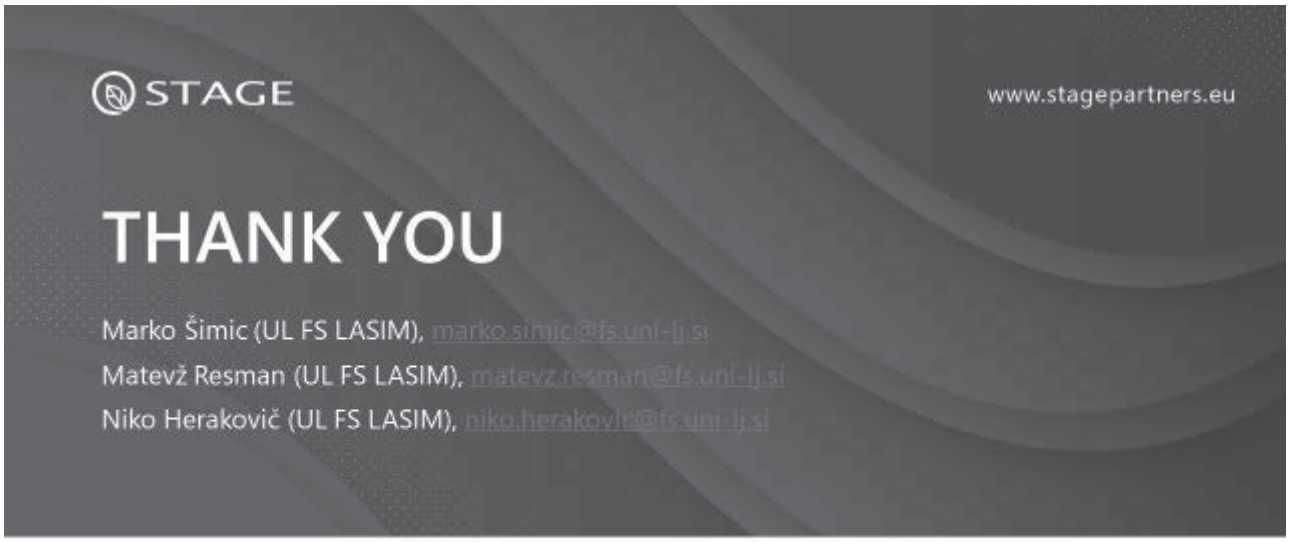
Ključna načela in prakse trajnostne proizvodnje:

- ✓ Učinkovitost virov
- ✓ Preprečevanje onesnaževanja
- ✓ Uvajanje obnovljivih virov energije
- ✓ Trajnostni materiali
- ✓ Zmanjšanje odpadkov in recikliranje
- ✓ Ocena življenjskega cikla (LCA)
- ✓ Zeleno oblikovanje izdelkov
- ✓ Varčevanje z energijo in vodo
- ✓ Družbena odgovornost
- ✓ Sodelovanje in preglednost

STAGE

I=PAT. Conceptual model of the major factors that influence the environmental impact: I – impact; P – population; A – affluence; T - technology

5



European Commission | Horizon Europe
European Union funding
Grant AG. N°101058693

MERILNNI IZZIVI V SODOBNI INDUSTRIJI

Blaž KOROTAJ
MEREL d. o. o.

IZVLEČEK

Enko hitro, kot se razvija tehnologija za izdelavo in predelavo izdelkov ter materialov, se razvija tudi merilna oprema. Z novimi spoznanji in idejami nam omgoča meritve, ki do sedaj niso bile možne ali pa so bile zahtevne in dolgotrajne. V prispevku bomo pokazali kako s sodobno opremo strankam omogočimo meritve vzorcev, ki služijo za kontrolo proizvodnje, nadzor nad vhodnimi surovinami in zagotavljajo kvalitetne končne izdelke.

1 UVOD

Podjetje Merel se že več kot tri desetletja uveljavlja kot ključni igralec na trgu, specializiran za prodajo in servisiranje merilne opreme, ki je nujna za kemijsko analizo. V sodobni industriji, kjer je kakovost izdelkov neposredno povezana z natančnostjo in zanesljivostjo meritev, Merel stoji v ospredju z zagotavljanjem vrhunskih rešitev.

Naše poslanstvo presega zgolj dobavo opreme; s strokovnostjo in predanostjo se lotevamo merilnih izzivov, s katerimi se srečujejo napredna podjetja. Kemijska sestava materialov in z njo povezane lastnosti izdelkov so ključni parametri, ki jih je naša tehnologija zmožna natančno analizirati.

2 ANALIZA KEMIJSKE SESTAVE MATERIALOV ZA INDUSTRIJSKE POTREBE

2.1 Tehnologija

V industrijskem okolju so za hitre analite uporabne naslednje uveljavljene tehnologije:

[1]LIBS:

LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) je tehnika analize snovi, ki temelji na uporabi laserskega pulza za ustvarjanje plazme na površini vzorca. Ko laser z visoko energijo zadene vzorec, se ustvari plazma, ki oddaja svetlobo. Ta svetloba se analizira za določitev kemične sestave vzorca.

[2]XRF:

Spektroskopija z rentgensko fluorescentno (XRF) je nedestruktivna analizna tehnika, ki se uporablja za določanje kemijske sestave materialov. Pri tej metodi se vzorec obseva z rentgenskim sevanjem, kar povzroči pojav fluorescence. Oddana svetloba je značilna za vsak kemijski element in omogočajo identifikacijo in kvantifikacijo.
Za industrijske aplikacije lahko XRF spektrometre uporabljamo na več načinov, saj nam omogočajo določanje celokupne sestave, meritve debelin galvanskih plasti in za določevanje elementov v sledovih.
Spektrometri uporabljajo dva različna tipa kalibracij in sicer kalibracije, kreirane na podlagi fizikalnih teoretičnih predpostavk (FP-fundamental parameters) in kalibracije, ki so narejene z meritvami standardov (etalonov).

[3]OES:

Optična emisijska spektroskopija (OES) je analitična tehnika, ki se uporablja za identifikacijo in merjenje kemičnih elementov v vzorcih. Pri tej metodi se vzorec izpostavi visokim temperaturam, kar povzroči emisijo svetlobe. S pomočjo spektrometra se nato izmeri spekter svetlobe, ki ga oddaja vzorec, in analizira za identifikacijo prisotnih elementov ter določitev njihove

koncentracije. OES je pogosto uporabljena za hitro in natančno kemično analizo različnih materialov.

2.2 Oblika instrumenta

Ko je govora o merilni opremi je vedno eno izmed prvih vprašnj, povezanih z uporabo merilnika, njegova oblika. Pri tem imamo v mislih izvedbe v obliki namiznih spektrometrov ali pa prenosne oziroma mobilne izvedbe.

Namizni instrument:

Kot pove že zasnova, potrebujemo za namizni merilni instrument ustrezen prostor, kjer bo nameščen, kar pa ni vedno enostavna naloga. Upoštevati moramo, da tovrstna oprema potrebuje še prostor za krmilni računalnik-delovno postajo in v veliko primerih tudi tehnične pline.

Mobilni instrumenti:

Za izvajanje meritev izven kontroliranega okolja laboratorija ali merilne sobe potrebujemo premičen instrument. Odvisno od merilne tehnologije, ki jo potrebujemo in zahtevane natančnosti, lahko izbiramo med tako imenovanimi mobilni in ročnimi instrumenti. Med mobilne štejemo tiste, ki jih je možno premikati s posebno pripravo (transportni voziček ali podobno) in ob tem potrebujejo še kakšen pribor ali tehnični plin ter so praviloma večjih dimenzij, ročni spektrometri pa kot namiguje še samo ime ponujajo pravo mobilnost.

2.3 Oblika vzorca

Izbira instrumenta pa ni odvisna samo od tehnologije in oblike instrumenta, nanjo v veliki meri vpliva tudi sama oblika vzorca. Z nekaterimi instrumenti lahko analizirimo tekoče, praškaste in trdne vzorce, z nekaterimi pa smo omejeni na trdno obliko.
Namizni sistemi praviloma potrebujejo standardizirano obliko vzorca, ki jo narekuje oblika prostora za vzorce ali katera druga fizikalna omejitev. Tako naprimer v namizne XRF spektrometre vzorce uvajamo v valjastih posodicah ali tabletah s predpisanimi dimenzijami, izmed katerih so najbolj tipične tablete z zunanjim premerom 32mm in minimalno debelino 5mm. Odvisno od izvedbe sistema pa so možne tudi različne variacije.

Analiza večjih kosov vedno predstavlja izziv, saj si želimo kar se da zmanjšati postopke priprave vzorcev, velikokrat pa vzorcev tudi ni možno zamanjšati z rezanjem, mletjem ali podobnimi procesi.

Druge omejite v katerimi se lahko srečamo so še:

- premičnost vzorca (ali lahko vzorec na kakršen koli način premikamo, na primer: analiza kemijske sestave brona v kipu),
- velikost merilne točke,
- razpoložljiva količina vzorca

3 MERITVE V PRAKSI

3.1 Analiza kemijske sestave granulata iz reciklaže blisterjev

Blister ali "Tabletni mehurček" je embalaža za tablete, kjer je vsak posamezni odmerek zaprt v ločenem predelu, običajno izdelan iz plastike ali aluminijaste folije.
V sloveniji imamo podjetje, ki se ukvarja s predelavo embalaže za tablete. Iz odpakov izdelujejo aluminijaste brikete, aluminijev granulat in PVC granulat.

Na nas so se obrnili z željo po rešitvi, ki bi omogočala meritve kemijske sestave vseh treh tipov vzorcev, po možnosti v proizvodnem obratu, direktno v 'BIG BAG' vrečah.

Elementa, ki posebej zanimata stranko sta Aluminij (Al) in Klor (Cl), poleg tega pa je za analizo aluminijevih briketov zanimiva celotna sestava z vsemi legirnimi elementi.

3.1.1 Aplikativna rešitev

Po pogovoru s stranko smo imeli za nalogo poiskati delujočo rešitev, pri čemer smo upoštevali naslenja dejstva:

- instrument mora biti mobilen
- vzorci so trdne in praškaste oblike

- kalibracijski standardi ne obstjajo ali pa jih je na voljo zelo malo

Izbira instrumenta je bila izziv, saj ni obstajala nobena tovarniška rešitev, ki bi omogočala hkratne meritve Al in Cl, zaradi pomanjkanja kalibracijskih standardov pa tudi ni bilo možnosti, da bi izdelali lastno kalibracijsko krivuljo.
Glede na željo po fleksibilnem merilnem sistemu, smo strankin vzorec aluminijevega granulata spektralno primerjali z eno od nizkolegiranih aluminijevih zlitin. Uporabili smo tovarniško kalibracijo za zlitine, ki deluje na podlagi fiziklanih parametrov.
Razlika med vzorci je bila opazna in zadostna, da je iz spektra bilo možno izračunati vsebnost klora, vendar pa smo naleteli na omejitev, saj klor in aluminij nista skupaj vključena v standardni nabor elementov tovarniških kalibracij.

Skupaj z aplikacijskimi specialisti proizvajalca merilne opreme smo zato izdelali posebno kalibracijo, ki ima prilagojen elementarni nabor, hkrati pa uporabnikom omogoča vso fleksibilnost tovarniških kalibracij.

Uporabniku je na ta način omogočena vse funkcionalnost, ki so jo želeli za svoje produkte, analiza pa so sedaj izjemno dostopne in na voljo v minutah namesto v dnevih ali tednih. kot je to bilo pred uporabo prenosnega spektrometra.

3.2 Analiza nanosa pasivacijskega sloja na aluminijaste dele v avtomobilski industriji

Aluminij v avtomobilski industriji ni novost, saj predstavlja ključen material za doseganje nižje teže vozil. Z razvojem baterijskih vozil se aluminij pojavlja v vseh komponentah karoserije, tudi v akumulatorskih blokih.

Nezaščitem aluminij je podvržen koroziji, kemijskemu procesu oksidacije, pri katerem se na površini kovinskih kosov tvori aluminijev oksid, ki povzroči degradacijo posameznih kosov in lahko ima neželene posledice. Iz tega razloga aluminij zaščitimo pred zunanjimi vplivi s pomoč procesov, kot so luženje, poliranje, brušenje, ščetkanje, eloksiranje, pasiviranje in drugi.

Na nas se je obrnila stranka, ki se ukvarja s pasiviranjem aluminijastih kosov za avtomobilsko industrijo, z željo po analizi nanosa titana na alumijaste kose. Količine titana so zelo majhne, rang je 5-15 mg/m2.

Nadaljna zahteva je bila, da lahko napravo uporabljajo kjerkoli v proizvodnem obratu, na terenu pri kupcih.

3.2.1 Aplikativna rešitev

Aplikacijo meritve kovinskega nanosa, za katero se tipično uporablja namizni XRF spektrometer, smo zato morali dodelati v ročni XRF spektrometer.

Površina merilnega mesta je velika komaj dober cm2, kar pomeni, da mora biti spektrometer zmožen zaznati titan v količini 5-15 mikrogramov.

Po primerjalnem testiranju etalonov z nanosom 3,1mg/ in kosi brez nanosa, smo potrdili, da je aplikacija s prenosnim spektormetrom možna, vendar pa je potrebno izdelati lastno kalibracijo ker tovarniška ne obstaja.

Za izdelavo kalibracije smo potrebovali etalone z znanim nanosom, ki smo jih vnesli kot točke na kalibracijski krivulji.
Testiranje kalibracijske krivulje je bilo uspešno zaključeno po tem, ko smo na podlagi meritev etalonov dosegali sprejemljivo natančnost.

Kasneje smo za isto stranko po enakem postopku izdelali še eno kalibracijo, ki bo uporabljena za pasivacijski nanos krom-cirkonijeve (Cr, Zr) zmesi.

Omeniti je potrebno, da je kljub izdelavi novih kalibracij, instrument še vedno uporaben za klasične merilne metode s katerimi identificiramo zlitine.

Uporabniki v tem podjetju so s tem pridobili široko uporaben spektrometer, ki ga lahko koristijo za meritve nanosov, identifikacijo zlitine vhodnih surovin, sortiranje odpadkov in vzdrževalna opravila.

3.3 Analiza elementov v sledovih v odpadnem materialu in analiza kemijske sestave stekla z eno aparaturo.

Stranski produkti ene industrije so lahko material za proizvodnjo drugega izdelka. Ena od Slovenskih steklarn tako prodaja svoj stranski produkt – sadro, podjetjem, ki se ukvarjajo z izdelavo mavčnih plošč.
Sadra je kalcijev sulfatni mineral s formulo $CaSO4•2H2O$. Kot stranski proizvod pa lahko vsebuje tudi različne primersi, ki so željene ali nezaželjene. Problematične snovi, ki se lahko pojavijo v materialu so težke kovine, ki lahko negativno vplivajo na zdravje. V našem primeru se je stranka zanimala za analizo vsebnosti svinca (Pb).

V laboratoriju naročnika so za analizo sadre dolgo časa uporabljaji metodo atomske absorbcije, ki pred analizo zahteva pripravo vzorca z raztapljanjem v kislini. Kasneje se vzorci pomerijo na analizatorju, ki za svoje delovanje porablja acetilen in dušikov oksid.
Instrument za analizo potrebuje še drug pribor, zato so na strani naročnika želeli meritve čim bolj poenostaviti in poceniti.

Ker pa niso merili smo sadre, ampak tudi steklo, je bila želja, da nov instrument omogoča oboje.

3.3.1 Aplikativna rešitev

Za aplikacijo, ki jo želijo izvajati v laboratoriju naročnika ne obstaja nobena tovarniška rešitev, zato smo morali naprej določiti ustrezen tip analizatorja. Vzorci sadre so praškaste oblike, zato zanje ni bil primerna druga metoda kot XRF, stranka je želela namizno izvedbo.

Na voljo smo imeli velik nabor vzorcev z znano kemijsko sestavo, pridobljeno s strani zaupanja vrednega laboratorija, ki smo jih lahko uporabili za izdelavo kalibracijske krivulje. Pri tem je bil pomembrn koncentracijski razpon v vzorcih, saj to predstavlja glavno omejitev kalibracijske krivulje.

Najprej je bila narejena sekvenca testnih meritev, kjer smo primerjali vzorce brez svinca, vzorec z najnižjo in najvišjo vsebnostjo. Tako smo določili najprimernejše merilne pogoje.

Po testnih meritvah smo izdelali kalibracijsko krivuljo z majhno statistično napako, celoten proces pa smo optimizirali za čim večjo enostavnost uporabe.

Končna rešitev je zelo hiter postopek analize, kjer se vzorec nasuje v namenski lonček, se vstavi v spektrometer, nato pa s pritiskom enega gumba zaženejo analizo. Celoten postopek priprave vzorca in meritev traja približno 5 minut in je presegel pričakovanja uporabnikov.

V drugi fazi smo za stranko izdelali kalibracijo za analizo celokupne kemijske sestave stekla, kjer smo kot točke na kalibracijski krivulji prav tako uporabili vzorce z znano sestavo.
Uporabniki so imeli željo po minimalni pripravi vzorcev, zato smo metodo prilagodioli za, uporabo steklenih diskov debeline 10mm , ki jih uporabljo tudi za analizo barve.

Kalibracija je toliko odprta, da lahko vanjo kadarkoli dodajo nove vzorce in s tem širijo merilni razpon.

Znana slovenska steklarna je tako pridobila fleksibilno merilno orodje, ki občutno pohitri analize kritičnih vzorcev, poleg tega pa je tudi cenejša in lažja za uporabo.

4. SKLEP

Z zgoraj naštetimi primeri smo prikazali, da je v proizvodnih procesih s pomočjo ustrezno zasnovane metode in pravilne izbire orodja možno izvajati meritve, ki jih želimo, ne glede na to ali obstaja tovarniška rešitev ali ne.
Dobro poznavanje merilnih tehnik in proizvodnega procesa je kombinacija, ki je ključna za uspeh in podjetjem omogoči analizo, ki jo potrebujejo, na način, ki jim je najbolj po meri.

Viri:

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Laser-induced_breakdown_spectroscopy
[2] https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_fluorescence
[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_spectrometer

IZLOČANJE ZRAKA IN PENJENJE HIDRAVLIČNIH OLJ

Maja VIDMAR, Aleš HROBAT, Milan KAMBIČ
OLMA d.o.o.

IZVLEČEK

Med lastnostmi olja sta zelo pomembna izločanje zraka in nagnjenost k penjenju. Tako je predvsem zato, ker so oljne polnitve vse manjše in s tem povezani obtočni časi krajši. Olje ima vse manj časa, da izloči zrak v rezervoarju, preden pride ponovno v obtok. Ko uporabljamo aditive za zmanjšanje nagnjenosti olja k penjenju, običajno zmanjšamo tudi hitrost sproščanja zraka iz olja. Zato je uskladitev teh dveh lastnosti za proizvajalce maziv izziv.

V članku bodo predstavljene meritve penjenja in izločanja zraka iz olja. Zahteve za nova hidravlična olja bodo podane kot referenčna točka. Prikazan bo vpliv različnih vrst in viskoznostnih razredov svežih mineralnih hidravličnih olj. Predstavljeni bodo rezultati meritev različnih vrst baznih olj. Za primerjavo bodo podani tudi rezultati enega od rabljenih olj.

1 UVOD

Hidravlična tekočina je bistvena sestavina, ki je pogosto spregledana. Opravlja različne naloge, vključno z zmanjšanjem trenja in obrabe, preprečevanjem puščanja, odvajanjem toplote, odstranjevanjem obrabnih delcev in kontaminantov ter zaščito površin pred rjo in korozijo. Kakovost olja, ki se zahteva za hidravlične sisteme, je odvisna od namena uporabe in uporabljenih komponent [1]. Viskoznost, indeks viskoznosti, zaščita pred obrabo, oksidacijska stabilnost, lastnosti penjenja in izločanja zraka, sposobnost ločevanja vode, zaščita pred korozijo in združljivost z ostalimi sestavinami hidravličnega sistema, so pomembne značilnosti hidravličnih tekočin.

Izločanje zraka in nagnjenost k penjenju sta kritični lastnosti hidravličnih olj, še posebej, ker so oljne polnitve vse manjše in obtočni časi krajši. Proizvajalci maziv se soočajo z izzivom uravnoteženja teh dveh lastnosti. Ta članek predstavlja meritve tako penjenja kot izločanja zraka iz olja, skupaj z zahtevami za sveža hidravlična olja kot referenčno točko. Prikazan bo vpliv različnih viskoznih razredov svežih mineralnih hidravličnih olj ter rezultati meritev za različne vrste baznih olj, vključno z rezultati meritev rabljenega hidravličnega olja.

2 DELEŽ ZRAKA V OLJU IN POSLEDICE

Hidravlične naprave imajo običajno delež neraztopljenega zraka okoli 5 vol. % do 10 vol. %. To še posebej velja za mobilno hidravliko. Pogosto tekočina ne more odstraniti zračnih mehurčkov, nečistoč in se ohladiti, kar lahko povzroči čezmerno penjenje olja. Zrak se lahko zaradi različnih razlogov in v različnih oblikah ujame v notranjosti naprave. Ujeti zrak je viden s prostim očesom, saj tvori peno ali drobne zračne mehurčke. Druga možnost je, da se raztopi v tekočini in ostane "neviden". »Nevidni« (raztopljeni) zrak je mogoče zaznati tudi v obliki mehurčkov, ko se spremenijo delovni pogoji (npr. tlak), kar je prav tako tesno povezano z zasnovo posameznih hidravličnih komponent [2], [3].

Najpogostejši vzroki prisotnosti zraka v olju so zagotovo vdor zraka skozi netesna mesta (t.i. prezračevanje), neustrezna izvedba komponent hidravličnega sistema (npr. rezervoar, cevovodi, ventili in ventilski bloki...), ali znatne neustrezne spremembe delovne točke, povezane z zasnovo hidravličnih naprav.

Pene, ki se pojavljajo na površini tekočine v rezervoarju, niso neposredno nevarne in ne vplivajo na stisljivost hidravlične tekočine. Zračni

mehurčki, ki so v sami tekočini, so nevarni, kar vodi do različnih posledic. Prisotnost zračnih mehurčkov v napravi vpliva predvsem na stisljivost oziroma togost tekočine, ta pa ima večji ali manjši vpliv na delovanje same hidravlične naprave, kot so natančnost premikanja aktuatorja, pojav nihanj, prenos signalov, potreba po spremembi nastavitev parametrov regulatorja itd.

Hidravlično olje, ki vsebuje zrak, poslabša mazalne sposobnosti samega olja in negativno vpliva na staranje olja. To pogosto privede do prezgodnje oksidacije olja, ali celo do njegovega pregorevanja, uničenja tesnil in posledično puščanja, poleg tega lahko pride do kavitacije na črpalki in drugih elementih [3], [4].

Ko se pojavijo zračni mehurčki, jih moramo, ne glede na vzrok njihovega izvora, čim hitreje odstraniti iz hidravličnega sistema. Učinkovitost odstranjevanja zračnih mehurčkov je odvisna od številnih dejavnikov [5]:

– od oblike in dimenzij rezervoarja,
– od pogojev pretoka v rezervoarju,
– od načina vračanja hidravlične tekočine nazaj v rezervoar,
– od pogojev delovanja v hidravličnem sistemu, npr. delovne temperature,
– pa tudi od vrste vgrajene hidravlične tekočine, največkrat mineralnega hidravličnega olja.

3 MERITVE IZLOČANJA ZRAKA IN PENJENJA

Da bi preprečili ali zmanjšali negativne učinke zraka v olju, je pomembno, da olje hitro ločuje zrak. Ta parameter poznamo kot lastnost izločanja zraka in jo merimo v laboratoriju. Dejavniki, kot so vrsta baznega olja, aditivi, viskoznost in temperatura, lahko vplivajo na vrednost izločanja zraka (v angleščini je to ARV-Air Release Value, uporablja se tudi okrajšava iz nemščine LAV-Luftabscheidevermögen). Poleg tega lahko nečistoče in zmesi vplivajo na velikost zračnih mehurčkov. Primerjava ARV rabljenega olja s tistim svežega olja, ali predhodna analiza lahko pomaga določiti vzrok za napake pri delovanju ali poškodbe, pa tudi omogoči vpogled v nadaljnjo uporabo olja. S preučevanjem drugih parametrov analize je pogosto mogoče sklepati, zakaj se je vrednost ARV poslabšala.

Za določitev ARV z uporabo standardov ISO 9120 in ASTM D3427 zrak vpihavamo v 200 ml vzorca olja, ki ga analiziramo. Čas, v katerem se zrak izloči iz olja (dokler ne ostane v olju le 0,2 vol. % zraka), merimo v minutah. Predgret zrak izpuščamo skozi šobo pri fiksnem tlaku za določen čas, razpršeni zračni mehurčki pa postopoma uhajajo iz olja zaradi njegove gostote. Ta proces se grafično beleži, dokler se gostota ne spreminja več. Čas od trenutka, ko ustavimo dovod zraka, do tedaj, ko se gostota ne spreminja več, je znan kot čas izločanja zraka [6]. Napravo, ki jo uporabljamo za določanje izločanja zraka, prikazuje slika 1.

Slika 1: Naprava za določanje izločanja zraka

Meritve smo opravili v skladu z ASTM D3427. Za zagotovitev ustrezne primerjave smo vse vzorce merili pri 50 °C ne glede na njihovo viskoznost.

Za oceno lastnosti penjena hidravličnih olj je mogoče uporabiti nekaj standardov, kot so ASTM D892, DIN 51566 in IP 146. Uporabili smo metodo ASTM D892. Ta metoda vključuje določanje značilnosti penjenja mazalnih olj pri 24 °C in 93,5 °C. Meritve smo izvedli z napravo Linetronic Technologies LT/FB - 192000 [7], prikazano na sliki 2.

Slika 2: Naprava za določanje lastnosti penjenja mazalnih olj [7]

Postopek merjenja se začne s 190 ml vzorca, ki se segreje na določeno temperaturo v dveh vzporednih meritvah in treh sekvencah. Predgret zrak se preko sferičnega, poroznega kamna dovaja v vzorec olja. To povzroči disperzijo zraka v olju v obliki drobnih mehurčkov, ki se dvignejo na površino in ustvarijo plast pene. Količina pene se izmeri takoj po prenehanju dovajanja zraka in ponovno po 10 minutah. Tabela 1 opisuje posebne parametre za temperaturo, pretok zraka in čas prezračevanja za vsako sekvenco.

Tabela 1: Parametri za vsako sekvenco pri določanju lastnosti penjenja mazalnih olj

Sekvenca	Temp. °C	Pretok zraka ml/min	Čas vpihavanja zraka min	Čas čakanja min
I.	24	94	5	10
II.	93,5			
III.	24			

Da bi zagotovili dolgo uporabno dobo hidravličnega olja v praksi, so bistvenega pomena že začetne vrednosti svežega olja. Zato je pomembno, da lastnosti izločanja zraka in penjenja svežih hidravličnih olj ne presegajo mejnih vrednosti, navedenih v tabeli 2.

Tabela 2: Zahteve za izločanje zraka in penjenje svežih hidravličnih olj

Zahteve za sveža mineralna hidravlična olja					
Oznaka po DIN	HLP 22	HLP 32	HLP 46	HLP 68	HLP 100
Oznaka po ISO	ISO VG 22	ISO VG 32	ISO VG 46	ISO VG 68	ISO VG 100
ARV_{max} 50 °C min	5	5	10	13	21
Penjenje ml Sek. I. Sek. II. Sek. III.	150/0 75/0 150/0				

4 REZULTATI

Rezultate penjenja in izločanja zraka bomo najprej prikazali za različna bazna olja in končno formulirana sveža hidravlična olja, nato pa še za rabljena hidravlična olja.

4.1 Penjenje in izločanje zraka baznih olj in svežih hidravličnih olj

Sveža hidravlična olja so bila pripravljena po formulaciji, ki ustreza zahtevam ISO VG.

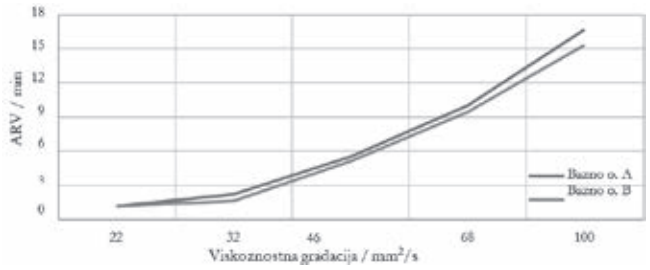
Za primerjavo smo hidravlična olja pripravili z običajnimi baznimi olji SN 150 in SN 600 dveh različnih proizvajalcev (Bazno olje A in Bazno olje B). Zahteve ISO VG so bile dosežene z enako količino aditivov, ki jih poznajo strokovnjaki na tem področju.

Tabela 3 združuje rezultate meritev penjenja in izločanja zraka, viskoznosti pri 40 °C in 100 °C in indeksa viskoznosti.

Slika 3 prikazuje razmerje med časom izločanja zraka pri 50 °C in viskoznostno gradacijo olja v obliki grafa.

Tabela 3: Primerjava viskoznosti, penjenja in izločanja zraka hidravličnih olj na osnovi dveh različnih virov baznega olja

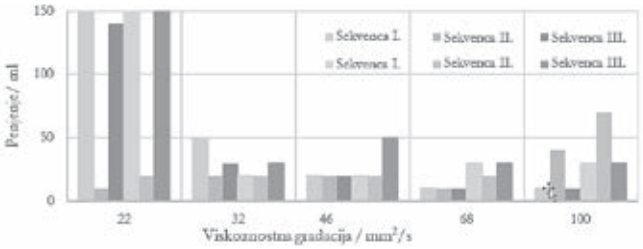
Bazno olje A						
Hidravlično olje ISO		VG 22	VG 32	VG 46	VG 68	VG 100
Viskoznost/ mm^2/s	40 °C	22,22	32,65	47,23	69,37	100,7
	100 °C	4,418	5,565	7,050	9,007	11,37
Indeks viskoznosti		108,5	107,7	106,5	103,8	98,96
ARV pri 50 °C/min		1,2	2,2	5,5	10,0	16,7
Penjenje/ml	I.	150/0	50/0	20/0	10/0	10/0
	II.	10/0	20/0	20/0	10/0	40/0
	III.	140/0	30/0	20/0	10/0	10/0
Bazno olje B						
Hidravlično olje ISO		VG 22	VG 32	VG 46	VG 68	VG 100
Viskoznost/ mm^2/s	40 °C	22,07	32,36	49,78	69,06	100,5
	100 °C	4,407	5,526	7,273	8,941	11,30
Indeks viskoznosti		109,1	107,2	105,6	102,9	98,18
ARV pri 50 °C/min		1,2	1,6	5,1	9,4	15,3
Penjenje/ml	I.	150/0	20/0	20/0	30/0	30/0
	II.	20/0	20/0	20/0	20/0	70/0
	III.	150/0	30/0	50/0	30/0	30/0



Slika 3: Odvisnost med izločanjem zraka in viskoznostno gradacijo hidravličnih olj

Slika 4 predstavlja lastnosti penjenja hidravličnih olj v odvisnosti od viskoznostne gradacije.

V tabeli 4 so prikazani rezultati viskoznosti, penjenja in izločanja zraka baznih olj A in B.



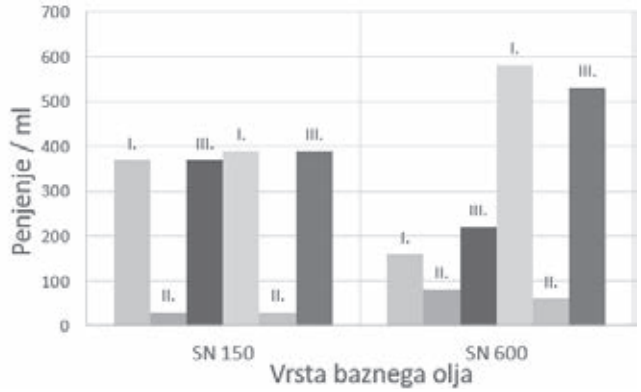
Slika 4: Penjenje hidravličnih olj v odvisnosti od viskoznostne gradacije

Tabela 4: Viskoznost, penjenje in izločanja zraka baznih olj A in B

		Bazno olje A	
		SN 150	SN 600
Viskoznost/ mm^2/s	40 °C	30.00	111.6
	100 °C	5.243	12.07
Indeks viskoznosti		105.5	97.30
ARV pri 50 °C / min		1.1	17.8
Penjenje/ ml	I.	370/0	160/0
	II.	30/0	80/0
	III.	370/0	220/0
		Bazno olje B	
		SN 150	SN 600
Viskoznost/ mm^2/s	40 °C	31.94	111.0
	100 °C	5.441	11.94
Indeks viskoznosti		105.0	96.05
ARV pri 50 °C / min		1.5	11.5
Penjenje/ ml	I.	390/0	580/20
	II.	30/0	60/0
	III.	390/0	530/20

Slika 5 predstavlja rezultate izločanja zraka, slika 6 pa penjenja baznih olj A in B v odvisnosti od začetne viskoznostne gradacije (SN 150 in SN 600).

Slika 5: Odvisnost med izločanjem zraka in viskoznostjo baznega olja



Slika 6: Odvisnost penjenja od viskoznosti baznega olja

Iz rezultatov, zbranih v tabelah 3 in 4, ter prikazanih na diagramih 3, 4, 5 in 6 lahko zaključimo, da je izločanje zraka odvisno od viskoznostne gradacije – višja je viskoznost, težje olje izloča zračne mehurčke. Rezultati hidravličnih olj so primerljivi z lastnostmi izločanja zraka baznih olj, ki smo jih uporabili za pripravo hidravličnih olj.

Penjenje v odvisnosti od viskoznostne gradacije ni pokazalo enakega poteka kot izločanje zraka. Na osnovi rezultatov penjenja baznih olj ne moremo sklepati o penjenju svežih hidravličnih olj.

4.1 Penjenje in izločanje zraka iz rabljenih hidravličnih olj

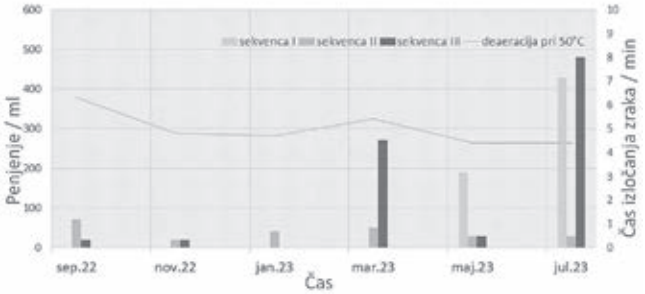
Res je, da je izločanje zraka iz različnih vrst in sestav svežega hidravličnega olja pomembno, vendar imamo v večini industrijskih hidravličnih sistemov veliko večjo količino rabljenega kot pa svežega olja. Prav tako ni nobenega zagotovila, da bo učinkovito izločanje zraka iz svežega olja zagotovilo tudi učinkovito izločanje zraka iz rabljenega olja. Zato so še bolj kot pri svežih oljih pomembni rezultati meritev rabljenih olj.

Za spremljanje kakovosti hidravličnih olj pri nekaterih kupcih izvajamo standardno kontrolo kakovosti olj v različnih časovnih intervalih. Med drugim merimo tudi penjenje in čas izločanja zraka.

Za primerjavo navajamo rezultate hidravličnega olja ISO VG 46, zbrane v 1-letnem obdobju pri enem od kupcev. Rezultati so predstavljeni v tabeli 5 in na sliki 7.

Tabela 5: Primerjava viskoznosti, penjenja in izločanja zraka rabljenega hidravličnega olja

Olje		Hydraulic oil ISO VG 46					
Datum		9.22.	11.22	1.23.	3.23.	5.23.	7.23.
Visk. mm^2/s	40° C	45,76	46,43	46,48	46,60	46,31	46,59
	100°C	7,20	6,86	6,89	6,96	6,94	6,98
VI		118	102	103	106	106	106
ARV (50 °C) min		6,3	4,8	4,7	5,4	4,4	4,4
Penjenje ml	I.	0/0	0/0	0/0	0/0	190/0	430/0
	II.	70/0	20/0	40/0	50/0	30/0	30/0
	III.	20/0	20/0	0/0	270/0	30/0	480/0



Slika 7: Primerjava izločanja zraka ter penjenja pri rabljenem hidravličnem olju ISO VG 46

Sposobnost izločanja zraka se je med letom malenkost izboljševala, penjenje pa se je rahlo povečevalo. Rezultati meritev rabljenih hidravličnih olj kažejo, da obstaja verjetnost večjega penjenja po določenem obdobju uporabe, medtem ko se sposobnost izločanja zraka s časom v večini primerov ne spreminja veliko.

5 SKLEP

Čas izločanja zraka in nagnjenost k penjenju smo preverjali na hidravličnih oljih več viskoznostnih razredov. Ta olja smo zmešali iz dveh različnih baznih olj dveh različnih proizvajalcev.

Vrednost izločanja zraka (ARV) je bila za primerjavo izmerjena pri 50 °C, ne glede na viskoznost hidravličnih olj. Rezultati so potrdili

razmerje med baznimi olji in hidravličnimi olji, narejenimi iz teh baznih olj. Čas izločanja zraka je močno odvisen od viskoznostne gradacije hidravličnih olj – pri višji viskoznosti olje težje sprosti ujeti zrak, zato se čas izločanja zraka podaljša.

Pri penjenju ni bilo opaziti enakega trenda kot pri izločanju zraka – višje vrednosti so bile ugotovljene pri vzorcih hidravličnih olj z nižjo viskoznostjo ISO VG 22, medtem ko se je nagnjenost k penjenju pri višjih viskoznostnih gradacijah zmanjšala in je bila tudi pri vseh na podobni ravni.

Lahko zaključimo, da je izločanje zraka pri svežih hidravličnih oljih močno povezano z izločanjem zraka baznih olj in viskoznostjo, medtem ko za penjenje tega ni mogoče trditi.

Čeprav je izločanje zraka iz različnih vrst in sestav svežega hidravličnega olja pomembno, imamo v večini industrijskih hidravličnih sistemov veliko večjo količino rabljenega kot pa svežega olja. Zato smo za primerjavo prikazali tudi nekatere rezultate meritev rabljenega hidravličnega olja.

Preučevanje hidravličnih olj v uporabi je pokazalo, da postane nagnjenost k penjenju bolj očitna po določenem obdobju uporabe. Sposobnost izločanja zraka pa se v prikazanem primeru ni bistveno spreminjala s časom uporabe olja.

Opravili bomo nadaljnje preiskave, ki bodo zajemale še več baznih olj različnih proizvajalcev in druge vrste hidravličnih olj. Prav tako bomo ugotavljali vpliv različne količine dodatka proti penjenju na izločanje zraka in penjenje hidravličnih olj.

Viri:

[1] Pirro, D. M., Wessol, A. A., *Lubrication fundamentals, 2nd ed.*, Marcel Dekker, Inc., 2001.
[2] Lovrec, D., Tič, V., Stisljivost hidravličnega olja in vpliv zraka, *Ventil*, 6 (2022), str. 492-498.
[3] Kambič, M., Izločanje zraka iz olja in penjenje, *IRT3000* 18 (2023) 2, str. 66-68.
[4] Lovrec, D., Vzroki za prisotnost zraka v hidravličnem sistemu, *Ventil*, 4 (2016), str. 310-317.
[5] Kambič, M., Lovrec, D., Izločanje zraka iz rabljenih mineralnih hidravličnih olj, *Ventil*, 1 (2024), str. 36-42.
[6] Normalab, Air release properties of petroleum oil (https://www.normalab.com/en/produit/arv-tech/)
[7] Linetronic Technologies, Foaming Characteristics of Lubricating Oils (https://www.lin-tech.ch/english/fb190000eng.html)

NAPREDNA ROBOTSKA OBDELAVA: ZNAČILNOSTI PROGRAMA SPRUTCAM X PRI ROBOTSKI OBDELAVI

Nikolay KONOV
KROKK, d.o.o.

SprutCAM X Robot

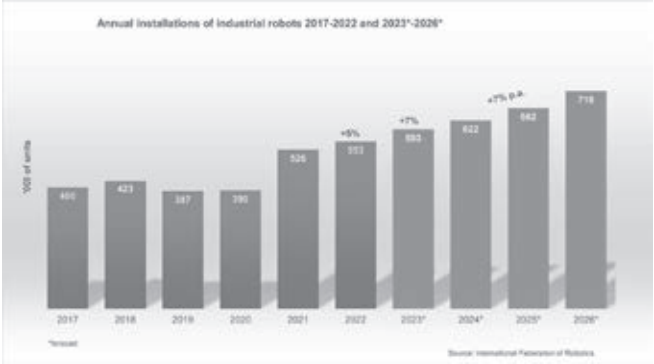
IZVLEČEK

V članku se bomo poglobili v lastnosti SprutCAM X Robot in poudarili njegovo uporabo pri rezkanju, varjenju, 3D tiskanju, poliranju in drugih aplikaciji. Čeprav roboti morda ne morejo doseči natančnosti tradicionalnih strojev CNC, njihova neprimerljiva prilagodljivost in vrhunski doseg odpirata področje prej nepredstavljivih možnosti.

1 UVOD

1.1 Industrijske roboti v proizvodnji

V hitro razvijajočem se svetu napredne proizvodne vključevanje robotov v postopke strojne obdelave spremenilo pravila igre. Svetovni trg robotike naj bi do leta 2024-2026 dosegel osupljive številke (slika 1), zato je očitno, da roboti poganjajo prihodnost proizvodnje. Ta naraščajoči trend napredne proizvodnje z roboti je posledica potrebe po večji učinkovitosti, natančnosti in prilagodljivosti proizvodnih procesov. V ta trend je vključena tudi uporaba robotov ne le v serijski proizvodnji, temveč tudi v majhnih serijah ali celo v proizvodnji posameznih unikatnih izdelkov. Off-line programiranje robotov ima ključno vlogo pri optimizaciji teh procesov, saj strokovnjakom omogoča, da simulirajo in optimizirajo gibe robotov, preden se ti izvedejo v proizvodnji.



Slika 1: Letna količina inštalacij robotov

Roboti sicer ne dosegajo natančnosti tradicionalnih CNC-strojev, vendar njihova neprimerljiva prilagodljivost in vrhunski doseg odpirata prej nepredstavljive možnosti. Na primer, pri obdelavi materialov lahko roboti opravljajo različne naloge, kot so rezkanje, varjenje, 3D tiskanje, poliranje, rezanje, posluževanje strojev in barvanje. Vključitev robotov v te procese ne odpira le novih možnosti, temveč ponuja tudi številne prednosti za proizvajalce. Poglobimo se v to, zakaj je uporaba robota za "naloge strojne obdelave, ki niso specifične za robote", ali neserijsko proizvodnjo ugodna. Z "nalogami strojne obdelave, ki niso specifične za robote" mislimo na naloge, ki niso specifične za robote in ki so se prej izvajale na specializiranih strojih ali celo ročno, na primer 3D-tiskanje, odstranjevanje srha, rezkanje in brušenje lesa, obdelava kamnitih kipov itd.

1.2 Prednosti uporabe robotov pri specifičnih obdelovalnih nalogah

Natančnost in doslednost: Roboti so v svojem razredu izjemno natančni in zanesljivi, saj zagotavljajo, da je vsaka naloga izvedena s ponovljivo natančnostjo. Operacije lahko ponavljajo z visoko zanesljivostjo, kar odpravlja tveganje človeških napak in odstopanj v kakovosti.

Večja učinkovitost: Roboti lahko nemoteno delajo 24 ur na dan, 7 dni v tednu, ne da bi podlegli utrujenosti ali potrebovali odmore. To

vodi k večji produktivnosti in krajšemu proizvodnemu času, kar na koncu poveča splošno učinkovitost.

Prilagodljivost: Ena od ključnih prednosti uporabe robotov pri specifičnih obdelovalnih nalogah je njihova sposobnost prilagajanja različnim aplikacijam in materialom. Z ustreznim programiranjem in orodjem lahko roboti opravljajo širok nabor nalog strojne obdelave, kar proizvajalcem omogoča neprimerljivo večjo prilagodljivost.

Obvladovanje zahtevnih nalog: Obdelava, ki ni specifična za robote, pogosto zahteva zapletene gibe in natančnost. Roboti so odlični pri obvladovanju zapletenih operacij, hitro manevrirajo po ozkih prostorih in z lahkoto izvajajo zapletene poti orodij.

Varnost: Uporaba robotov v takšnih aplikacijah povečuje varnost operaterjev. Z odstranitvijo ljudi iz potencialno nevarnih okolij lahko proizvajalci dajo prednost varnosti na delovnem mestu in zmanjšajo tveganje nesreč.

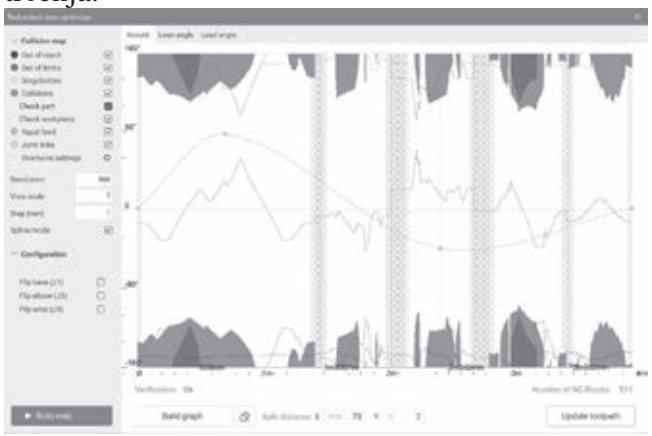
Da bi proizvajalci v celoti izkoristili prednosti uporabe robotov, potrebujejo zanesljivo in učinkovito programsko opremo, ki se brez težav povezuje z njihovimi robotskimi sistemi. Tu pride na vrsto SprutCAM X.

2 PREGLED PROGRAMSKE OPREME SPRUTCAM X ROBOT

SprutCAM X Robot je celovita programska rešitev CAD/CAM/OLP, posebej zasnovana za robote. Ponuja vrsto naprednih funkcij in zmožnosti, ki poenostavljajo programiranje in optimizacijo najrazličnejših robotskih nalog. S programom SprutCAM X lahko proizvajalci brez težav ustvarijo zanesljive poti orodij, simulirajo celoten postopek strojne obdelave in optimizirajo gibe robota, kar zagotavlja največjo učinkovitost in kakovost.

2.1 Večja prilagodljivost in nadzor

SprutCAM X prinaša neprimerljivo večjo prilagodljivost in nadzor robotske obdelave. Njegov intuitivni uporabniški vmesnik omogoča enostavno programiranje kompleksnih poti orodij in optimizacijo rezanja, rezkanja, 3D-tiskanja, varjenja in številnih drugih postopkov. Napredni algoritmi programa SprutCAM X v kombinaciji z možnostjo takojšnje simulacije in zemljevidi robotskih osi (Robot Axis Map, slika 2) proizvajalcem omogočajo vizualizacijo in optimizacijo gibanja robota, kar zagotavlja optimalno delovanje in preprečuje morebitna trčenja.



Slika 2: Robot Axis Map

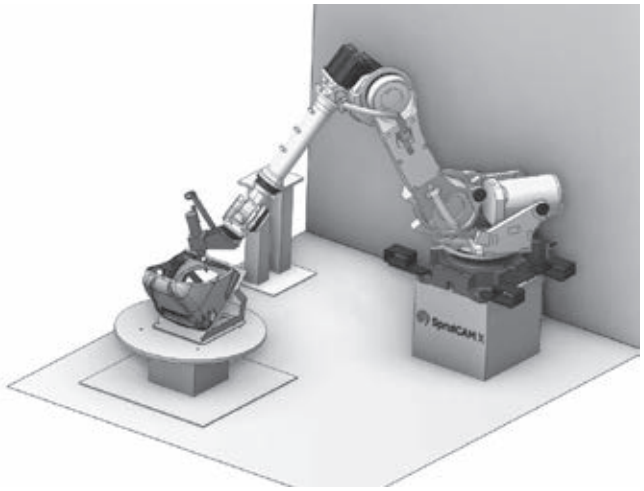
2.2 Sprostitev potenciala

Proizvajalci lahko z izkoriščanjem zmogljivosti sistema SprutCAM X izkoristijo vse možnosti svojih robotov pri specifičnih nalogah robotske obdelave. Brezhibna integracija sistema SprutCAM X omogoča hitrejše programiranje, krajši čas nastavitve in večjo splošno produktivnost. Ne glede na to, ali gre za obrezovanje, rezkanje ali 3D-tiskanje, SprutCAM X proizvajalcem zagotavlja orodja, ki jih potrebujejo za doseganje natančnosti, učinkovitosti in stroškovne učinkovitosti v svojih procesih robotske obdelave. Poglobljeno si oglejmo, kako SprutCAM X Robot pomaga pri različnih aplikacijah, in odkrijmo njegove prednosti.

3 PRIMERI UPORABE IN ZNAČILNOSTI SPRUTCAM X ROBOT

3.1 Rezanje

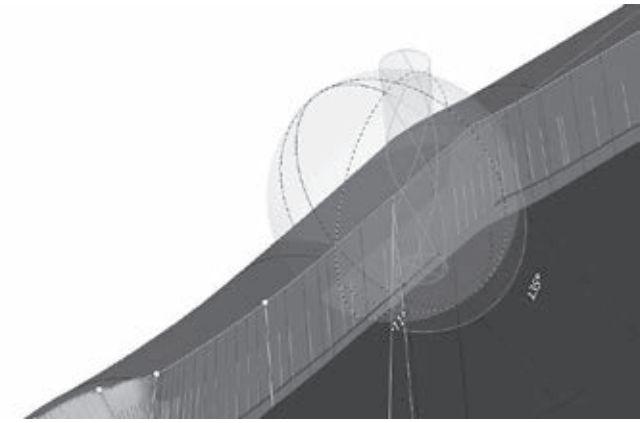
Robotsko rezanje vključuje uporabo industrijskih robotov za izvajanje nalog rezanja, ki lahko vključujejo lasersko in plazemsko rezanje ter obrezovanje s frezalnimi orodji.



Slika 3: Obrezovanje plastike

Ti postopki se uporabljajo v številnih panogah, od avtomobilske do vesoljske, za obdelavo izdelkov z relativno visoko natančnostjo in ponovljivostjo. Ena od izstopajočih lastnosti programa SprutCAM je njegova posebna večosna operacija »5D-contouring«. Ta napredna operacija omogoča pripravo zanesljive poti orodja za podobne postopke rezanja.

Operacija »5D-contouring« vključuje nadzor prostega položaja orodja na obdelovane konture, kar robotu omogoča izrezovanje kompleksnih oblik in kontur z visoko natančnostjo. To je še posebej uporabno v panogah, kjer imajo deli kompleksno geometrijo, ki bi jo bilo težko izrezati s tradicionalnimi metodami, kot je ročno delo ali programiranje robotov "učnih točk".

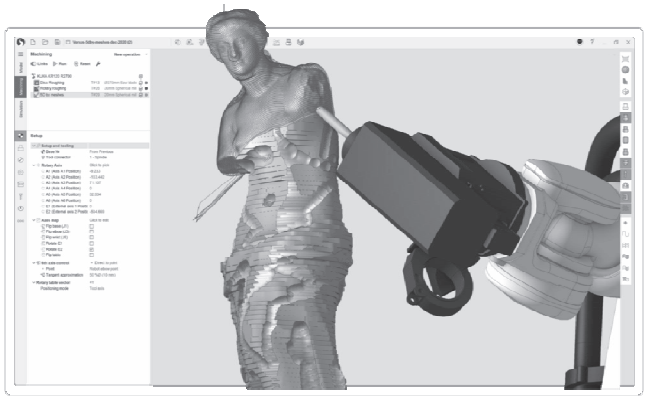


Slika 4: Nadzor položaja orodja

S funkcijo predogleda orodja v programu SprutCAM X lahko uporabniki v vsaki točki rezalne konture vizualizirajo položaj orodja skupaj z držalom. Tako je mogoče izvesti vse potrebne prilagoditve in zagotoviti postavitev orodja natančno in brez trkov. SprutCAM X omogoča natančno spreminjanje položaja in vektorjev v vsaki točki vzdolž konture. To pomeni, da lahko rezalno orodje ves čas obdrži optimalni kot rezanja, kar zagotavlja bolj gladek in natančen rez.

3.2 Rezkanje in poliranje

Robotsko rezkanje je postopek, ki vključuje uporabo industrijskih robotov za izvajanje nalog rezkanja. Ob tem se lahko izvajajo od preprostih nalog do bolj zapletenih postopkov za obdelavo različnih materialov: lesa, plastike, pene in celo mehkih kovin. Rezkanje se uporablja v številnih panogah, od proizvodnje pohištva in skulptur do letalske in vesoljske industrije. SprutCAM X prinaša nov nivo nadzora in optimizacije procesa robotskega rezkanja. Kot vsaki CAM, podpira širok nabor operacij rezkanja, zato je vsestransko orodje za različne proizvodne potrebe. Prav tako ima SprutCAM X posebne operacije obdelave kamna z uporabo orodij v obliki žage, ki se pogosto uporabljajo pri rezkanju kamna: kipov, pohištva in sanitarne keramike.



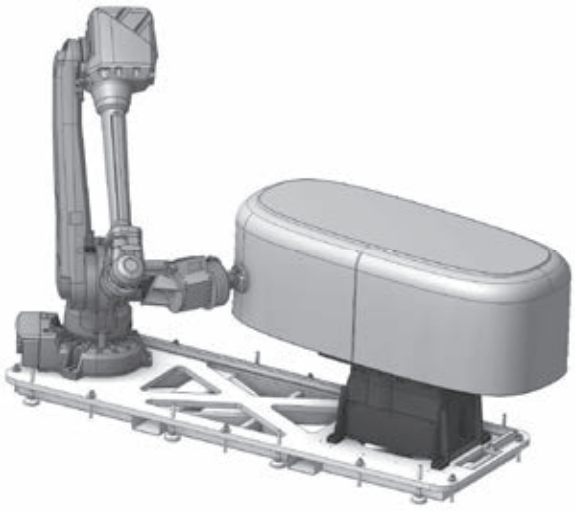
Slika 5: Obdelava kipa

V nasprotju klasičnim CNC-jem, je brez CAM programske opreme praktično nemogoče ustvariti celo preproste poti rezkanja za robote. V primerjavi s tradicionalnimi CNC-stroji imajo roboti več stopenj svobode, kar jim omogoča izvajanje kompleksnejših gibov. Vendar je zaradi tega tudi postopek ustvarjanja poti orodja bolj zapleten. Poleg tega krmilnik robota nima običajnih funkcij CNC, kot so na primer cikli in programiranje G-kode.

S programom SprutCAM je ta postopek poenostavljen. Programska oprema upošteva

kinematiko robota in zagotavlja, da je pot orodja optimizirana za posebne zmogljivosti robota. Rezultat so učinkoviti in natančni postopki rezkanja brez dodatnih transformacij generiranih točk.

Operacije rezkanja v programu SprutCAM se lahko uporabljajo ne le neposredno za rezkanje, temveč tudi za zaključne postopke, kot sta brušenje in poliranje.

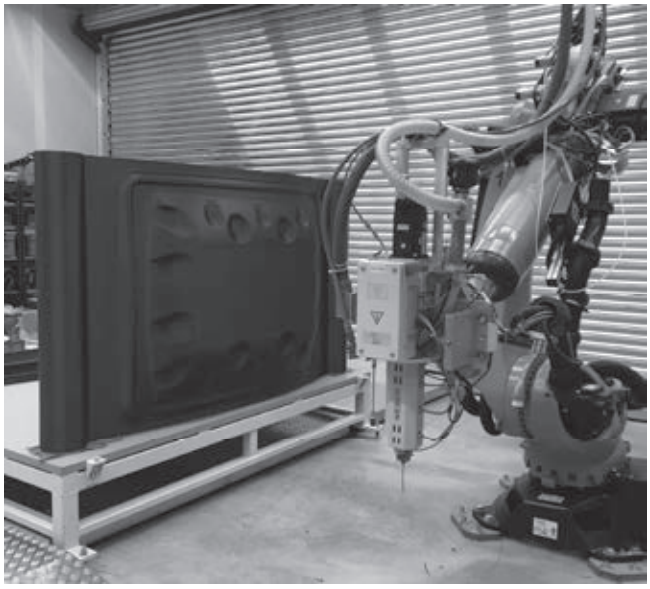


Slika 6: Poliranje kadi

S programom SprutCAM lahko proizvajalci ustvarijo prilagojene poti orodij in natančno simulirajo celoten postopek. Ta natančnost zagotavlja dosledno in visokokakovostno končno obdelavo, hkrati pa zmanjšuje proizvodni čas, stroške in napake.

3.3 3D-tiskanje

V hitro razvijajočem se svetu sodobne proizvodnje je 3D-tiskanje spremenilo pravila igre. S prihodom robotskih rok z razširjenim dosegom lahko proizvajalci zdaj natisnejo dele velikosti, primerljive z avtomobilom. SprutCAM je v ospredju te revolucije in ponuja celovito rešitev za aplikacije robotskega 3D-tiskanja. To je odprlo nove možnosti v proizvodnji, saj omogoča izdelavo velikih delov, ki jih prej ni bilo mogoče izdelati s tradicionalnimi metodami.

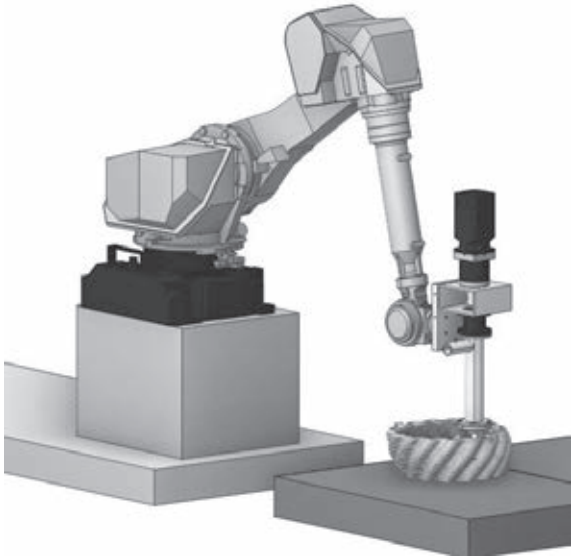


Slika 7. Uporaba robotskega 3D-tiska

SprutCAM ponuja dva različna pristopa k aplikacijam 3D-tiskanja. Prvo, ponuja širok nabor lastnih operacij aditivne tehnologije. To proizvajalcem omogoča, da ustvarijo postopek 3D-tiskanja kompleksnih 3D-izdelkov, neposredno v programu SprutCAM X Robot. Drugo, program SprutCAM X ima možnost pretvorbe preproste G-kode, ustvarjene s posebno programsko opremo za »slicing«, v robotski programski jezik. To omogoča uporabo obstoječe posebne programske opreme za 3D-tiskanje, kar močno poenostavi postopek pretvorbe v robotski program.

SprutCAM X kot običajno ponuja enak nabor orodij za optimizacijo tako za interno ustvarjene poti orodij kot za pretvorjeno G-kodo. To zagotavlja, da je postopek 3D-tiskanja čim bolj učinkovit in natančen, ne glede na vir poti orodja.

Aditivno tehnologijo SprutCAM je že dokazalo več podjetij. Pomemben primer je znano nemško avtomobilsko podjetje BMW, ki uporablja SprutCAM X kot velik 3D-tiskalnik. To dokazuje potencial tehnologije SprutCAM X Robot v avtomobilski industriji. Poleg tega je aditivna tehnologija tiskanja velikih izdelkov našla uporabo tudi v gradbeništvu. S programom SprutCAM je mogoče 3D-tiskati iz betona in tako ustvariti ulično pohištvo, gradbene elemente in celo celotne hiše.



Slika 8: 3D-tisk betonom

4 NAPREDNA ROBOTSKA OBDELAVA S SPRUTCAM X ROBOT

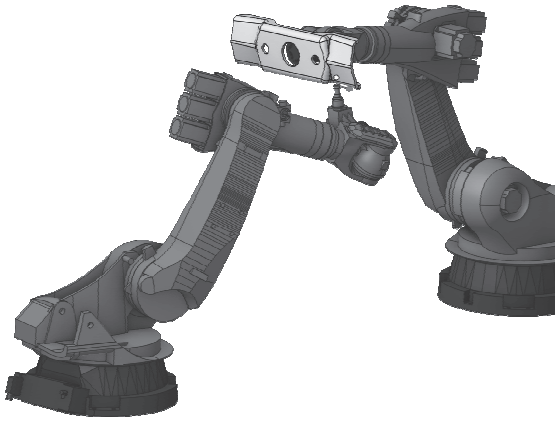
Kot smo pokazali v tem članku, je SprutCAM X Robot zaradi širokega nabora podprtih aplikacij idealna programska oprema za programiranje robotov. Te vključujejo tehnološki postopki rezkanja, obrezovanja, odstranjevanja srha, poliranja, 3D-tiskanja, barvanja, varjenja in posluževanja.

Slika 9: Pregled aplikacij

SprutCAM X ponuja vrhunska orodja za optimizacijo položajev robota, vključno z dodatnimi linearnimi in rotacijskimi osmi. To omogoča visoko stopnjo nadzora v aplikacijah robotske obdelave. Poleg tega natančna simulacija gibanja v programski opremi uporabnikom omogoča preverjanje programa, preden ga naložijo na robota, kar zagotavlja optimalno delovanje in zmanjšuje tveganje napak. SprutCAM ponuja obsežno knjižnico digitalnih dvojčkov in postprocesorjev, ki skupaj s preprostim in intuitivnim orodjem za ustvarjanje teh elementov predstavlja vsestransko in uporabniku prijazno rešitev za različne proizvodne potrebe. Pomembno je, da program SprutCAM podpira vse blagovne znamke robotov, ki obstajajo na svetovnem trgu, zaradi česar je univerzalno uporabno orodje.

Prednosti sistema SprutCAM X pa niso le za končne uporabnike. Je tudi vsestransko orodje za integratorje, saj ponuja možnost hitrejšega ustvarjanja robotskih programov in popolnih simulacij, preden robotska celica zaživi. To lahko bistveno pospeši postopek integracije in zagotovi nemoteno integracijo v proizvodnjo.

Če pogledamo v prihodnost, so obeti za napredno proizvodnjo z roboti in integracijami SprutCAM X obetavni. Ker industrija še naprej uporablja avtomatizacijo in digitalizacijo, bodo orodja, kot je SprutCAM X, igrala vse pomembnejšo vlogo pri optimizaciji specifičnih proizvodnih procesov in spodbujanju inovacij.



Slika 10: Napredno sodelovanje robotov

Ne glede na to, ali ste končni uporabnik, ki želi optimizirati svoje proizvodne procese, ali

integrator, ki želi racionalizirati svoj delovni proces, SprutCAM X ponuja celovito rešitev, ki lahko izpolni vaše potrebe in preseže vaša pričakovanja. S svojim širokim naborom zmogljivosti in uporabniku prijaznih funkcij resnično spreminja pravila igre v svetu robotske obdelave.

Viri:

[1] Press release IFR (https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-2023-report-asia-ahead-of-europe-and-the-americas)

FLEKSIBILNA POPOLNOMA AVTOMATIZIRANA LINIJA ZA OBDELAVO IN MONTAŽO ALUMINIJASTIH ULITKOV

Lea PILIĆ, Vinko DREV
LTH Castings d.o.o.

IZVLEČEK

Podjetje LTH Castings d.o.o. se že nekaj časa vztrajno širi in investicije v področje avtomatizacije so kljub visoki stopnji le te, neizogibne, saj se povpraševanje po naših produktih vsako leto veča. V zadnjih treh letih smo v obratu Ljubljana, kjer imamo svoj oddelek Avtomatizacija procesov, poleg več manjših projektov s področja avtomatizacije, postavili in zagnali trenutno največjo popolnoma avtomatizirano linijo v našem podjetju. Gre za linijo, ki poteka preko treh prostorov in zajema procese strojne obdelave, pranja, montaže, dimenzijske kontrole, preizkusov tesnosti ter graviranja. Zaradi kompleksnosti linije, je ta razdeljena na dva dela: obdelava s pranjem in čista soba, kjer potekajo čisti procesi (montaža, preizkusi,…) in ročno embaliranje izdelka.

V prvem delu linije so skupno 4 robotske celice z 8 obdelovalnimi stroji, ter paletna linija za distribucijo izdelka od robotske celice, skozi pranje do čiste sobe. V čisti sobi izdelke preložimo na drugo paletno linijo, kjer se nahajajo trije samostojni stroji z integriranimi roboti, 5 robotskih celic za strego strojev, ter 8 delovnih mest za vizualno kontrolo izdelka ter embaliranje. Na celotni liniji lahko trenutno proizvedemo 15 različnih tipov izdelkov, hkrati pa 8 različnih izdelkov. Linijo smo v celoti izdelali znotraj podjetja na oddelku za avtomatizacijo procesov, uporabili pa smo veliko novosti, ki jih predhodne linije nimajo. Celotna linija in njen procesi bodo podrobneje predstavljeni v prispevku.

1 UVOD

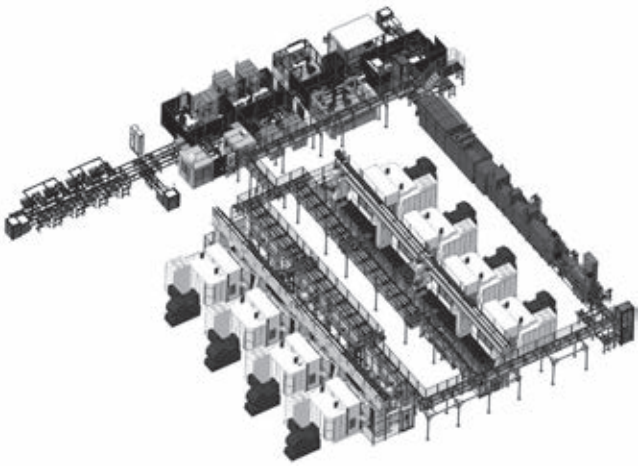
Podjetje LTH Castings d.o.o. je visoko tehnološko podjetje, ki stremi h visoki kakovosti svojih produktov in visoki stopnji avtomatizacije ter digitalizacije. Tako je bilo tudi pri našem do sedaj največjem projektu, kjer smo se morali močno prilagoditi prostoru in razpoložljivim finančnim sredstvom, ter glede na kompleksnost in fleksibilnost linije uporabiti veliko našega znanja, veliko pa se tudi dodatno naučiti. Posledično smo v projekt vpeljali kar nekaj novosti, ki jih na dosedanjih robotskih celicah in linijah nismo imeli, ter s tem celoten proces dvignili na še višji nivo.

Linija je sestavljena iz pralne in montažne linije, vanjo je vključenih 8 dvovretenskih obdelovalnih centrov, pretočni pralni stroj, merilni stroj, 2 stroja za kovičenje, 6 strojev za preizkus tesnosti in 2 gravirna stroja.

Ker je celotna linija zelo obsežna, bomo v prispevku izpostavili nekaj zanimivosti in le nekaj novosti, ki so nam olajšale celoten proces izdelave ulitka. Linija je bila izdelana izključno znotraj podjetja s strani oddelka Avtomatizacija procesov.

2 NAČRTOVANJE LINIJE

Pri zasnovi in načrtovanju linije je bil največji izziv prostorska umestitev vseh strojev in linije, saj so nam bili na voljo en večji prostor za obdelavo in pranje, ter dva manjša prostora, s širino le 10m, namenjena montaži in embaliranju. Tako se paletna linija razprostira na površini 1385m^2.



Slika 1: Model celotne avtomatizirane linije

Njena skupna dolžina je 270m, povezuje pa 9 robotiziranih celic in 3 stroje z integriranimi roboti, kjer skupaj deluje 14 robotov različnih velikosti. Vsebuje 1200m verige, približno 10000m električnih kablov, 142 elektro motorjev, 734 senzorjev in 160000 vijakov, ter transportira 100 pralnih in 80 transportnih palet.
Večinski del pralne linije smo dvignili na višino 2.8m, ter na takšen način dobro izkoristili prostor in omogočili nemoten dostop do obdelovalnih robotskih celic.
Ena od zahtev pri zasnovi linije je bila tudi manipulacija več različnih tipov izdelkov, saj se le ti vseskozi spreminjajo, spreminja pa se tudi količina letnih naročil. Glede na zahteve fleksibilnosti linije je ta zasnovana tako, da lahko na njej proizvedemo 15 različnih tipov izdelkov, hkrati pa 8 različnih tipov izdelkov, saj imamo na koncu linije 8 delovnih mest na katerih se pakira po en tip izdelka.

Veliko časa je bilo namenjeno tudi načrtovanju obdelovalnih robotskih celic, kjer ulitki pridejo na linijo. Celice so zasnovane tipsko, tako da jih sedaj z zgolj nekaj manjšimi popravki uporabljamo tudi pri vseh nadaljnjih projektih. Posebnost teh je, da so konstrukcijsko in programsko pripravljene na zalaganje z avtonomnimi viličarji, a se jih trenutno še poslužuje ročno.

Slika 2: Začetni osnutek vhodnega zalogovnika

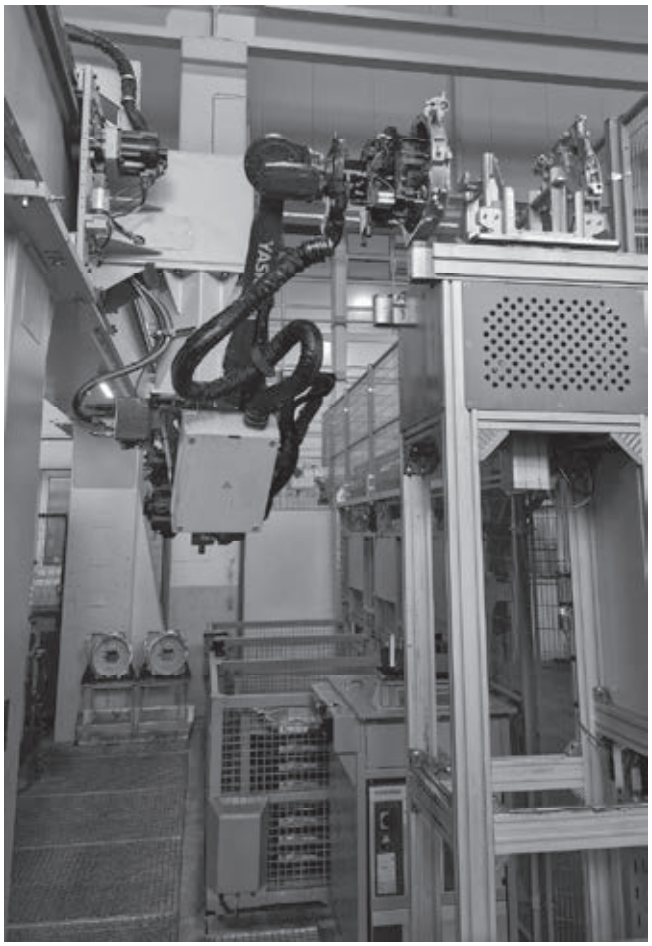
3 INTEGRACIJA LINIJE

Zaradi obsežnosti projekta je bila linija postavljena in zagnana v štirih fazah. Prva faza je zajemala pralno transportno linijo s pripadajočim pralnim strojem, druga faza dve obdelovalni robotski celici, tretja faza montažno transportno linijo in 5 robotskih celic za strego montažnih strojev, četrta faza pa še dodatni dve obdelovalni robotski celici in pripadajoči del pralne linije.

V nadaljevanju bo na kratko opisano delovanje linije od obdelave do končnega pakiranja in nekaj novosti uporabljenih v drugi in tretji fazi.

3.1 Proces obdelave in montaže

Kot že omenjeno, je avtomatizirana linija namenjena obdelavi, montaži in transportu aluminijastih ulitkov.
Pot ulitka se začne v obdelovalni robotski celici, kjer z robotom iz namenske embalaže pobiramo surovce in jih vstavljamo v CNC obdelovalni stroj.



Slika 3: Odlaganje obdelanih kosov na pralne palete

Obdelane ulitke nato z robotom odložimo na pralne palete in jih po transportni pralni liniji peljemo do pralnega stroja, kjer se odstranijo ostanki emulzije iz obdelovalnih strojev. Ko

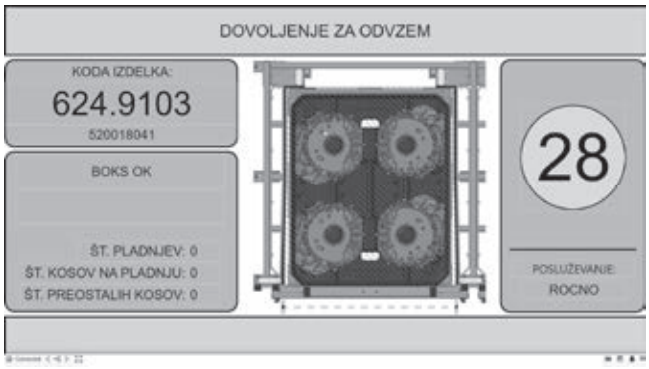
paleta s kosi zapusti pralni stroj takoj preide v tako imenovano čisto sobo, kjer se izvajajo meritve in montaža obdelanega kosa. Najprej se kose iz pralne palete vstavi v stroj za preizkus tesnosti oljnih kanalov, potem pa se jih odlaga na palete na transportni montažni liniji. Paleto s kosom prvo transportiramo do merilnega stroja, kjer se opravijo dimenzijske meritve, nato naprej do montažnega stroja, kjer se namestijo kovice in čep in še do postaje kjer se opravi preizkus tesnosti celotnega kosa. Zadnja robotizirana postaja na liniji kamor transportiramo kos je lasersko graviranje kupčeve QR kode. Kos je po graviranju glede na tip transportiran na ustrezno delovno mesto za vizualno kontrolo in embaliranje.

3.2 Vizualizacija obdelovalne robotske celice

Kot že omenjeno na koncu poglavja 2, so naše nove robotske celice pripravljene na zalaganje z avtonomnimi viličarji. S tem razlogom smo mehanske varnostne sisteme, ki so preprečevali vstop v celico, nadomestili z varnostnimi laserskimi skenerji. Na takšen način lahko zagotovimo hitrejši cikel menjave zaboja v primeru avtomatiziranega zalaganja robotske celice, varnost celice pa še vedno zadošča vsem potrebnim varnostnim standardom. Zalaganje celic z avtonomnimi viličarji je še na stopnji razvoja, zato se celice trenutno zalaga ročno.
Dosedanje obdelovalne robotske celice so opremljene le s semaforji, ki dajejo operaterju signal za dovoljenje za vlaganje/odvzem zaboja iz celice, ter upravljalnim zaslonom. Nove robotske celice pa smo želeli posodobiti in jih narediti še bolj prijazne za uporabnika. Nastala je ideja, da nad vhodne zalogovnike, kjer se zalaga celico, namestimo prikazovalnike, ki bi uporabniku dajali informacije o stanju vhodnih zalogovnikov. Tukaj smo se soočili z izzivom, kako se s prikazovalniki stroškovno čim bolj približati ceni semaforja, saj smo bili stroškovno zelo omejeni.
Prvi korak je bil izbira programske in strojne opreme na kateri bi izvedli vizualizacijo, drugi pa konstrukcijski in električni razvoj celega sistema prikazovalnikov, ter vključitev v robotsko celico.

Slika 4: Vizualizacija nad vhodnim zalogovnikom robotske celice

Za izdelavo vizualizacije smo izbrali cenovno zelo dostopen in preprost program, glede na to, da v tej fazi nismo še vedeli kako se bo celotna nadgradnja robotske celice obnesla. Izdelano vizualizacijo smo naložili na mikrokrmilnik, ga povezali z glavnim krmilnikom in nanj priklopili 24" monitor, za katerega smo izdelali namensko ohišje. Končni skupni strošek celotnega sistema prikazovalnika je bil za približno 100€ višji od cene enega semaforja, kar je kar dobra cena glede na to, koliko podatkov lahko sedaj prikazujemo. Prikazovalniki tako zelo dobro nadomeščajo semafor, saj menjajo barvo glede na stanje celice in vhodnega zalogovnika, prikazujejo stanje števila kosov v zabojih, stanje varnostnega laserskega skenerja, stanje senzorjev, ki preverjajo položaj boksa v zalogovniku, operaterju pa jasno nakazujejo kateri zaboj zamenjati in kdaj ga zamenjati.



Slika 5: Primer prikazovalnika v QuickHMI

Sistem vizualizacije je bil dobro sprejet, mikrokrmilnik pa kljub težkemu industrijskemu okolju ne dela težav. Pravzaprav se tako dobro obnese, da smo manjši prikazovalnik implementirali na montažni liniji, kjer lahko na

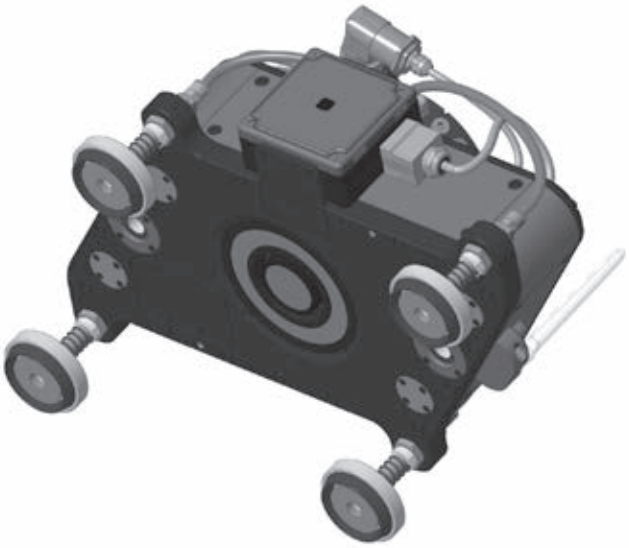
enem delu linije dodajamo dodatne kose v proces. Delavec ima na tem mestu nazorno prikazano stanje mesta za vračanje (senzorji, RFID, komunikacija z nadzornim sistemom INFOR) in status kosa.

Slika 6: Prikazovalnik na montažni linij - mesto za dodajanje kosov

Proti koncu gre tudi izdelava vizualizacije za celotno linijo, ki bo prikazana na monitorju v čisti sobi in monitorju na pralni liniji. Prikazani bodo statusi vseh naprav, robotskih celic in linij, števci kosov in aktualni tipi kosov.

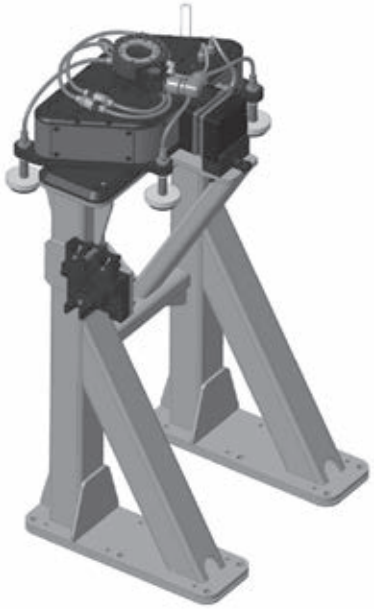
3.3 Robotsko prijemalo s kamero za prenos namenskih pladnjev

V vseh obdelovalnih robotskih celicah se nahajata dva robotska prijemala. Prvo je namenjeno manipulaciji izdelkov, drugo pa slikanju izdelkov za pridobivanje njihovih koordinat ter prelaganju vmesnih pladnjev na katerih so surovi izdelki. Zaradi menjave prijemal so vsi naši roboti opremljeni s hitro izmenljivo sklopko[LP1].



Slika 7: Robotsko prijemalo s kamero in vakuumski seski

Posebnost pri teh celicah je prav drugo prijemalo, saj je napajano preko brezkontaktnega napajalnega modula. Razlog za to je kamera, ki je nameščena na sredini prijemala in preko nje pridobivamo točno pozicijo kosa, ter podatke o poziciji pošiljamo robotu. Na ta način poskrbimo za natančno pobiranje kosov iz vhodnega zaboja.
Torej zakaj brezkontaktno napajanje? Kadar robot odloži in izpne prijemalo, le to izgubi napajanje in v takšnem primeru, bi se kamera na prijemalu ugasnila. Naša testiranja so pokazala, da kamera ob vklopu napajanja potrebuje najmanj 15 sekund, da se pripravi na delovanje in preko brezžičnega omrežja vzpostavi povezavo s krmilnikom. Ob zahtevanih ciklih delovanja robotske celice takšen čas ni bil sprejemljiv, zato smo začeli iskati drugačne rešitve kako na kameri ohraniti napajanje kljub odloženemu prijemalu.

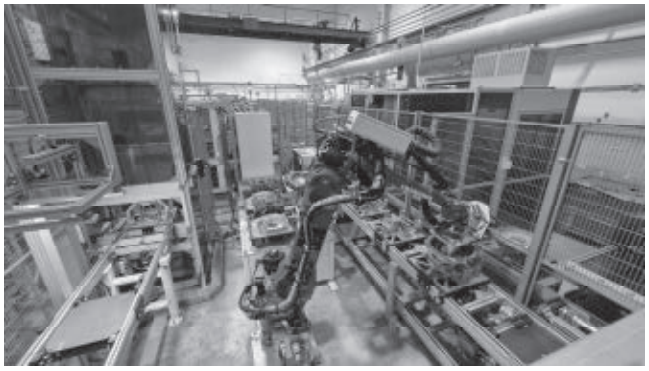


Slika 8: Brezkontaktno napajanje prijemala na odlagalnem mestu

Rešitev je bila prav že omenjen brezkontaktni modul. Ta ni pod stalnim napajanjem, ampak deluje preko releja, ki ga vklopimo le, ko je prijemalo prisotno na njegovem odlagalnem mestu. Tako se zgodi, da je prijemalo za kratek čas istočasno napajano preko robota in brezkontaktnega modula. Da ne bi v tem trenutku prišlo do motenj pri napajanju, smo v vezavo dodali še zener diode. Prijemalo je popolnoma zaprto, zato smo nanj namestili še LED indikator, ki prikazuje prisotnost napajanja.
To robotsko prijemalo je prvo takšno izdelano znotraj našega podjetja. Pri njegovem načrtovanju smo uporabili tudi brezžično dostopno točko prilagojeno za težka industrijska okolja, ki skrbi za komunikacijo med kamero in PLK. S tem smo se izognili napeljavi komunikacijskih kablov preko robotskega prijemala.

3.4 RFID sistem montažne linije

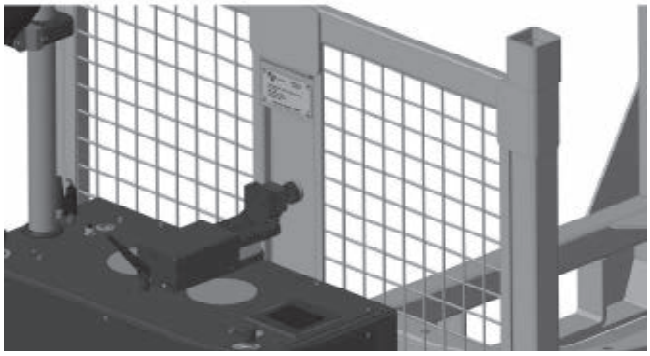
Montažna linija se nahaja v dveh nivojih. Zgornji nivo je sestavljen iz dveh vzporednih linij, ki skrbijo za prenos izdelka do določene operacije, spodnji nivo pa skrbi za vračanje praznih palet nazaj v proces. Je prva takšna linija, ki smo jo morali zaradi fleksibilnosti opremiti z RFID čitalci, njene palete pa z RFID čipi. Palete so namreč univerzalne za trenutno vseh 15 različnih tipov kosov, ki se lahko izdelujejo na tej liniji, vsak tip pa gre lahko na različno operacijo.



Slika 9: Prelaganje kosa iz pralne na montažno linijo

Tokrat smo se prvič srečali z uporabo RFID-jev pri naših procesih, zato smo za pomoč prosili proizvajalca s katerim že dolgo sodelujemo, ta pa nam je predstavil opremo in postopek implementacije. Glede na naše potrebe smo izbrali primerne čitalce, čipe in pa komunikacijske module za priklop čitalcev. Sistem smo zastavili tako, da na čip zapisujemo tip izdelka, status izdelka (dober/slab) in operacijo, kjer je bil izdelek nazadnje odložen na paleto. Glede na te zapisane podatke se potem pred vsakim križiščem odločamo o smeri palete, na vsaki operaciji pa, ali je kos ustrezen za to operacijo ali ne. Sistem za zapisovanje in branje podatkov iz čipa (nastavitev čitalcev na User data) se je izkazal za dobrega, a se nam je vseeno pojavljalo nekaj manjših težav. Najbolj pogosto se je zgodilo, da se je zaradi motenj v komunikacijskem omrežju zapisalo samo polovica podatkov, zato smo v program dodali še vsakokratno preverjanje zapisa. Sam sistem je dober, saj omogoča, da so linije in palete več funkcijske, zato smo RFID-je uporabili tudi pri vseh novih linijah (zaenkrat samo pralnih linijah). Da se izognemo preverjanju zapisanih podatkov, smo pri novih pralnih linijah sistem programsko nadgradili in spremenili nastavitve čitalcev na branje ID-ja čipa (nastavitev čitalca na UID – unikatna številka čipa) in si v krmilniku naredili podatkovno bazo, kamor na podlagi prebranega ID-ja čipa pišemo naše podatke kosa. To se je izkazalo za veliko boljši, hitrejši in zanesljivejši sistem, zato je želja, da ob prvi priložnosti posodobimo tudi RFID sistem montažne linije.

Naslednji korak, ki bo morda malenkost bolj zahteven, je uporaba RFIDjev pri avtomatiziranem zalaganju robotskih celic. V tem primeru, bo RFID čitalec nameščen na avtonomnem viličarju, vsak zabojnik pa bo moral imeti svoj čip, tako kot ga imajo transportne palete na liniji. V ozadju tega sistema bo bolj zahteven in kompleksen informacijski sistem, ki bo imel med podatki tudi lokacijo zabojnika in povezavo s centralnim podatkovnim sistemom podjetja.


Slika 10: Osnutek branja RFID iz zabojnika

4 SKLEP

Implementacija linije je zaradi obsežnosti projekta trajala tri leta, nekaj težav pa smo imeli tudi zaradi dobavnih rokov opreme, ki so se v času pandemije močno podaljšali. Z nekaj prilagoditev nam je vse uspelo zagnati do zahtevanih rokov.

Opisana avtomatizirana linija je trenutno največja v našem podjetju in največja izdelana znotraj našega podjetja. Projekt je bil zelo dobro zastavljen in izpeljan, po nekaj začetnih težavah ob zagonu, ki smo jih potem tudi kmalu odpravili, pa sedaj zelo dobro deluje. V teoriji je linija zmožna proizvesti 1150 izdelkov na izmeno, dejansko pa se v povprečju gibljemo okrog številke 1000 izdelkov, če linija in pripadajoče naprave delujejo brez večjih napak in zastojev.

Pri tem projektu je bilo razvitih več novosti, kot jih lahko opišemo v tem prispevku. Smo pa vse novosti uporabili tudi pri nadaljnjih projektih, saj so se izkazale za zelo uporabne. Celoten sistem vakuumskega robotskega prijemala s kamero se je izkazal za več kot samo odličnega, zato ga uporabljamo pri vseh novih obdelovalnih robotskih celicah. Tudi nadgradnja omenjenih robotskih celic je bila uspešna, vizualizacija le teh pa zelo dobro sprejeta s strani operaterjev in posluževalcev robotskih celic. Prvi koraki z Raspberry Pi mikrokrmilnikom so nam dali veliko znanja in idej za nadaljnjo uporabo, zato ga z veseljem še naprej uporabljamo.

Z izdelavo vizualizacije za celotno linijo, bo projekt v tem letu tudi uradno zaključen.

REZKANJE Z ROBOTOM

Andrej ZIDAR[1], Jožef BABIČ[2]
[1]FANUC Adria d.o.o.
[2]NOPROMAt d. o. o.

IZVLEČEK

Zakaj rezkanje z robotom? Rezkanje, kakor tudi druge mehanske obdelave z robotom ponujajo nov pogled na obdelave izdelkov. Tehnološki postopki in orodja so enaka kot pri obdelovalnih centrih. Razlika pa je v fleksibilnosti (6 osi robota + 3 dodatne), velikosti obdelovancev, ter seveda v tem, da imamo zraven možnosti mehanske obdelave še strego.
Velika prednost je tudi v drastičnem zmanjšanju prostora, ki ga zasede takšna RC nasproti klasičnemu obdelovalnemu centru z strego.

Z roboti, ki so namenjeni takšnim obdelavam dosegamo do neverjetnih 0,02mm ponovljivosti.

1 UVOD

Podjetje FANUC je eden največjih dobaviteljev opreme za avtomatizacijo in robotizacijo na svetu. Ledino na tem področju orjemo že več kot 65 let in pridobivamo izkušnje z lastnim razvojem in testiranjem izdelkov v lastni proizvodnji, kjer deluje več kot 4.600 robotov v enem najbolj avtomatiziranih in robotiziranih obratov na svetu.

Slika 1: FANUC – proizvodnja

FANUC Adria d.o.o. je podružnica podjetja FANUC, ki skrbi za področje Slovenije, Hrvaške ter Bosne in Hercegovine s tehnično podporo, prodajo in servisom.

Novembra lani, smo kot prvo podjetje na svetu instalirali več kot 1.000.000 industijskih robotov. To pa nam je uspelo s pomočjo naših integratorjev. FANUC namreč skrbi, da kupci dobijo najboljšo možno rešitev. Razumemo, da je nemogoče, da bi eden znal vse, zato združujemo strokovnjake iz različnih področij in jih podpremo in pomagamo doseči in uresničiti vaše cilje. Eden izmed naših integratorjev je podjetje Nopromat, ki je naredilo celico za rezkanje z robotom.

Podjetje NOPROMAT d.o.o.
Smo ambiciozno, kreativno in v razvoj usmerjeno podjetje. Vajeni smo razmišljati izven okvirov. Ne ustvarjamo povprečnega, ker to pač nismo mi. Želimo navdušiti z našo edinstvenostjo

Slika 2: NOPROMAT - sestava robotske celice

Ni pomembno, kako velik ali majhen je vaš projekt. Vsakemu projektu se posvetimo z enako strastjo in pozornostjo. Radi si vzamemo čas in

prisluhnemo vašim željam. Saj so Vaše in naše znanje in izkušnje recept za odličen rezultat.

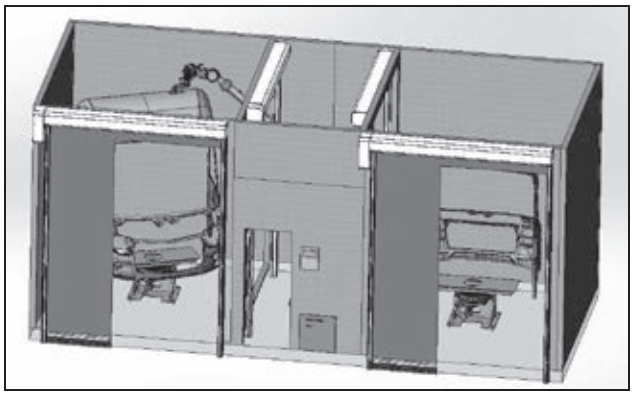
V naših projektih uporabljamo kolaborativne in industrijske robote.
Z našimi projekti delujemo na naslednjih področjih:

- brušenje in poliranje,
- mehanska obdelava kovin, plastik in kompozitov,
- strega s strojem (NC, CNC, ekstruderjem, brizgalnim strojem …),
- sestava, vijačenje, pakiranje in embaliranje, preoblikovanje,
  likanje, stekljenje …
- barvanje (običajno prašno in keramično),
- čiščenje, nanašanje lepila, peskanje
- varjenje, lotanje,
- 100-% nadzor izdelkov (dimenzijski, trdnostni, uporabnostni ...),
- posnemanje srhov
- 3D print z robotom
- laserska obdelava in lasersko graviranje

V kombinaciji z našimi inženirskimi spretnostmi, ter kvalitetnim robotom, ponujamo brušenje in poliranje na izdelkih, kjer so lahko tudi večja tolerančna odstopanja. Saj ACF v kompletnem območju delovanja zagotavlja enak pritisk na obdelovanec. Ta tehnologija je primerna tudi za manjše serije in omogoča hitro spreminjanje in ali dodajanje novih parametrov ali obdelovancev.
V naši delavnici vam lahko na vaših izdelkih prikažemo delovanje tega sistema.

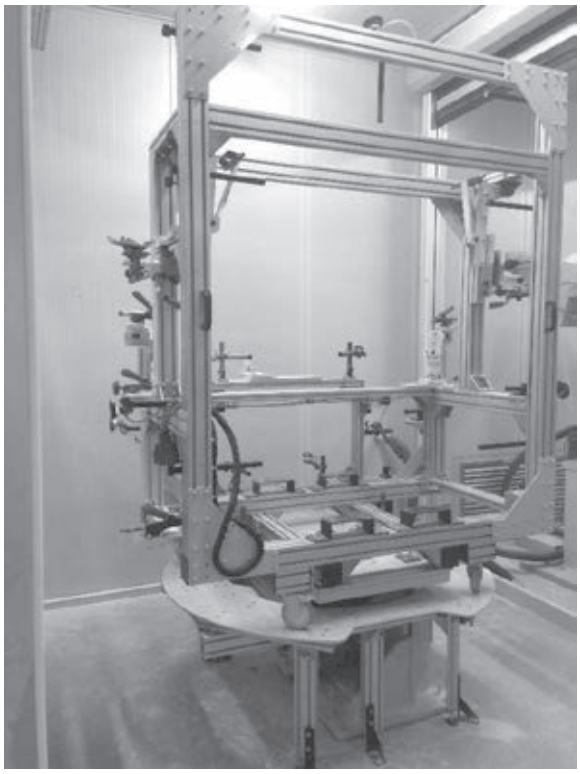
2 REZKANJE Z ROBOTOM

V nadaljevanju bi vam predstavili projekt, kjer smo uporabili robota za rezkanje kabine avtodoma.
Naziv projekta: RC ZA OBREZ IN BRUŠENJE



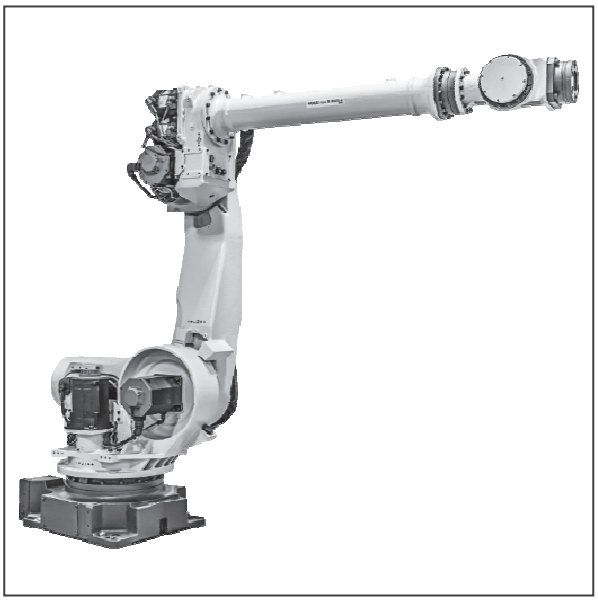
Slika 3: Osnutek projekta

RC je namenjena mehanski obdelavi kabine avtodoma, ki je izdelana iz steklenih vlaken.
Zelo velik izziv je izdelati kvalitetno vpenjalno pripravo. Le ta mora zagotavljati zelo veliko ponovljivost vpetja, ter zadostno togost. Vsakršno prekomerno podajanje in/ali vibriranje obdelovanca med obdelavo je nesprejemljivo. Proizvajalec kabin je moral zagotoviti ponovljivost vpenjalnih točk.



Slika 4: Vpenjalna priprava

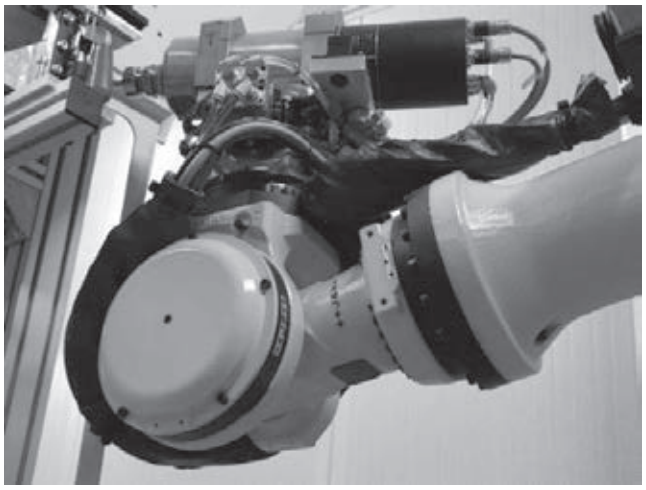
Uporabili smo robota: Fanuc R-2000iC/125L



Slika 5: Robot Fanuc R-2000iC/125L

- 6 osni vertikalni členasti robot;
- Nosilnost 125 kg;
- Največji doseg: 3.100 mm;
- Ponovljivost ± 0,05 mm;
- Teža mehanske enote 1115 kg;
- Zanesljivi in robustni RV reduktorji,
- Vse robotske osi so opremljene z zavorami;
- Absolutni dajalniki pozicije (ni potrebna kalibracija);
- Delovno območje osi J1 =370° (360°);
- Elektro in pnevmatski priključki na osi J4;
- Skladnost s CE strojnimi direktivami
- ISO prirobnica.

Poznavanje tehnoloških zahtev je nujno za pravilno izbiro obdelovalnih modulov in seveda orodij.



Slika 6: Modul za rezkanje, Tool Changers, robot

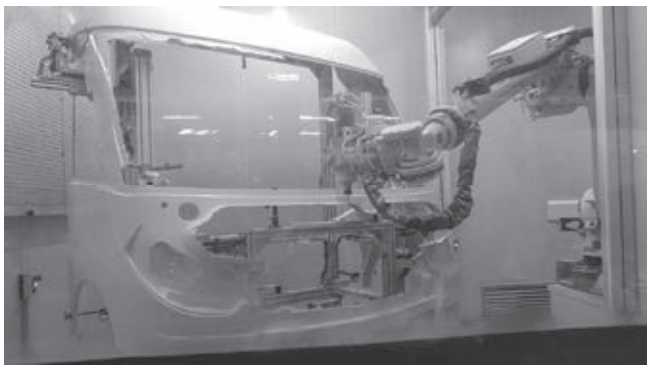
Dovolj velik zalogovnik orodij (ZO) je pomemben za večjo avtonomijo RC.

Slika 7: Zalogovnik orodij in modulov

ZO vsebuje 18 odlagalnih mest za konuse za stročnice, odlagalno mesto za motor in ACF ter odlagalni mesti za ekscentrični brusilki in polirko. Za prisotnost orodij so uporabljeni induktivni senzorji. Ko je orodje na mestu, senzor pošlje signal krmilniku, da je vse v redu.
ZO ima tudi protiprašna vrata, katera so zaprta, kadar robot obrezuje ali brusi izdelek. Ob menjavi orodja, se protiprašna vrata odprejo.

RC ima dve delovni postaji. Med njima je robot. RC je opremljena s centralnim odsesovalnim sistemom, ter vsemi varnostnimi elementi, ki so potrebni za varno delo.
Operater mora poskrbeti za pravilno vpetje obdelovanca. Napake pri vpetju so s pomočjo senzorjev prisotnosti minimalne.

Slika 8: Pogled na RC



Slika 9: Pogled na delo robota skozi zaščitno steklo

3 SKLEP

V FANUC Adria in NOPROMAT-u verjamemo, da je kombinacija strokovnjakov, ki sodelujejo v timskem duhu, ključ do uspeha.
Skupaj gradimo kulturo odličnosti in inovativnosti, ki temelji na medsebojnem spoštovanju, sodelovanju, povezovanju in osebnem razvoju. S svojo usposobljeno in motivirano ekipo smo pripravljeni na izzive prihodnosti in zagotavljamo kakovostne storitve in rešitve našim strankam.
Naša ekipa strokovnjakov vam lahko pomaga izboljšati produktivnost in konkurenčnost vašega poslovanja.
Če iščete vrhunske storitve na področju robotizacije in avtomatizacije vaše proizvodnje, je podjetje FANUC Adria z integratorji prava izbira za vas.
Kontaktirajte nas za več informacij o naših storitvah in rešitvah, ki so na voljo za vas.

Kontaktni podatki:
FANUC Adria d.o.o., Ipavčeva 21, 3000 Celje

info@fanuc.si
robot@fanuc.si
cnc@fanuc.si

Andrej Zidar
andrej.zidar@fanuc.si
040 99 11 33

Jožef Babič
info@nopromat.si
031 395 421

Sledite nam tudi na naših socialnih omrežjih:
Facebook LinkedIn Instagram YouTube

Viri:

[1] FANUC: *Interno gradivo*.
[2] NOPROMAT: *Interno gradivo*.

UPORABA SODELUJOČEGA ROBOTA (KOBOTA) ZA KONTROLO KAKOVOSTI

Peter KEREC, Robert LOGAR
ABB d.o.o.

IZVLEČEK

V prispevku bodo predstavljene možne uporabe sodelujočih robotov v kontroli kakovosti in en konkreten praktični primer.

19.4.2024

Uporaba sodelujočega robota (kobota) za kontrolo kakovosti

IRT forum 2024

Peter Kerec, Robert Logar

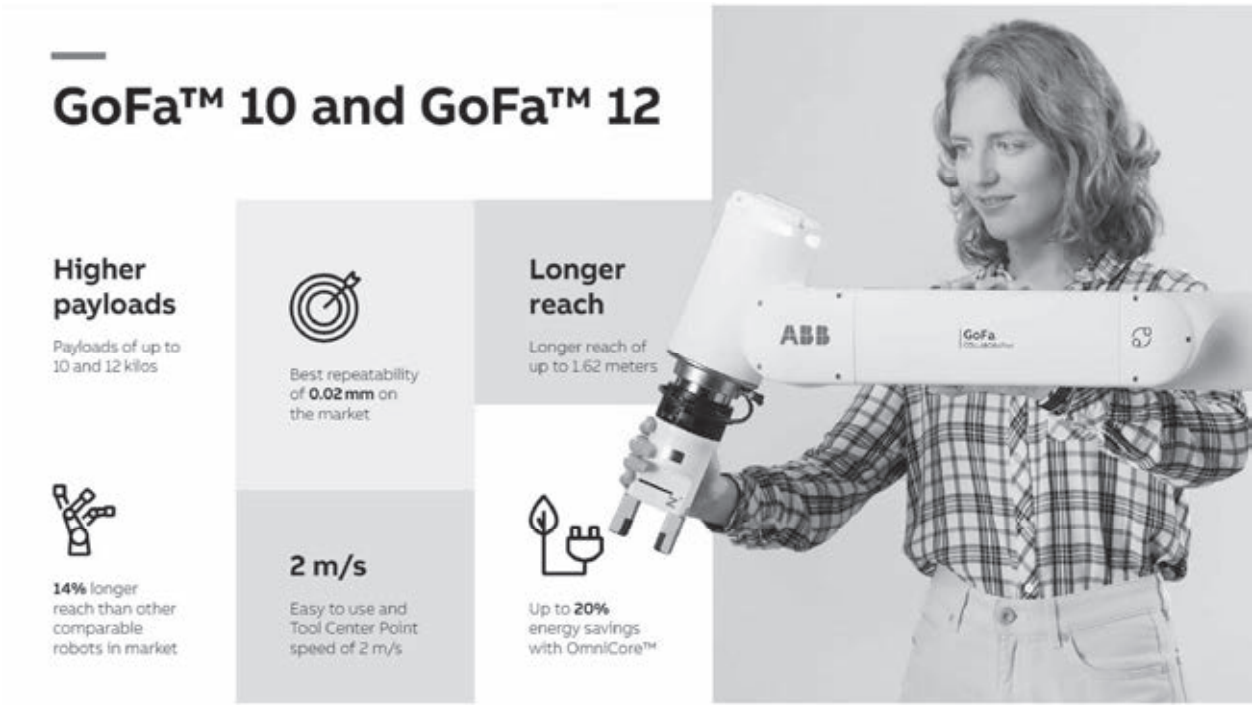
ABB

Agenda

01. GoFa™ 10 and GoFa™ 12

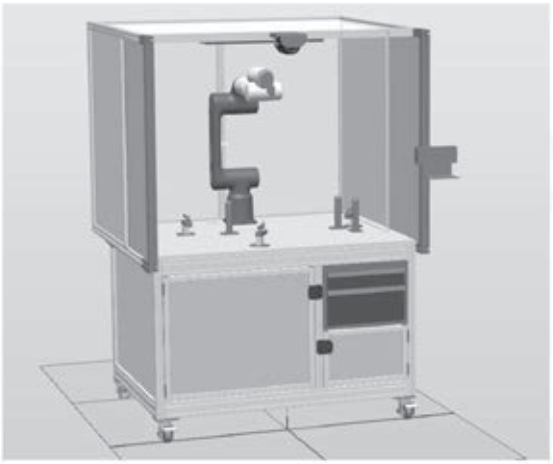
02. Uporaba sodelujočega robota (kobota) za kontrolo kakovosti

03. Q&A



Uporaba sodelujočega robota (kobota) za kontrolo kakovosti

- Robot GoFa CRB15000
- Merilni senzor Keyence GT2
- Varnostni skener SICK



Sodelujoči robot GoFa™ 5

- Doseg 950mm
- Nosilnost 5Kg

ABB

AVTOMATIZIRANA ROBOTSKA REŠITEV ZA RAZIGLJEVANJE IN ČIŠČENJA ROBOTSKIH ULITKOV Z UPORABO 3D STROJNEGA VIDA

Hubert KOSLER[1,2,3], Erih ARKO[3], Matej MERKAČ[1]
[1]YASKAWA Slovenija d.o.o.
[2]YASKAWA Europe robotics d.o.o.
[3]YASKAWA Ristro d.o.o.
.

IZVLEČEK

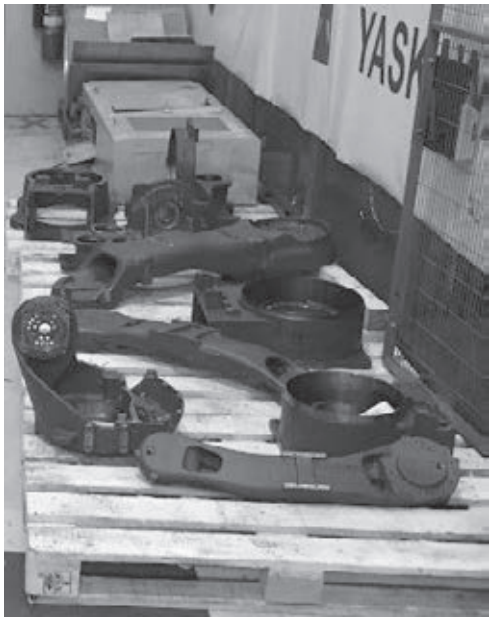
Robotska rešitev predstavlja inovativen korak za potrebe livarske industrije, saj omogoča humanizacijo na delovnem mestu, večjo učinkovitost, natančnost in stabilno kakovost izdelkov. YASKAWA je s z zadnjo robotsko rešitvijo omogočila, da je robotizacija upravičena tudi na področju livarske industrije.

1 UVOD

V sodobnem svetu se robotsko razigljevanje izkazuje kot izjemno pomembna in inovativna tehnologija z mnogimi ključnimi prednostmi. Eden najpomembnejših vidikov je zagotovljena humanizacija delovnega mesta, saj vlogo razigljevanja prevzame robot, kar zmanjšuje fizično obremenitev delavcev in omogoča njihovo preusmeritev k bolj kreativnim in intelektualno zahtevnim nalogam. S tem se dviga kvaliteta opravljenega razigljevanja, saj robot delo izvaja z natančnostjo in doslednostjo, brez subjektivnih vplivov, ki jih lahko prinese človeški dejavnik.

Poleg tega je visoka produktivnost še ena izmed izjemnih prednosti robotskega razigljevanja. Roboti so sposobni delovati avtonomno 24 ur na dan, 7 dni v tednu, kar omogoča neprekinjeno in učinkovito proizvodnjo brez potrebe po časovnih premorih. To vodi k optimizaciji proizvodnje in povečanju izkoristka proizvodnih zmogljivosti.

Hkrati pa je robotsko razigljevanje izjemno fleksibilno. Priprava programov poteka v off-line okolju, kjer se lahko programi temeljito preizkusijo v simulacijah s pomočjo Cad Cam tehnologij. To omogoča optimizacijo delovnih procesov in hitro prilagajanje proizvodnje novim zahtevam in produktom.



Slika 1: Obdelani ulitki segmentov industrijskih robotov

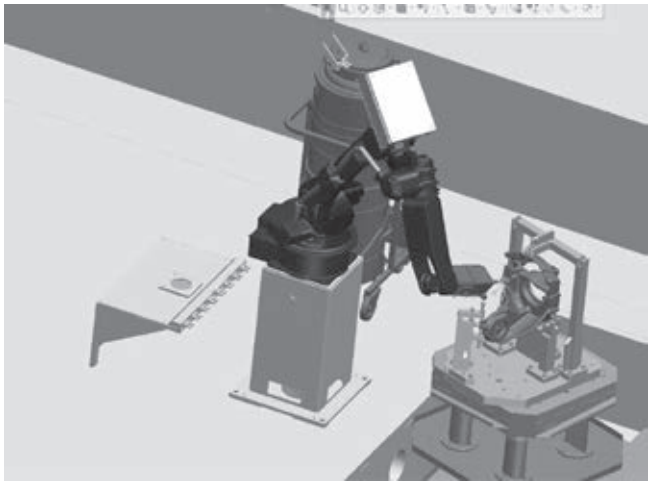
NA sliki 1 je prikazan tipičen primer obdelanih ulitkov iz nodularne litine. Zahteva je po razigljevanju vseh stikov med obdelano in neobdelano površino. Zaradi kompleksnosti kosov in večjih toleranc predstavlja robotizacija procesa še posebej velik izziv. Da bi zadostili zahtevam po kvaliteti obdelave, časa cikla in tudi kompleksnosti programske kode smo v YASKAWI na podlagi izkušenj pripravili optimalno rešitev, kjer smo uporabili najnovejša orodja v robotiki in jih implementirali v aplikacijo robotske celice

Hubert KOSLER[1,2,3], Erih ARKO[3], Matej MERKAČ[1]
[1]YASKAWA Slovenija d.o.o., [2]YASKAWA Europe robotics d.o.o., [3]YASKAWA Ristro d.o.o.

V aplikaciji smo uporabili 6 ključnih gradnikov, ki skupaj tvorijo robotsko celico z visoko efektivnostjo:

- Industrijski robot YASKAWA GP25 ter GP25-12
- Offline okolje Process Simulate MOTOSim VRC
- Vreteno Gravostar z nastavljivim odmikom, krmiljenimi obrati ter izmenljivimi orodji
- Sistem za izpihovanje in odsesovanje ostružkov in praha
- 3D Vision sistem za lociranje pozicije ulitkov
- Povezava v popolnoma avtomatiziran FMS sistem skladiščenja

2. OFFLINE PROGRAMSKO OKOLJE PROCESS SIMULATE IN MOTOSIM VRC



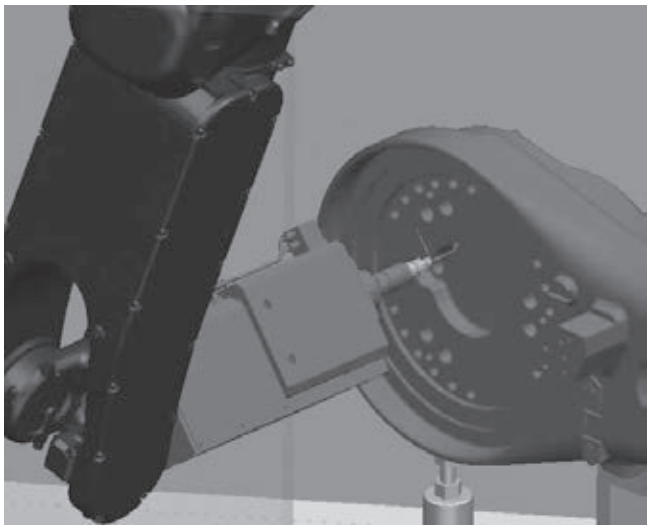
Slika 2: Postavitev robotskega sistema v virtualnem okolju

Ključna prednost celotnega robotskega sistema je njegova kreacija v digitalnem dvojčku s pomočjo programskih orodij, kot je Process simulate. Uporablja se za ustvarjanje 3D-modelov proizvodnih sistemov, robotsko simulacijo, postavljanje naprav in orodij ter analizo toka dela. To omogoča natančno načrtovanje in optimizacijo celotnega postopka programiranja razigljevanja posameznega ulitka.

MotoSimVRC pa je offline programsko okolje, ki lahko še dodatno skrajša čas učenja za robota. Ker so robotski programi pred pripravljeni in jih je potrebno le naložiti na realen sistem z manjšimi modifikacijami, se poveča produktivnost in zagotovi varnost operaterja z omogočanjem programiranja robota na osebnem računalniku.

MotoSim uporablja isti kinematični model kot krmilnik robota in vse instrukcije INFORM programskega jezika, kar omogoča popolno kompatibilnost z realno celico.

Sam postopek programiranja poteka na več načinov. Za naš primer smo v Process simulatu uporabili CAM (Computer Aided Manufacturing), ki vključuje funkcije, kot so avtomatsko generiranje poti robota, določanje parametrov orodij, simulacija montaže in preverjanje trkov.



Slika 3: CAM funkcija za generiranje poti robota

3. VRETENO GRAVOSTAR

Ključni element sistema engraflexx ESP je prilagodljivo električna vreteno s spremenljivo hitrostjo. Ta vključuje zračno hlajeni visokofrekvenčni motor z vgrajeno prirobnico za pričvrstitev orodja. Zahvaljujoč krmiljenemu električnemu pogonu so učinkovitost in procesna varnost med posebnimi značilnostmi vretena.

Vreteno (ukaz za zagon/ustavitev, določitev hitrosti itd.) se krmili prek frekvenčnega pretvornika, ki je povezan z robotom in nadrejenim krmilnikom stroja.
Ta oprema omogoča pobiranje srha tudi na mestih, kjer prihaja do manjših sprememb geometrije izdelka ki je posledica vlivanja.

Hubert KOSLER[1,2,3], Erih ARKO[3], Matej MERKAČ[1]
[1]YASKAWA Slovenija d.o.o., [2]YASKAWA Europe robotics d.o.o., [3]YASKAWA Ristro d.o.o.

Sistem je izredno fleksibilen prav zaradi naslednjih lastnosti:

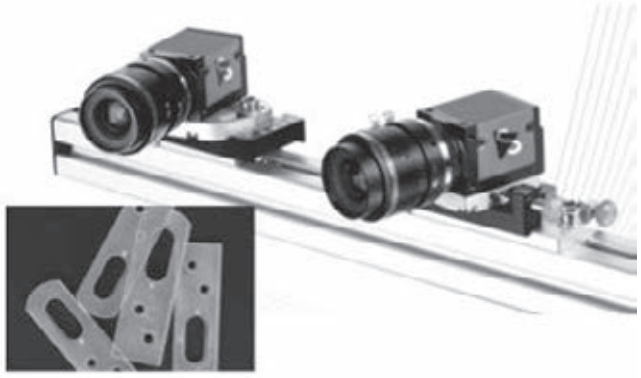
- Radialna kompenzacija
- Aksialna kompenzacija za čiščenje
- Prilagajanje sile kompenzacije
- Prilagajanje števila vrtljajev do 25000obr/min
- Avtomatsko menjanje orodij

4. INDUSTRIJSKI ROBOT YASKAWA GP25 in GP25-12

Slika 4: YASKAWA Robota GP25 in GP25-12

V aplikaciji razigljevanja smo uporabili robota GP25, v aplikaciji izpihovanja pa robota GP25-12. Industrijski roboti Yaskawa GP25 in GP25-12 zagotavljajo izredno natančnost trajektorije in so primerni za uporabo v aplikacijah brušenja, ko mora natančnost in ponovljivost trajektorije zagotoviti robot. Robot je bil razvit za izvajanje natančnih gibov in je idealna izbira za aplikacije, kjer je potrebna fleksibilnost. Z nosilnostjo do 25kg omogoča natančno vodenje vretena po 3D obliki izdelka, hkrati pa je tudi njegova izdelana geometrija, ključnega pomena, da dosegamo vse zahtevane kunture na izdelku. Doseg robota v kombinaciji z zunanjim pozicionerjem, podprtim z YASKAWINIM servo motorjem, prav tako omogoča veliko delovno področje in dostopnost do robov za raziglevanje .
Robota in pozicioner krmili visoko zmogljiv robotski krmilnik YRC1000, ki omogoča sinhrono krmiljenje do 72 osi.

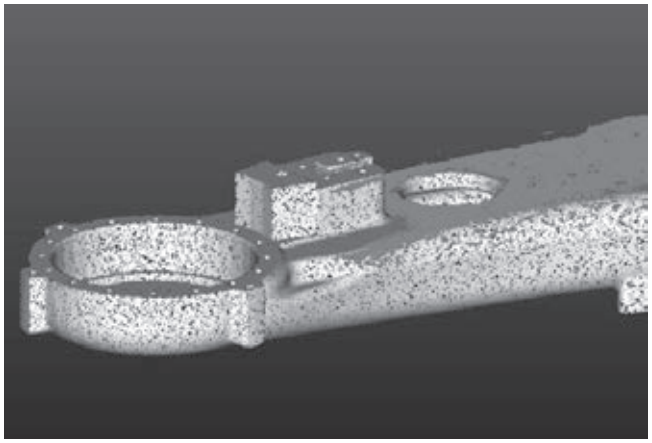
5 3D VISION SISTEM ZA LOCIRANJE POZICIJE ULITKOV



Slika 5: 3D Stereo Vision sistem

Po končanem razigljevanju operater vzame ulitek iz vpenjalnega orodja in ga položi na določeno mesto na paleti. Pozicija ulitka je tu približna in lokacija zato neprimerna za robotsko obdelavo. Da bi zagotovili prilagajanje robotske trajektoriji trenutni lokaciji na paleti, smo v robotsko celico za izpihovanje lukenj opremili s 3D strojnim vidom na principu stereovisiona, ki zajame trenutno sliko in jo pretvori v 3D oblak točk. S pomočjo vision knjižnjic HALCON smo razvili razpoznavo vseh tipov ulitkov in na ta način procesna enota sporoči robotskemu krmilju natančno pozicijo aktualnega kosa, ki pride iz stroja za pranje.
Strojni vid je sestavljen iz slikovnega modula in procesne enote. Kameri sta pritrjeni na mesto nad ulitkom v prilagojenem ohišju, ki zagotavlja robusten zajem slike. Procesna enota pa komunicira z robotskim krmilnikom.
V našem primeru je režim v kombinaciji offline programiranjem najbolj optimalen za implementacijo robotske trajektorije za izbran proces.

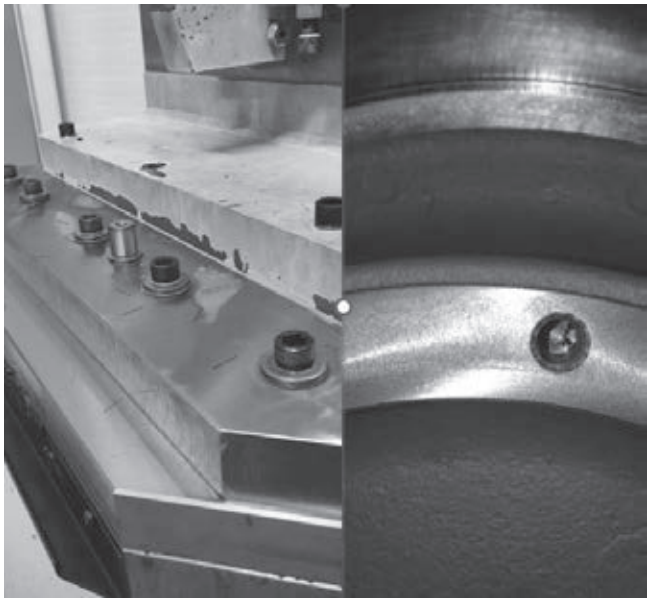
Hubert KOSLER[1,2,3], Erih ARKO[3], Matej MERKAČ[1]
[1]YASKAWA Slovenija d.o.o., [2]YASKAWA Europe robotics d.o.o., [3]YASKAWA Ristro d.o.o.


Slika 6: Generiran 3D oblak točk s poravnavo

6 SISTEM ZA IZPIHOVANJE IN ODSESOVANJE OSTRUŽKOV IN PRAHA

Odstranjevanje ostružkov iz obdelanih površin in lukenj izdelkov, ki so bili predhodno obdelani v CNC stroju in so namenjeni nadaljnji obdelavi, kot so vijačenje ali sestava, ima ključen vpliv na kakovost, zanesljivost in trajnost končnih izdelkov. Ta korak zagotavlja, da ni ostankov materiala, ki bi lahko zmanjšali natančnost prileganja sestavnih delov ali ovirali tekočo montažo. Zato je robotska celica opremljena z napravami za izpihovanje in odsesavanje emulzije ter ostružkov, s čimer dosežemo da je po mehanski obdelavi ulitek popolnoma očiščen istočasno pa tako lahko vzdržujemo čisto delovno okolje na obdelovalnem mestu.

Slika 7: Ostružki na orodju


Slika 8: Površina po procesu čiščenja

7. ZAKLJUČEK

Z rešitvami, ki so rezultat tudi lastnega razvoja smo kupcu integrirali visoko tehnološki robotski sistem, ki lahko izvaja razigljevanje široke palete izdelkov iz različnih materialov. Z implementacijo celic za robotsko razigljevanje smo pripomogli k še večji ekologiji in skrbi za čisto mikroklimo, saj smo popolnoma omejili uhajanje prašnih delcev v prostor, prav tako smo zmanjšali hrup, ki nastaja pri procesu razigljevanja in kar je ključno, proces je varen za operaterja - saj le ta iz daljave preko monitorja spremlja delovni proces.

Viri:
[1] http://yaskawa.eu.com/

POVEČANJE UČINKOVITOSTI STROJNEGA PARKA S POMOČJO PRILAGODLJIVEGA KONCEPTA PROIZVODNJE (FMC) IN CENTRALIZIRANEGA SISTEMA ZA UPRAVLJANJE STROJNIH NALOG (JMS)

Gregor TRESKA[1], **Tim HERBERTSON**[2]
[1]Trecon d.o.o.
[2]EROWA AG

IZVLEČEK

Učinkovitost in produktivnost sta ključna dejavnika uspeha proizvodnih operacij. V današnjem konkurenčnem okolju je integracija naprednih tehnologij avtomatizacije bistvenega pomena za doseganje optimalne učinkovitosti sodobne delavnice s strojnim parkom. Prilagodljivi koncept proizvodnje (FMC) in sistem za centralno upravljanje strojnih nalog (JMS) predstavljata vrhunski rešitvi, namenjeni reševanju kompleksnosti sodobne proizvodnje in izboljšanju učinkovitosti strojev in opreme (OEE). V članku si bomo ogledali inovativne pristope k avtomatizaciji in teoretične temelje.

1 UVOD

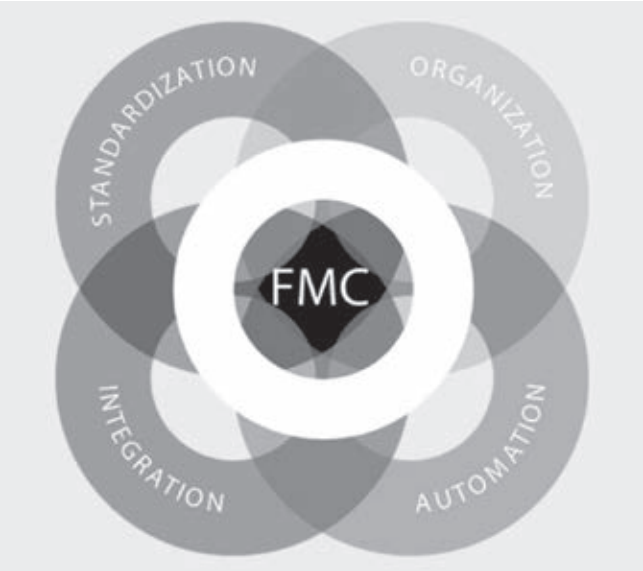
Učinkovitost leži v jedru uspešnih proizvodnih operacij. Zaradi naraščajoče kompleksnosti izdelkov in potrebe po hitri prilagoditvi tržnim spremembam proizvajalci iščejo inovativne rešitve za optimizacijo učinkovitosti delavnice. Erowin prilagodljivi koncept proizvodnje (angl. »flexible manufacturing concept« - FMC) in sistem za centralno upravljanje strojnih nalog (angl. »job management system« - JMS) ponujata celovit pristop k reševanju teh izzivov. Z uporabo napredne avtomatizacije, modularnega orodja in inteligentne programske opreme lahko podjetja dosegajo višjo stopnjo prilagodljivosti, skalabilnosti proizvodnje in natančnosti pri njihovih operacijah.

2 TEORETIČNI TEMELJI FMC IN JMS

2.1 Prilagodljivi koncept proizvodnje (FMC)

V jedru FMC leži načelo prilagodljivosti. Gre za avtomatsko rešitev, ki se hitro prilagaja spremembam pri naročilih. FMC sestavljajo 4 temelji:

- standardizacija (orodja),
- organizacija (pretoka informacij),
- avtomatizacija (robotske strege mašin) in
- integracija (oz. orkestracija delovanja celotnega strojnega parka).



Slika 1: Shematičen prikaz temeljev koncepta fleksibilne proizvodne (FMC)

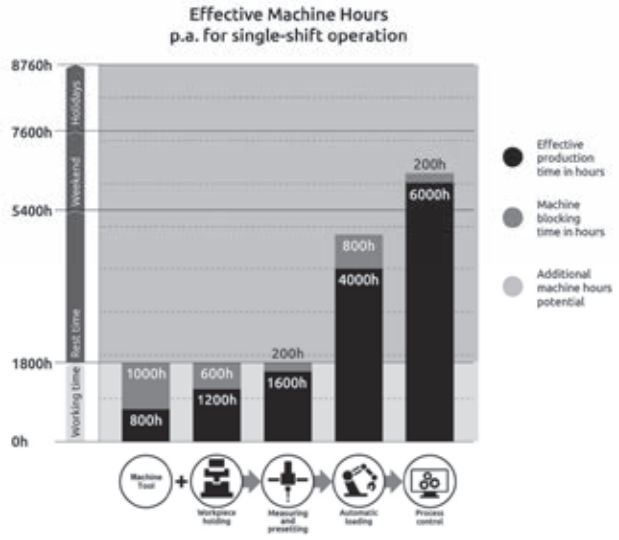
2.2 Sistem za centralno upravljanje strojnih nalog (JMS)

Sistem za upravljanje strojnih nalog (JMS) služi kot osrednji nadzorni center za proizvodne operacije. Z integracijo JMS v proizvodni proces proizvajalci pridobijo realnočasovni pregled nad svojimi proizvodnimi tokovi, kar omogoča lažje odločanje in hitrejše odzivanje na spremembe. JMS je ključen element za optimizacijo proizvodnih urnikov, upravljanje s tveganji in zagotavljanje sledljivosti proizvodnega procesa.

Gregor TRESKA[1], Tim HERBERTSON[2]
[1]Trecon d.o.o., [2]EROWA AG

3. VPLIV FMC IN JMS NA OEE

Eden od ključnih kazalnikov uspešnosti proizvodnih operacij je skupna učinkovitost izrabe opreme (OEE). FMC in JMS imata pomemben vpliv na izboljšanje OEE z zagotavljanjem boljše izrabe proizvodnih virov, zmanjšanjem časa zaustavitve, optimizacijo proizvodnih postopkov in povečanjem sledljivosti in nadzora nad delavnico.



Slika 2: Prikaz povečanja OEE z vpeljavo FMC

4. KLJUČNE KOMPONENTE IN FUNKCIJE FMC IN JMS

4.1 Robotska avtomatizacija

FMC vključuje napredne sisteme robotskega strege obdelovalnih mašin, ki avtomatizirajo manipulacijo materialov, nalaganje in raztovarjanje delovnih nalog. Ti roboti so opremljeni s senzorji najnovejše tehnologije in vizualnimi sistemi, ki zagotavljajo natančno in učinkovito delovanje, zmanjševanje cikličnih časov in povečanje skozišč.

4.2 Modularno orodje

Osnova prilagodljivosti FMC je uporaba standardiziranih modularnih rešitev za fiksiranje obdelovancev in nemoteno obdelavo v mašini. Ta orodja vključujejo:

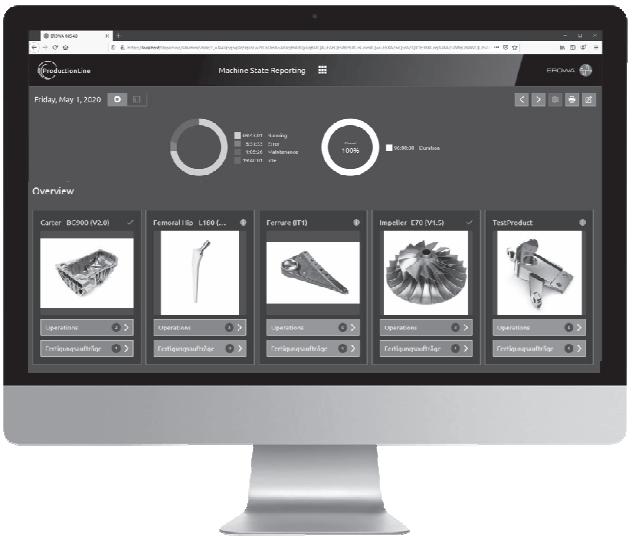
- Hitre vpenjalne sisteme (zero-point)
- Palete in adapterske palete
- Prijemala in nosilce izdelkov

Pomembno je, da lahko ta orodja enostavno zamenjamo in preuredimo, tako da se nemoteno prilagajamo različnim proizvodnim zahtevam. S standardizacijo komponent orodja omogočamo hitro preklapljanje in nastavljanje ter zmanjšujemo čas zaustavitve.

Slika 3: Modularno zasnovani vpenjalni sistemi

4.3 Inteligentna programska oprema

Sodobni JMS zagotavlja organiziran pretok informacij ter omogoča orkestrirano delovanje celotnega strojnega parka v delavnici. Centralizirana platforma omogoča načrtovanje, razporejanje in nadzor strojnih nalog. Za vsak produkt lahko izdelamo tehnološki postopek, ki se nato izvede na prostih obdelovalnih mašinah, ki lahko tovrstno nalogo opravij – torej imajo ustrezno orodje).



Slika 4: Primer centralnega pregleda naročil

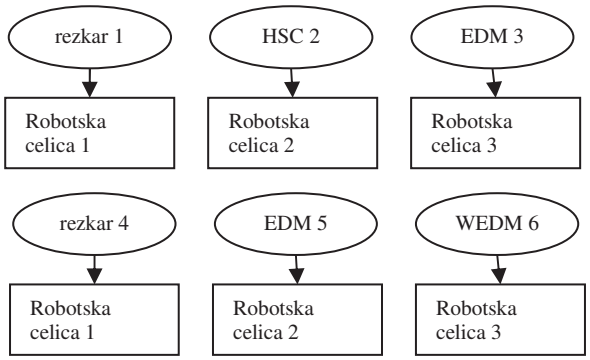
Gregor TRESKA[1], Tim HERBERTSON[2]
[1]Trecon d.o.o., [2]EROWA AG

Napredne analitične sposobnosti programske opreme omogočajo proizvajalcem optimizacijo proizvodnih urnikov, prepoznavanje ozkih grl in proaktivno reševanje težav, še preden vplivajo na operacije. Spremljanje v realnem času in poročanje zagotavljata vodstvu uporabne vpoglede v uspešnost delavnice (OEE), kar omogoča nenehno izboljševanje in optimizacijo.

Slika 5: Primer pregleda strojnega parka na mobilni aplikacij dežurnega vzdrževalca

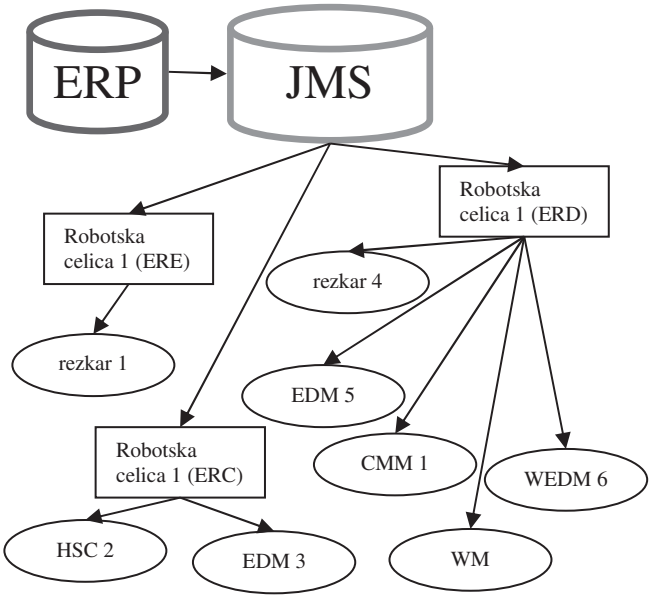
5. PRIMERJAVA KONVENCIONALNE AVTOMATIZACIJE DELAVNICE IN JMS

Pri konvencionalni avtomatizaciji delavnice je stroj običajno glavni akter, medtem ko je robot njegov pomočnik. To pomeni, da se večina odločitev sprejema na ravni stroja, medtem ko roboti opravljajo preproste, ponavljajoče se naloge.



Slika 6: shematski prikaz konvencionalne avtomatizacije delavnice (stroj-robot)

Sistem za upravljanje delovnih mest (JMS) obrne ta koncept, tako da robot postane glavni akter, medtem ko stroj postane njegov pomočnik. To omogoča boljšo prilagodljivost, saj je robot sposoben samodejno prilagajati svoje naloge in urnike na podlagi spremenljivih proizvodnih zahtev in pogojev, ki jih diktira JMS, le ta pa je lahko dalje povezan na sistem ERP. Tako se izboljša tudi sledljivost in nadzor nad proizvodnimi tokovi.



Slika 7: shematski prikaz orkestrirane avtomatizacije delavnice z uporabo JMS sistema. (ERP-JMS-robot-stroj)

Slika 8: Prikaz avtomatizirane robotske celice z večimi mašinami različnih tipov in linearnim robotom (ERD). Robotska celica uporablja JMS.

6. KOMU JE FMC IN JMS NAMENJEN?

Proizvodna podjetja, ki delujejo v industrijskih panogah, kot so avtomobilska, letalska, elektronska, medicinska oprema in potrošniška roba. Ta podjetja pogosto obravnavajo kompleksne proizvodne procese in potrebujejo učinkovite sisteme za upravljanje delovnih mest za optimizacijo svojih operacij.

Proizvodni obrati skupaj s strojnimi delavnicami in montažnimi linijami običajno obdelujejo visok obseg del in potrebujejo napredne zmogljivosti načrtovanja, sledenja in nadzora, da zagotovijo nemoteno delovanje.

Podizvajalci, ki nudijo proizvodne storitve različnim strankam pogosto obravnavajo raznolike zahteve po delih s kratkimi dobavnimi roki, zaradi česar je učinkovito upravljanje strojnih nalog ključno za sledenje povpraševnju strank in ohranjanju donosnosti.

Obrati za izdelavo manjših serij, ki se specializirajo za proizvodnjo majhnih do srednje velikih serij po meri za različne industrije. Te obrati lahko z JMS optimizirajo načrtovanje, sledenje in nadzora dela. Z optimizacijo svojih operacij lahko ti obrati izboljšajo učinkovitost in zadovoljstvo strank.

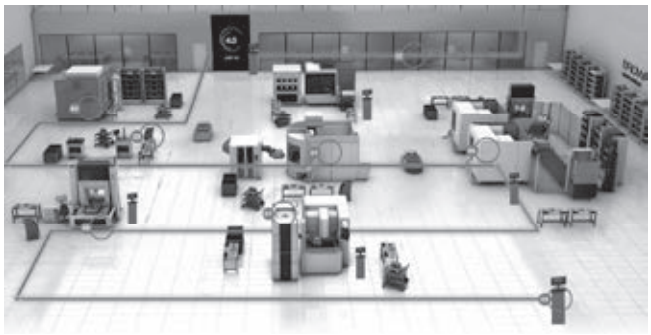
Inženirska podjetja, ki se ukvarjajo z oblikovanjem, razvojem in prototipiranjem izdelkov lahko sistem uporabljajo za upravljanje proizvodnje prototipov, proizvodnjo v majhnih serijah ali izdelavo prilagojenih komponent za svoje stranke.

Na splošno sta rešitvi primerni za širok spekter strank, ki želijo izboljšati učinkovitost, produktivnost in konkurenčnost svoje proizvodnje v dinamičnem industrijskem okolju.

Slika 9: Prikaz sočasne strege dveh rezkarjev z vmesnim robotm. Sistem poganja JMS.

7. ZAKLJUČEK

Prilagodljivi koncept proizvodnje (FMC) in sistem za upravljanje delovnih mest (JMS) predstavljata paradigmo v avtomatizaciji proizvodnje. Z uporabo naprednih robotov, modularnega orodja in inteligentne programske opreme te rešitve proizvajalcem omogočajo doseganje doslej nedoseženih ravni učinkovitosti delavnice. Dandanes je tempo razvoja, ki ga diktira industrija, izjemno hiter in buren. Sprejetje novih tehnologij kot sta FMC in JMS bo tako kmalu igralo ključno vlogo za ohranjanje konkurenčnosti v hitro spreminjajočem se proizvodnem okolju.



Slika 10: Prikaz delavnice z orkestriranim strojnim parkom.

Viri:

[1] EROWA General Catalogue (https://issuu.com/erowa/docs/erowa_general_catalog)
[2] EROWA Report - HANA ITM Inc. (https://issuu.com/erowa/docs/erowa_fachbericht_-_hana_itm_en)
[3] EROWA e-magazin (https://issuu.com/erowa/docs/164634_erowa_magazin_2023_en)
[4] EROWA report - WYMED (https://issuu.com/erowa/docs/fachbericht_erowa_-_wymed_ag_en)

AVTOMATIZIRAN PROCES OBDELAVE GRAVURNIH VLOŽKOV NA CELICI EROWA

Kristjan KUTIN, Jan TAVČAR
Domel, d. o. o.

IZVLEČEK

V podjetju Domel d.o.o. smo se pred petimi leti odločili za nakup novega stroja za oblikovno erozijo. Zaradi želje po čim boljšem izkoristku nove opreme, pa smo se odločili, da novi stroj nadgradimo z avtomatizirano celico Erowa. Od začetne ideje o posluževanju enega stroja z robotom, smo na koncu prišli do avtomatizirane celice, v kateri je trenutno pet strojev in omogoča celoten proces od priprave obdelovanca, erodiranja, rezkanja in izdelave elektrod do čiščenja in izvajanja meritev po obdelavah..

1 UVOD

Orodjarna Domel izdeluje orodja za zabrizgavanje z termoplasti, brizganje duroplastov, ter rezilna orodja za štancanje elektro pločevine. Eni izmed pomembnejših obdelovalnih procesov izdelave orodij so visoko hitrostno frezanje in oblikovna erozija, ki vključuje tudi izdelavo elektrod. Zaradi želje po čim boljšem izkoristku opreme, smo se odločili te procese avtomatizirati.

2 POSTOPEK OBDELAVE PRED IMPLEMENTACIJO AVTOMATIZACIJE

Pri izdelavi zahtevnejših sestavnih delov orodij je poleg visoko hitrostnega frezanja (HSC) običajno potrebna tudi obdelava z oblikovno erozijo. Obdelavi se medsebojno dopolnjujeta, saj v primeru, da z frezanjem ne moremo izdelati določenih zahtev, le te izdelamo s pomočjo oblikovne erozije.

2.1 Opis postopka pred implementacijo avtomatizacije

Postopek vključuje dve vrsti strojnih obdelav. Prva obdelava je obdelava z visoko hitrostnim frezanjem (HSC frezanje). Obdelava spada med postopke in jo uporabljamo za obdelavo kaljenih obdelovancev in grafitnih elektrod.

Druga obdelava je oblikovna erozija(EDM). Ta se uporablja predvsem takrat, ko z ostalimi obdelovalnimi procesi ne moremo izdelati določenih zahtev (ozka in globoka rebra, ostri vogali, zahtevne oblike,…). Posebnost postopka oblikovne erozije je, da je pred obdelavo potrebna izdelava elektrode.

Pred implementacijo avtomatizacije smo gravurne vložke, ki vključujejo obdelavo z HSC frezanjem in oblikovno erozijo izdelovali na sledeč način.

2.1.1 HSC frezanje

Gravurne vložke smo po prehodnih grobih obdelavah in kaljenju najprej obdelali z HSC frezanjem. Obdelovanec smo vpeli neposredno na mizo CNC stroja in mu ročno določili koordinatno izhodišče. V naslednji fazi je operater uredil in zagnal program za obdelavo. Po končani obdelavi se je obdelovanec izpel in po potrebi dimenzijsko kontroliral na koordinatnem merilnem stroju v merilnem laboratoriju. V primeru ne doseganja zahtevanih toleranc se je obdelovanec ponovno vpel na stroj in dodatno obdelal. Gravurnemu vložku, ki je dosegal željene tolerance je nato sledila obdelava z oblikovno erozijo.

2.1.2 Oblikovna erozija (EDM)

Pred implementacijo avtomatizacije smo za strojno obdelavo z oblikovno erozijo uporabljali dva stroja za oblikovno erozijo, tri-osni frezalni stroj in koordinatni merilni stroj. Stroj za oblikovno erozijo je bil tovarniško opremljen z

robotom nosilnosti do 80kg, zalogovnikom za elektrode in zalogovnikom za štiri palete obdelovancev, dimenzij 280x280mm. Uporabljali smo paletni sistem System 3R Dynafix za obdelovance in System 3R Macro za elektrode. Na frezalnem stroju smo prav tako uporabljali 3R Macro za frezanje elektrod. Na vseh izdelanih elektrodah smo ročno izvedli dimenzijsko kontrolo na koordinatnem merilnem stroju. Operater je za vsako pozicijo moral izdelati nov merilni program. Pred obdelavo je sledilo ročno določanje pozicije obdelovanca in elektrod glede na vpenjalni sistem na koordinatnem merilnem stroju. Vnos koordinat in izdelava programa je potekala ročno in je zahtevala veliko natančnost operaterja. Obdelovance smo obdelovali na paletah 3R Dynafix, ki so nam omogočale večkratno vpenjanje. Zaradi zahtevanih toleranc na kosih, je v večini primerov potrebna tudi vmesna kontrola obdelovancev na koordinatnem merilnem stroju. To pa je pomenilo, da je po obdelavi potrebno kos temeljito očistiti in pripraviti za meritve, kar je zopet potekalo ročno. Po meritvi je bilo potrebno obdelovanec v primeru dimenzijskih odstopanj ponovno obdelati, očistil in izvesti dimenzijsko kontrolo. Ko je gravurni vložek dosegal željene tolerance se je obdelovanec izpel iz palete in očistil pred nadaljnjimi obdelavami ali montažo orodja.

2.1.3 HSC frezanje elektrod

Pred obdelavo z oblikovno erozijo je potrebna izdelava elektrod. V našem podjetju za izdelavo elektrod v 90% uporabljamo grafit. Grafitne elektrode izdelujemo s HSC frezanjem na tri osnem frezalnem stroju Röders, ki je opremljen za obdelavo grafita. Omeniti je potrebno tudi, da je stroj primeren tudi za HSC frezanje gravurnih vložkov, vendar smo to v preteklosti na tem stroju izvajali zelo redko, saj je bil stroj zaradi slabšega izkoristka zaseden z izdelavo elektrod. Postopek izdelave je potekal tako, da je operater na stroj vpel Dynafix paleto z več Macro bazami in nanje vpel grafitne surovce ter pred frezanjem za vsak obdelovanec določil izhodiščno pozicijo. Največje število, ki smo jih lahko hkrati vpeli na stroj, je bilo 10 elektrod manjših dimenzij. Operater je pred obdelavo moral za vsako elektrodo urediti tudi program za frezanje.

2.2 Razlogi za uvedbo avtomatizacije

Obstoječi način dela je glede na zahtevnost obdelovancev in nižjo produktivnost postal nesprejemljiv. Zaradi zahtevnih toleranc na izdelkih je ključno, da je vpenjanj obdelovancev čim manj. Z avtomatiziranim procesom bi se zmanjšalo število vpenjanj in tako zmanjšalo možnosti za napake pri pozicioniranju obdelovancev.

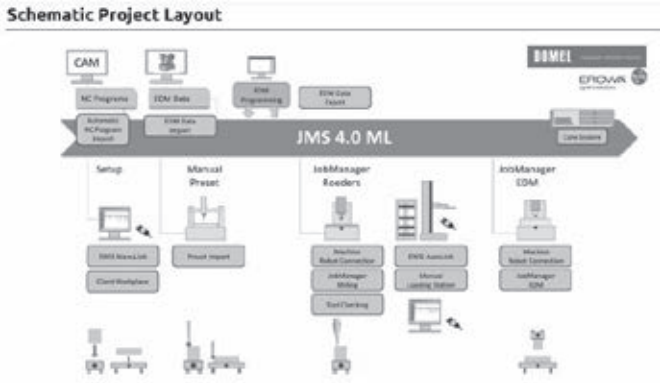
Prav tako takratni izkoristek strojev ni bil ustrezen, zavedali smo se, da je izboljšanje nujno, če želimo ohraniti konkurenčnost. V avtomatizirani celici imamo lahko pred pripravljenih veliko večje število obdelovancev in s tem lažje zagotovimo polno zasedenost strojev.

Na oblikovni eroziji so se nam prepogosto dogajale napake zaradi uporabe napačnih elektrod ali napačnih koordinat v programu, kar je povzročalo dodatne stroške. Z uvedbo avtomatiziranega procesa bi tovrstne napake odstranili iz obdelovalnega procesa.

Glede na to, da smo paletni sistem že uporabljali in smo ga sčasoma poleg oblikovne erozije namestili tudi na druge obdelovalne stroje, je bila po našem mnenju avtomatizirana celica edina smiselna nadgradnja dosedanjega načina dela. Želeli smo narediti korak naprej.

3 NAČRTOVANJE PROCESA AVTOMATIZACIJE

Način dela na oblikovni eroziji omogoča veliko stopnjo avtomatizacije. V našem primeru smo z avtomatizacijo oblikovne erozije pričeli že leta 2001. Po skoraj dvajsetih letih dela, ti stroji niso bili več na ustreznem tehničnem nivoju, zato smo leta 2018 pričeli resno razmišljati o posodobitvi.



Slika 1: Shematski prikaz celotne avtomatizacije

3.1 Osnovna izhodišča in cilji avtomatizacije

Poglaviten razlog za uvedbo avtomatizacije, je bila želja po izboljšanju izkoristka naših strojev. Naš cilj je bil zagotoviti 80% izkoristek razpoložljivega časa, kar bi naj bil realno dosegljiv cilj, ob predpostavki, da imamo ustrezno zasedenost strojev. Brez avtomatizacije takšnega cilja ni mogoče doseči.

Drugi razlog je bil zmanjšanje napak na obdelavah. Z uporabo RFID čipov na paletah z obdelovanci in elektrodah, bi zmanjšali tveganje za napake; npr. uporaba napačnih elektrod za napačne obdelovance. Z vključitvijo stroja za HSC frezanje v avtomatizacijo, poleg oblikovne erozije, pa bi zmanjšali tudi število vpenjanj obdelovancev in tudi na ta način zmanjšali možnost za napako.

Dosedanji način dela na oblikovni eroziji je zahteval zelo veliko ročnega dela operaterjev. Naš cilj je bil zmanjšanje števila teh operacij in razbremenitev operaterjev, potencialno tudi zmanjšati število operaterjev oziroma jih usmeriti v tehnično bolj zahtevne naloge.

3.2 Načrtovanje izvedbe avtomatizacije

S tem, ko smo se odločili za nakup novega stroja za oblikovno erozijo, je bilo potrebno analizirati tudi možnosti za avtomatizaciji le tega. Možne načine avtomatizacije smo pričeli raziskovati že vzporedno s testiranji novih strojev za oblikovno erozijo. Glede na rezultate testov, je bil za nas najbolj ustrezen stroj OPS Ingersoll G5 Precision. Ta odločitev pa je tudi omejila nabor potencialnih proizvajalcev avtomatizacij. Za pokritje vsaj 90% potreb, potrebujemo možnost manipulacije obdelovancev dimenzije 400x400mm z maksimalno težo 150kg. Ker pri proizvajalcu stroja za oblikovno erozijo, takšnega sistema ni bilo na voljo, smo vključili proizvajalce, ki so specializirani za avtomatizacijo procesov na področju orodjarstva. Odločili smo se za sodelovanje s švicarskim podjetjem Erowa, ki ga v Sloveniji zastopa podjetje Trecon d.o.o.. Prepričali so nas s svojo neodvisnostjo in prilagodljivostjo. Za nas je bilo namreč pomembno, da imamo možnost implementacije strojev različnih proizvajalcev.

4. IZVEDBA PROCESA AVTOMATIZACIJE

Glede na obsežnost projekta, smo le tega razdelili v več faz. Prva faza je obsegala avtomatizacijo novega stroja za oblikovno erozijo in obstoječega tri osnega frezalnega stroja Röders.

Druga faza je obsegala podaljšanje celice za avtomatizacijo, vključitev še enega novega stroja za oblikovno erozijo, koordinatni merilni stroj, pralno napravo ter dodaten zalogovnik za obdelovance in elektrode.

Tretja faza trenutno še ni izvedena, v tej fazi je predvidena vključitev 5-osnega frezalnega stroja za obdelavo zahtevnejših elektrod in kaljenih gravurnih vložkov.

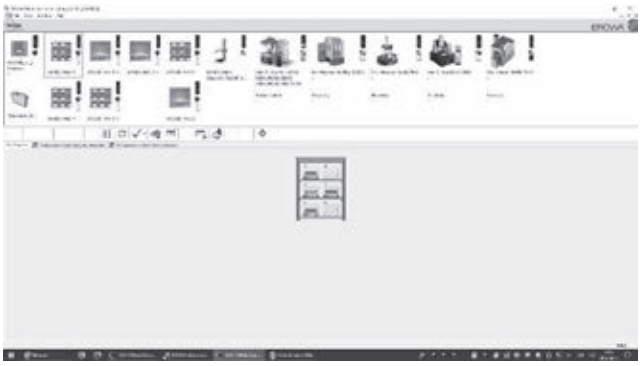
4.1 Izvedba 1. faze

Celico za avtomatizacijo Erowa v osnovi sestavlja robot ERD 150L nosilnosti do 150kg, zalogovniki za palete z obdelovanci in elektrode, odlagalno mesto skozi katerega palete z obdelovanci vlagamo v avtomatizirano celico. Velikost celice je odvisna od števila strojev, ki jih vključimo v celico in števila zalogovnikov. V našem primeru smo v prvi fazi vključili dva zalogovnika za Dynafix palete (16 palet) in dva za elektrode (120 elektrod) ter dva obdelovalna stroja. Že v tej fazi smo postavitev predvideli tako, da je bila mogoča širitev celice, čeprav takrat še nismo imeli povsem natančno določenega obsega 2 faze.

Slika 2: Glavni računalnik avtomatizirane celice, v ozadju stroj OPS Ingersoll G5 Precision

Za vključitev strojev v avtomatizirano celico le ti morajo biti ustrezno pripravljeni za vključitev. To pomeni, da morajo imeti vgrajena stranska vrata za posluževanje z robotsko roko ter ostale elektronske in pnevmatske priklope, ki so potrebni. Priporočljivo je, da se pri nakupu novega stroja le ta ustrezno konfigurira, možno pa je prilagoditi tudi že obstoječe stroje.

Pri avtomatizirani celici se je potrebno zavedati, da robot v fizični obliki, le manipulira s obdelovanci in v tem pogledu nadomešča operaterja. Za delovanje takšne celice pa to ni dovolj. Za optimalno delovanje celice je ključna ustrezna nastavitev programske opreme, ki je namensko prilagojena glede na zahteve uporabnika in glede na stroje, ki so vključeni. Ključnega pomena je ustrezno načrtovanje tehnološkega procesa. Celica je namreč direktno povezana tudi z CAD/CAM oddelkom orodjarne. Ker delo v orodjarni običajno ni serijsko, je predpriprava še toliko bolj zahtevna. Pri Erowi za povezavo vseh faz avtomatizacije skrbi programska oprema JMS Pro.



Slika 3: Pogled na nadzorno ploščo v programu JMS Pro

Programska oprema je razvita iz strani Erowe in je prilagojen vsakemu uporabniku glede na njegovo tehnologijo, njegov način dela in zahteve. Preko te programske opreme se krmilijo vsi stroji, ki so povezani v celico. Izvajanje obdelav neposredno na stroju ni več potrebno. Tudi vsi programi, tako za oblikovno erozijo, frezanje, merjenje, so procesirani avtomatsko, glede na CAD/CAM podatke.

Za uspešnejšo realizacijo projekta, smo v začetni fazi projekta skupaj s projektnim timom iz Erowe organizirali projektne dneve v našem podjetju, ter natančno določili tehnološki proces, delavni potek, način vpenjanja, ničelna izhodišča obdelav ter potrebne prilagoditve programske opreme in strojev. Zaradi avtomatizacije je bilo potrebno načine dela poenotiti, pomembno je, da imamo enoten ključ za poimenovanje obdelovancev/elektrod že od samega začetka, vpenjanje obdelovancev mora biti natančno določeno, da se izognemo napakam.

Po instalaciji in zagonu prve faze avtomatizirane celice v letu 2020 smo se soočili z veliko izzivi predvsem iz naslova prilagoditve na nov način dela. Občasno pa so se pojavljale tudi določene težave z delovanjem celice, ki pa smo jih s pomočjo servisne podpore podjetja Erowa uspešno reševali.

4.2 Izvedba 2. faze

V letu 2022 pričeli resneje razmišljati o nadgradnji celice. Na podlagi izkušenj, ki smo jih v tem času pridobili, se nam je oblikovala bolj jasna vizija za končni izgled in sestavo linije. V zelo kratkem času se je namreč izkazalo, kje imamo največ zastojev in kaj onemogoča še boljši izkoristek. Ker se je z avtomatizacijo povečalo število obdelovancev, so bili operaterji sedaj še bolj obremenjeni s čiščenjem obdelovancev po obdelavah ter z dimenzijsko kontrolo elektrod in pripravo za obdelave. Odločili smo se, da v drugi fazi v celico vključimo koordinatni merilni stroj in s tem zagotovimo avtomatsko dimenzijsko kontrolo in določanje pozicije glede na vpenjalni sistem elektrod. Poleg koordinatnega merilnega stroja bi v celico vključili tudi pralno napravo, v kateri bi avtomatsko čistili obdelovance po obdelavah. Zaradi prezasedenosti obstoječega stroja za oblikovno erozijo smo se odločili tudi za vključitev dodatnega stroja za oblikovno erozijo. Zaradi občasnih potreb smo izbrali obdelovalni stroj z večjim delavnim območjem.

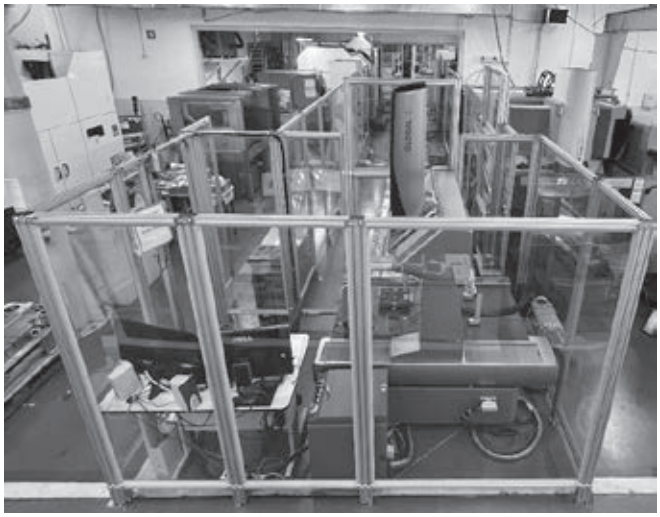
V drugi fazi smo v avtomatizirano celico vključili tri obdelovalne stroje: stroj za oblikovno erozijo Ingersoll Eagle 800, pralno napravo Teknox Robur2 in koordinatni merilni stroj Dea Global S . Poleg naštetih strojev smo dodali še en zalogovnik, ki ima deljeno funkcijo – približno polovica zalogovnika zasedajo elektrode in druga polovica obdelovanci. Predvsem se nam je bilo pomembno, da povečamo prostor za elektrode, saj smo že pri delu samo s prvo fazo velikokrat

naleteli na pomanjkanje prostora. Z drugo fazo razširitve smo zajeli celoten oddelek oblikovne erozije v naši orodjarni, tako da ta operacija sedaj v celoti poteka znotraj celice.

Največja sprememba, ki jo je prinesla druga faza je bilo avtomatsko izvajanje dimenzijskih kontrol in določanja pozicije glede na vpenjalni sistem. Za to skrbi programska oprema Q-Measure, razvita s strani Erowe in je implementirana v CAD program uporabnika. S tem programom enostavno določimo merilne točke, izbiramo merilna tipala in določamo tolerance za posamezne točke. Program omogoča tudi prepoznavanje barv za tolerance na 3D modelih. Same meritve so po izvedbi zelo enostavne za pregled. V primeru zahtevnih toleranc omogoča tudi 3D pregled, avtomatsko pa nam tudi označi neustrezne meritve. Celoten postopek priprave elektrod tako poteka samodejno, operater je zadolžen le za kontrolo meritev.

Največjo neznanko med implementacijo druge faze nam je predstavljalo pranje obdelovancev. Do sedaj smo to delali ročno in temu nismo posvečali velike pozornosti. Obdelovanci so morali biti za dimenzijsko kontrolo zelo dobro očiščeni, kar je bilo v največji meri odvisno od natančnega očesa operaterja. Zaradi avtomatskih meritev, pa smo morali v linijo vključiti tudi avtomatsko pranje. Po testiranjih in določitvi naših pričakovanj glede čistoče obdelovancev, smo se odločili za nakup stroja Robur 2B, italijanskega proizvajalca Teknox. Stroj ima dva bazena za vodo, enega za predpranje in enega za pranje, s tem se zmanjša kontaminacija in podaljša čas menjave pralnega sredstva. Omogoča sušenje z vročim zrakom in spihovanje s komprimiranim zrakom. Možna je nastavitev več različnih programov, tako lahko pranje prilagodimo posameznim obdelovancem. Čiščenje kosov je v avtomatizaciji predvideno po fazi erodiranja ali HSC frezanja.

Druga faza je bila realizirana v začetku leta 2024. Učinki nadgradnje so se pokazali praktično takoj po začetku dela. Izkoristek strojev vključenih v avtomatizirano celico je je povečal za 20%, zaradi vpeljave avtomatskega čiščenja obdelovancev pa se je bistveno izboljšala tudi urejenost delavnih mest in izkoristek operaterjev..



Slika 4: Izgled avtomatizirane celice po implementaciji 2.faze

4.3 Opis postopka po implementaciji avtomatizacije

Nadgradnja oblikovne erozije z avtomatizirano celico je zelo spremenila način dela na oblikovni eroziji. Celoten delavni potek je po implementaciji avtomatizacije občutno bolj učinkovit, opazna pa je tudi razbremenitev operaterjev, kar je bil tudi eden od ciljev nadgradnje.

Avtomatiziran proces oblikovne erozije se tako kot pred avtomatizacijo začne s konstrukcijo in programiranjem elektrod. V programu JMS Pro konstruktor ustvari nov projekt, na katerega so vezani vsi programi za oblikovno erozijo, frezanje elektrod. Dodatno pa konstruktor pripravi tudi program za umerjanje in merjenje elektrod ter program za merjenje obdelovanca po končani obdelavi.

Sledi priprava grafitnega surovca in držala z RFID čipom. RFID čipi, ki so implementirani na palete 3R in držala elektrod sistemu sporočajo kateri obdelovanci in elektrode so vstavljeni v celico. Pripravljen surovec grafitne elektrode se po vstavitvi v celico samodejno obdela na CNC stroju. Izdelano elektrodo robot prestavi na koordinatni merilni stroj, kjer se samodejno izvede proces dimenzijske kontrole in določanje pozicije glede na vpenjalni sistem. Meritve elektrod sistem zabeleži in v primeru merskih odstopanj zabeleži napako. Sledi vpenjanje obdelovanca na paleto in vstavitev v celico. Po vstavitvi robot vpeti obdelovanec prenese na koordinatni merilni stroj, kjer se obdelovancu ročno določi pozicija glede na vpenjalni sistem.

Tako pripravljen obdelovanec robot odnese na CNC stroj, kjer sledi HSC frezanje z vnaprej pripravljenim programom, ki ga pripravi programer.

Ko je obdelovanec obdelan in elektrode pripravljene operater pregleda avtomatsko generiran program za oblikovno erozijo in zažene proces oblikovne erozije. Procesu oblikovne erozije sledi čiščenje obdelovanca z pralno napravo Teknox. Na očiščenem obdelovancu se potem na koordinatnem merilnem stroju izvede dimenzijska kontrola obdelav. V primeru, da obdelovanec ne dosega željenih toleranc se ponovi proces oblikovne erozije, čiščenja in kontrole na koordinatnem merilnem stroju. Ko obdelovanec dosega željene tolerance je proces obdelave zaključen. Povsem enak proces poteka tudi v primeru obdelav z HSC frezanjem na frezalnem stroju Röders.

5 PREDNOSTI IN SLABOSTI AVTOMATIZACIJE

Glede na dosedanje izkušnje, lahko določimo prednosti in slabosti, ki nam jih je prinesla avtomatizirana celica Erowa.

Prednosti avtomatizacije:
- visok izkoristek strojev, ob ustrezni zasedenosti strojev, tudi do 80%
- razbremenitev in zmanjšanje števila operaterjev (iz 4 na 2 operaterja)
- delovanje celice se lahko izvaja brez prisotnosti operaterja
- zmanjšana možnost napak zaradi uvedbe RFID čipov, na katere so vezani tako obdelovanci kot elektrode
- lažja in hitrejša priprava programa za merjenje elektrod, program za merjenje pripravi konstruktor elektrod, ki točno pozna katere površine so pomembne za obdelavo na oblikovni eroziji
- samodejno izvajanje meritev elektrod in obdelovancev
- avtomatsko zaznavanje neustreznih meritev na koordinatnem merilnem stroju
-manipulacijo palet z obdelovanci in elektrod izvaja robot, ni več potrebe po dvigalu in ročni manipulaciji obdelovancev
-avtomatska izdelava programa za oblikovno erozijo in frezanje elektrod, kar zmanjša možnost napake pri vpisovanju koordinat in ostalih nastavitev
-avtomatsko čiščenje obdelovancev s pomočjo pralne naprave, ki obdelovance temeljito očisti in izsuši. Ročno pranje je zahtevalo veliko več časa, poleg tega pa so obdelovanci bolje očiščeni

Slabosti avtomatizacije:
-zelo visok strošek investicije
-dolgo obdobje implementacije, predvsem v našem primeru, ker smo investicijo razdelili v več faz. Po drugi strani pa smo. Če bi celotno investicijo izvedli v eni fazi, bi imeli več težav pri zagonu, saj bi bilo preveč vsebine, ki je ne bi razumeli.
- veliko izzivov in težav med implementacijo
- občasne sistemske napake pri delovanju celice
- zahteva višjo računalniško usposobljenost operaterjev

6 ZAKLJUČEK

Z zaključeno implementacijo in izkušnjami, ki smo jih v tem času pridobili smo mnenja, da je avtomatizacija procesov v orodjarstvu nujna, če želimo ostati konkurenčni. Zato bomo v prihodnosti z procesom avtomatizacije nadaljevali tudi na drugih operacijah.

POVEČAJTE UČINKOVITOST OBDELAVE: PREDNOSTI ROTACIJSKIH MIZ LEHMANN

Sergey TOLSTYAKOV, Nikolay KONOV
KROKK, d.o.o.

pL LEHMANN®
Lean production – we support you

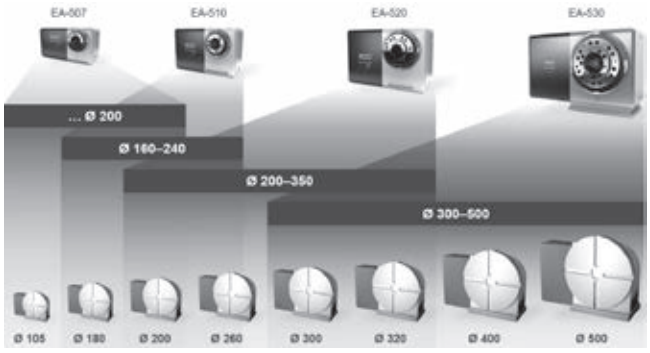
IZVLEČEK

Švicarsko podjetje pL LEHMANN že več kot 40 let razvija in proizvaja kompaktne, zelo natančne rotacijske mize za CNC stroji. Linija izdelkov ponuja tudi široko paleto možnosti vpenjanja obdelovancev, vključno z možnostmi za popolnoma avtomatizirano posluževanje z roboti. Ponudba je razdeljena na rotacijske mize z zobniškim in z direktnim pogonom. Zaradi modularne zasnove ponujajo številne možnosti.

1. PROIZVODNJA Z ROTACIJSKIMI MIZAMI LEHMANN

1.1 CNC rotacijske mize za varčno proizvodnjo.

Z inovativnimi CNC rotacijskimi mizami, organiziranimi v standardnem modularnem sistemu, si podjetje prizadeva izpolniti mednarodne potrebe po ekonomični proizvodnji zelo majhnih do srednje velikih obdelovancev v strojni industriji, tako da z ustreznimi kombinacijami izpolnjuje individualne zahteve.



Slika1: Štiri vrste rotacijskih miz pL LEHMANN

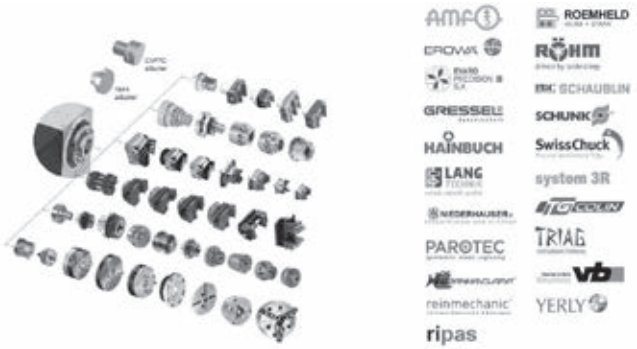
S štirimi osnovnimi tipi/velikostmi (slika 1) rotacijskih miz je mogoče pokriti razpon zmogljivosti, za katerega drugi proizvajalci potrebujejo dvakrat večje število osnovnih tipov. Poleg tega je zaradi modularnega sistema mogoče izdelati veliko število standardnih kombinacij. Proizvajalci in prodajalci strojev morajo tako upravljati in skladiščiti manjše število tipov, imajo koristi od zelo kratkih dobavnih rokov in lahko zagotovijo veliko prilagodljivost. Uporabnik lahko poleg kratkih dobavnih rokov pridobi predvsem na poslovanju z rezervnimi deli in storitvah.

Zapletene geometrije obdelovancev zahtevajo večkratno in prilagodljivo vpenjanje obdelovancev v prostoru stroja. Na podlagi visoke stopnje standardizacije lahko podjetje pL LEHMANN ponudi ustrezno in ekonomično rešitev za najrazličnejše aplikacije. Kratki časi nastavitve povečujejo produktivnost in stopnjo izkoriščenosti. Hkrati ima uporabnik možnost postopne avtomatizacije: na primer začne z ročnim vpenjanjem, nadaljuje s enostavnimi linearnimi sistemi za nalaganje in na koncu s popolnoma avtomatizirano proizvodnjo z roboti. Vmesniki za različne sisteme vpenjanja, ki jih dopolnjujejo ustrezni vpenjalni cilindri in vrtljivi spoji, ter po potrebi celo nadzor hoda in tlaka, je na voljo širok nabor dodatnih modulov.

1.2 Prilagodljivost s hitro namestitvijo/ nastavitvo.

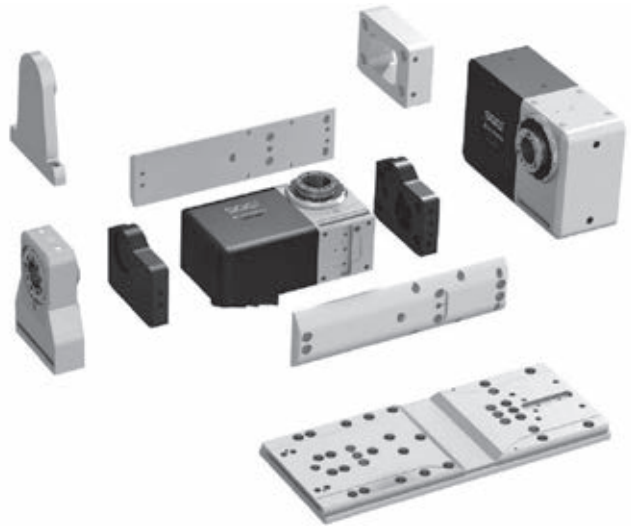
Za vitko proizvodnjo so značilni visoka prilagodljivost ter kratki časi obdelave in postavitve. Podjetje pL LEHMANN z več kot 20

standardiziranimi sistemi ponuja široko paleto možnosti za vpenjanje obdelovancev (slika 2).



Slika 2: Široka paleta vpenjalne opreme.

Hkrati je z uporabo modularnega sistema combiFlex® (slika 3) mogoče s pomočjo standardnih elementov doseči številne rešitve rotacijskih miz po meri stranke. Standardizirani vmesniki, ki so zasnovani za kombinacije, omogočajo posebne prilagoditve v vsakem trenutku. Rotacijske mize je mogoče predelati in naknadno opremiti tudi še dolgo po prvotnem nakupu. Na primer, dve rotacijski mizi tipa EA je mogoče pozneje predelati v dvoosno rotacijsko mizo tipa T - ali obratno - obstoječo dvoosno rotacijsko mizo tipa T je mogoče predelati v drugo različico. Zaradi preprostega rokovanja sistemi omogočajo zelo kratek čas postavitve.



Slika 3: Modularni sistem combiFlex®.

Poleg tega je mogoče razrede natančnosti prilagoditi zahtevam z uporabo različnih merilnih sistemov za merjenje kotnega položaja in dveh razredov geometrijskih toleranc. Možne so vrednosti radialnega in aksialnega pogreška do 2 µm.

1.3 Uporabe v industriji 4.0 je že na voljo

Preprečevanje napak je eden od osrednjih elementov vitke proizvodnje, saj napake povzročajo stroške. Zgodnje preprečevanje napak in njihovo hitro prepoznavanje je predpogoj za industrijo 4.0..

Rotacijske mize pL LEHMANN so opremljene s pametnim vmesnikom (smartBox) in vodotesnim priključkom USB. Podatke lahko preberete s pomočjo navadnega USB ključka ali v primeru težav prek povezave Bluetooth in jih po elektronski pošti pošljete podjetju pL LEHMANN ali predstavniku v vaši državi. Na ta način je mogoče hitreje ugotoviti in odpraviti vzroke težav. Prav tako LED diode na sprednji strani mize ves čas prikazujejo stanje in sporočajo, na primer, kdaj je treba opraviti vzdrževanje (slika 4).

Slika 4: Prikaz napak v delovanju

Nadaljnja podpora je na voljo v obliki ethernetnega vmesnika, spletnega strežnika in računalniške programske opreme, ki usposobljenim vzdrževalcem omogoča samostojno ocenjevanje in analiz. Na ta način se poveča produktivnost, hkrati pa se zmanjšata stopnja napak in pogostost okvar. Hitro,

neodvisno in ciljno, z drugimi besedi je vitka proizvodnja.

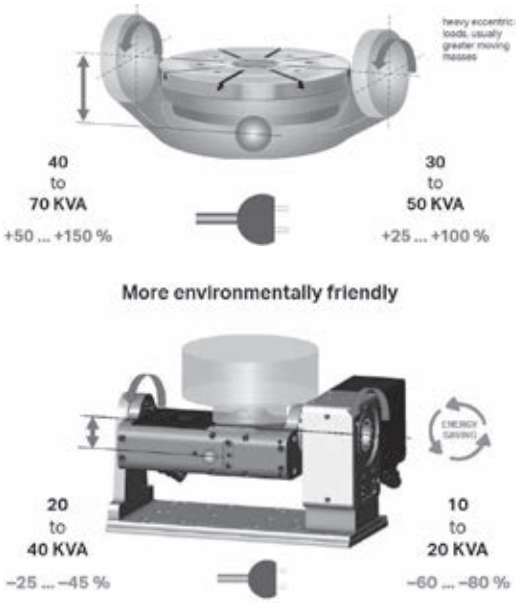
2. PRAVA ZASNOVA STROJA JE ODLOČILNA ZA DOLGOROČNI USPEH NALOŽBE

Izbira je vaša, bodisi 5-osna obdelava ali popolna 6-stranska obdelava. Tržne študije kažejo na veliko povečanje produktivnosti v različnih panogah s koncepti 3 + 2 - ob bistveno nižjih stroških (slika 5).

Slika 5: Izbira koncepta stroja.

2.1 Zmanjšana poraba energije.

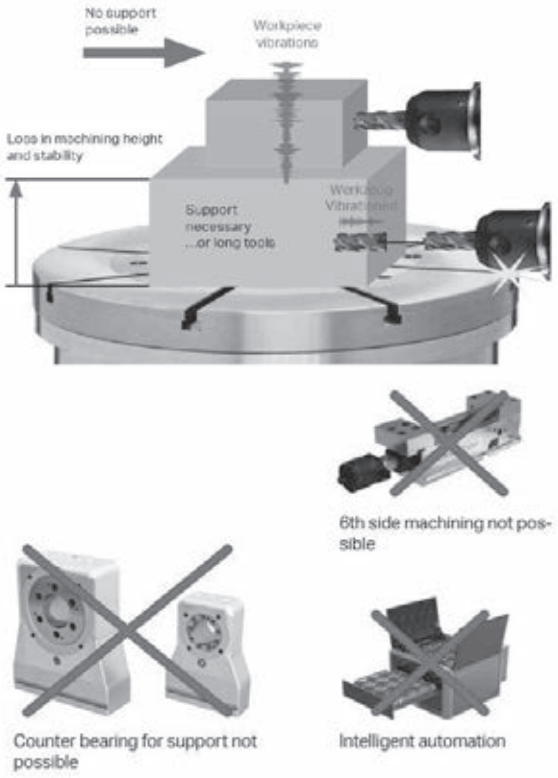
V primerjavi s tradicionalnim 5-osnim strojem ali 4-osnim horizontalnim obdelovalnim centrom uporaba kompaktnih rotacijskih miz v kombinaciji s 3-osnim vertikalnim strojem bistveno zmanjša porabo energije. Prihranek se lahko dosezi do 80% na posamezni osi (slika 6). Torej obdelava manjših izdelkov na 5-osnih obdelovalnih centrih energetsko ne učinkovita.



Slika 6: Primerjava porabe energije.

2.2 Dostopnost, življenjska doba orodja, kakovost površine.

Pri 5-osnem obdelovalnem centru je treba pri majhnih obdelovancih pritrditi kos bolj oddaljeno ali uporabiti dolgo orodje - oboje povzroča vibracije ter izgubo natančnosti in površine (slika 7). Prav tako 5-osni obdelovalni center ne omogoča uporabe dodatne opreme, kot je na primer namestitev primeža za obdelavo šeste strani, podpornega ležaja ali celo zalogovnika za majhne kosi.

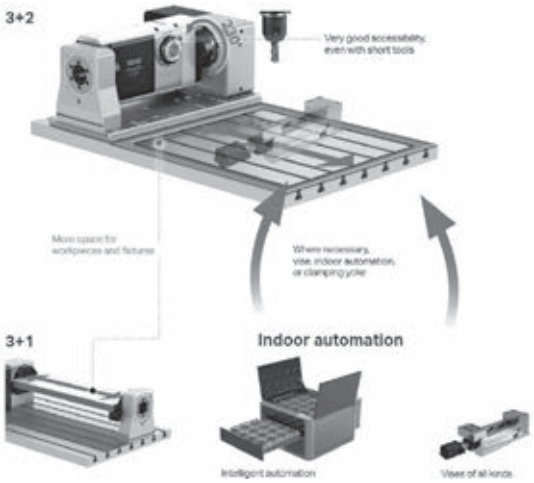


Slika 7: Slabosti 5-osnega obdelovalnega centra.

2.3 Vrhunska točnost in prilagodljivost: ponuja veliko.

Torej uporaba rotacijske mize pL LEHMANN na 3-osnem obdelovalnem centru prinaša sledeči prednosti (slika 8):

- nizka začetna naložba
- skalabilnost
- kratek čas amortizacije
- univerzalnost in učinkovitost
- obdelava dolgih kosov
- popolna obdelava, vključno s 6. stranjo
- uporabo vpenjalne nagibne mize ali stolpa



Slika 8: Rotacijska miza v kombinaciji s 3-osnim vertikalnim strojem.

Ena od najboljših prednosti rotacijskih miz pL LEHMANN je prilagodljivost: Modularni sistem s standardnimi elementi s skoraj neomejenimi možnostmi v povezavi z vpenjanjem z ničelno točko na vseh elementih. Idealna rešitev za fleksibilne 3-osne vertikalne obdelovalne centre.
Celoten modularni sistem (slika 9) ponuja neomejeno kombinacijo rešitev za en stroj. V kombinaciji s časom menjave 10-15 minut je to idealna rešitev za prilagodljivo in vitko proizvodnjo!

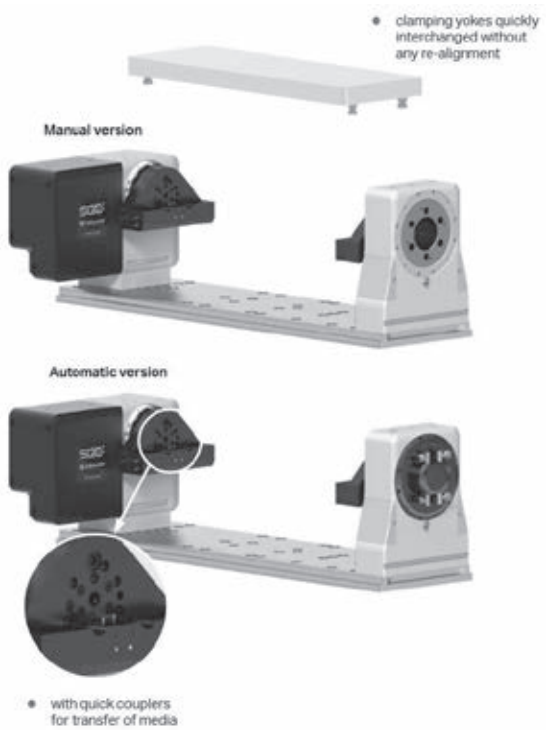
Slika 9: Fleksibilno in hitro nastavljanje z ničelno točko

3. NAGIBNE VPENJALNE PLOŠČE ROTO-FIX.

Rotacijska miza se lahko opreme z nagibno pritrjevalno ploščo Roto-Fix za obdelavo več izdelkov hkrati.

Sistem pritrjevalnih plošč Roto-Fix podjetja pL LEHMANN z velikim izborom opcij pritrjevanja omogoča strojno obdelavo več izdelkov hkrati, zato je idealen za učinkovito serijsko proizvodnjo.

Na voljo so nagibna pritrjevalna plošča z luknjami za individualno namestitev vpenjalnih orodij ali s fleksibilnim sistemom tirnic ali vgrajenim sistemom za vpenjanje z ničelno točko. Nadalje ogledamo vsak primer in njegove prednosti.

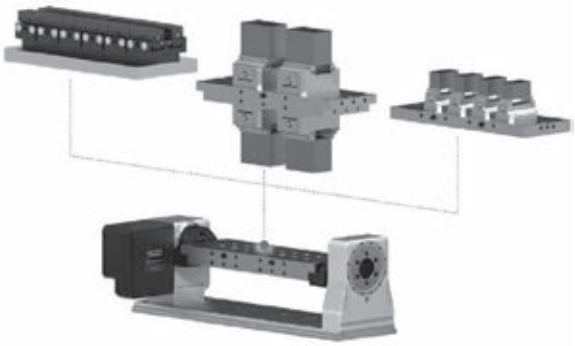


Slika 10: Ročni in avtomatski sistem Roto-Fix

3.1 Roto-Fix z ročnim vpenjanjem na ničelne točke.

Uporaba sisteme Roto-Fix z ročnim vpenjanjem na ničelne točke (slika 11) prinaša sledeči prednosti:

- Enostranska ali obojestranska montaža vpenjalnih orodij .
- standardni raster 40,50,52,96 je že integriran na plošči.
- Možna uporaba vpenjalnih sistem: LANG, HWR, GERARDI, PIRANHA in drugi .



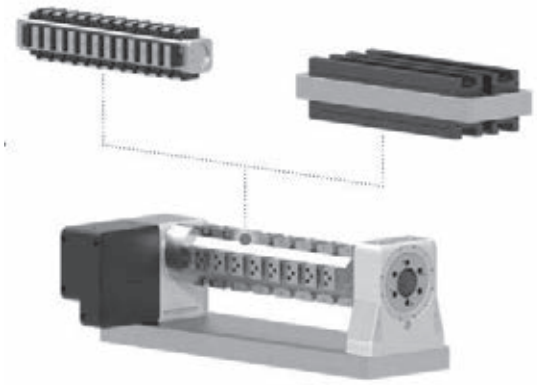
Slika 11: Roto-Fix z ročnim vpenjanjem

Tak sistem je primeren za proizvodnjo, ki ima določene vrste izdelkov in ne potrebuje avtomatizacije, saj nima velikih serij. Sistem se prav tako enostavno in hitro prilagodi različnim vrstam in velikostim primežev.

3.2 Roto-Fix plošče s sistemom tirnic.

Uporaba Roto-Fix s sistemom tirnic za ročno vpenjanje (slika 12) prinaša sledeči prednosti:

- Nastavljiv položaj primežev ponovnega prilagajanja.
- Enostavno prilagodljiv velikosti izdelka.
- Možna uporaba vpenjalnih sistem: SCHUNK; TRIAG; EVARD in drugi.



Slika 12: Roto-Fix s sistemom tirnic.

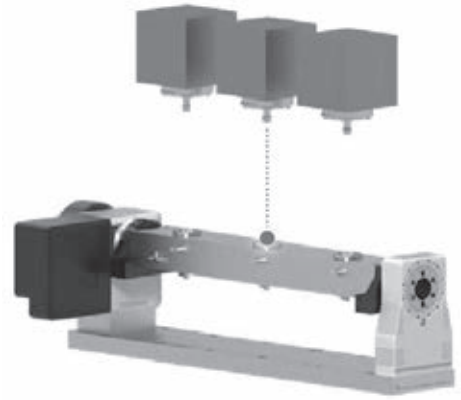
Najbolj prilagodljiv sistem za popolnoma hitro in vsestransko nastavitev. Primeren je za proizvodnjo po naročilu ali pri obdelavi izdelkov različnih velikosti in oblik, saj omogoča najhitrejšo spremembo sistema vpenjanja.

3.3 Roto-Fix z vgrajenim sistemom ničelni točki

Uporaba Roto-Fix z vgrajenim sistemom ničelnih točk (slika 13) ima sledeči prednosti:

- Prilagojen za avtomatizacijo.
- Enostavno prilagodljiv velikosti izdelka.
- Možni sistemi: SCHUNK; TRIAG; EVARD in drugi.

Vgrajeni sistem ničelne točke omogoča avtomatsko pritrjevanje primežev in izdelkov za avtomatizirano proizvodnjo. Primeren je za visoko avtomatizirano proizvodnjo in velike serije.

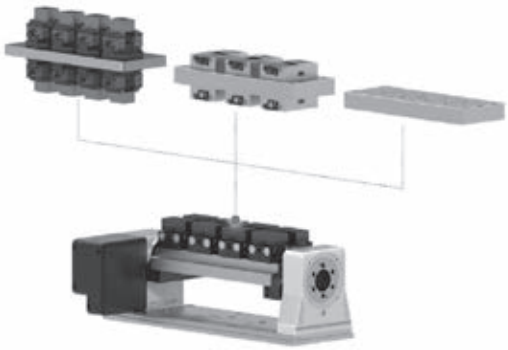


Slika 13: Roto-Fix inegriranim sistemom ničelni točki.

3.4 Roto-Fix z vijačenimi vpenjalnimi orodji (ročno ali avtomatsko).

Uporaba Roto-Fix z vijačenimi vpenjalnimi orodji (ročnimi ali avtomatskimi) ima naslednje prednosti (slika 14):

- Enostranska ali obojestranska montaža vpenjalnih orodij.
- Z luknjami z vrezanim vzorcem.
- Možni sistemi: SCHUNK; PIRANHA; EVARD; VISCHER & BOLLI in drugi.



Slika 14: Roto-Fix z vijačenimi vpenjalnimi orodji.

Tak sistem je podoben sistemu iz odstavka 3.1, le da se za pritrditev vpenjalnega sistema uporabijo luknje z navojem. Takšen sistem je primeren za stalno namestitev primižev in je zato primernejši za uporabo v avtomatiziranih aplikacijah za vpenjanje velikih serij izdelkov.

4. Zaključek.

Rotacijske mize švicarskega proizvajalca omogočajo uporabnikam nadgradnjo produktivnosti verticalnega obdelovalnega centra. Mize so na voljo v štirih osnovnih modelih, ki jih je mogoče sestaviti v kar 240 različnih konfiguracij. Več kot 20 različnih razpoložljivih načinov vpenjanja in dodatkov še povečuje prilagodljivost sistema.

Vse mize so zasnovane tako, da omogočajo optimalen dostop orodja do obdelovanca. Mize in vretena so močno odporna na izvlečni navor in osno silo, hkrati pa zagotavljajo visok vpenjalni navor. Mize so zasnovane za nizko porabo energije in majhno težo ter imajo ohišja z oznako IP67. Ponudba vključuje tudi širok izbor možnosti vmesnikov za vpenjalna orodja.

Linija miz vključuje eno- in večvretenske mize, ki so na voljo v štiriosni in ali petosni različici. Štiriosne mize z nagibno pritrjevalno ploščo uporabljajo pritjevalni sistem Roto-Fix za obdelavo več izdelkov hkrati.

Prednapet zobniški pogon brez zračnosti je zasnovan tako, da zagotavlja visok navor in visoke hitrosti vrtenja, pri čemer lahko vretena dosegajo hitrosti od 47 do 111 vrt/min, čas cikla za 90 stopinj pa znaša ob tem 0,34 sekunde. Petosna miza lahko deluje v načinu simultane obdelave ali v načinu 3+2 pozicioniranja.

NOVA BOSIO KALILNA LINIJA ZA DRUŽBO SIJ RAVNE SYSTEMS

Egidij HUDRAP[1], Bojan GOLUH[2]
[1]SIJ Ravne Systems d.o.o
[2]BOSIO d.o.o.

IZVLEČEK

Pri visokotehnoloških končnih produktih, ki so proizvedeni po kupčevih potrebah, je ključno tesno sodelovanje med kupcem in proizvajalcem. V tem članku vam predstavljamo sodelovanje pri skupnem projektu nove kalilne linije za toplotno obdelavo industrijskih nožev na Koroškem, kjer se je kupec odločil za proizvajalca iz Celja.

1 PREDSTAVITEV PODJETIJ

Družba SIJ Ravne Systems je del predelovalne divizije Skupine SIJ – Slovenska industrija jekla. Družba se ponaša s strokovnim znanjem inženiringa, raziskav in razvoja ter proizvodnje s področij:

- industrijskih nožev in neposredno povezanih nadomestnih delov za različne industrije,
- kovanih valjev za hladno valjanje,
- komponent in rezervnih delov za različne industrije, kot so jeklarne, valjarne in kovačnice, polizdelki, končni izdelki in oprema v skladu z dokumentacijo stranke,
- vzdrževanja, prenove, nadgradnje in
- storitev laboratorijev.

V SIJ Ravne Systems izdelujejo industrijske nože že preko 50 let s pomočjo dolgoletne tradicije, bogatega metalurškega in inženirskega znanja, inovativnih tehnologij ter s kompetentnimi, usposobljenimi in izkušenimi sodelavci. To pomeni, da lahko nože prilagodijo povsem specifični uporabi in posebnim zahtevam stranke. Za nože uporabljajo najboljšo kakovost orodnega jekla Skupine SIJ, ki je največji slovenski proizvajalec jekla in eden izmed največjih proizvajalcev nerjavnih in specialnih jekel v Evropi. Izbor najprimernejšega jekla je posledica popolnega razmerja med žilavostjo in trdoto. Najbolj znani industrijski noži so:

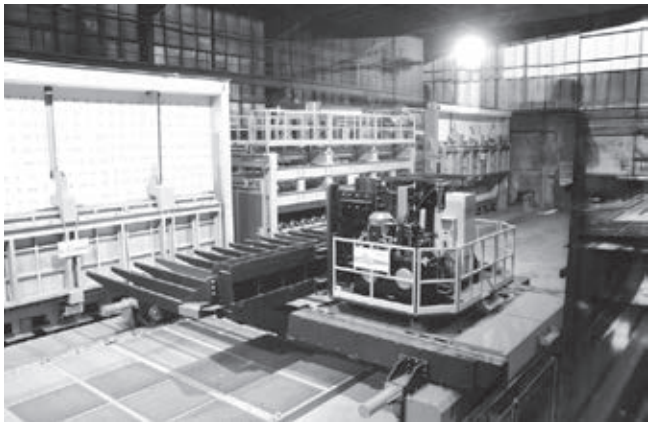
- noži za furnir in vezane plošče,
- noži za proizvodnjo sekancev,
- noži za izdelavo lesenih plošč,
- noži za žage.

Slika 1: Primer industrijskega noža

Podjetje BOSIO d.o.o. je bilo ustanovljeno leta 1990 in danes velja za svetovno znanega proizvajalca opreme in tehnologije za toplotno obdelavo. Svoje stranke opremljajo s produkti, ki so sprojektirani po meri. Najbolj znani so po sledečih produktih:

- širok spekter peči za toplotno obdelavo peči vse do 1350 °C,
- sistemi za manipulacijo,
- opremo za kaljenje in pranje,
- servis, obnova in rezervni deli.

Egidij HUDRAP[1], Bojan GOLUH[2]
[1]SIJ Ravne Systems d.o.o
[2]BOSIO d.o.o.


Slika 2: BOSIO linija v Avstriji

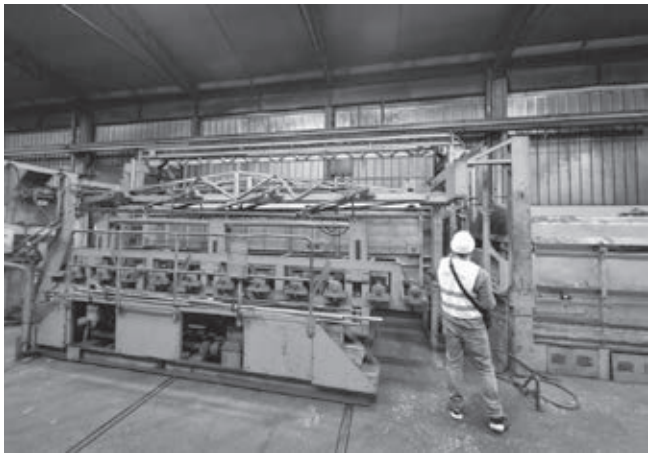
Že od leta 2012 je Bosio del globalne skupine Aichelin Group, kjer je prenos znanja med skupino na dnevni ravni. S tem načinom lahko stranki pomagajo z dragocenimi izkušnjami AICHELIN kolegov iz Avstrije, Nemčije, Francije, ZDA, Kitajske in Indije. AICHELIN GROUP je danes eden največjih ponudnikov opreme za toplotno obdelavo na svetu. V letu 2023 se je celotna evropska AICHELIN proizvodnja prestavila na Bosio lokacijo v Celje, kjer imajo enega izmed najmodernejših centrov za sestavo peči v Evropi. Objekt se imenuje ACE, kar pomeni Assembly Center Europe.

Slika 3: Nova ACE hala v Celju (desno spodaj)

2 SODELOVANJE

Skupni projekt obeh podjetij je dokaz sinergije med koroško in savinjsko tehnično ekipo, ki se je dopolnjevala že od samega začetka.

V družbi SIJ Ravne Systems so imeli ključno linijo za kaljenje nožev za rezanje in luščenje furnirja, ki je bila že zastarela in energetsko neučinkovita. Poleg tega vse naložbe v družbah Skupine SIJ v posodobitve in nove agregate potekajo po načelu BAT (Best Available Technology), kar pomeni tudi višjo raven varnosti pri delu in manjše negativne vplive na okolje. Z novejšimi materiali izolacije peči in sodobnejšimi grelnimi elementi so poskrbeli tudi za zmanjšanje ogljičnega odtisa. Dodatna motivacija za odločitev za investicijo pa je bila težava z ravnostjo nožev med samo toplotno obdelavo, ki se je začela odražati v kakovosti, zato so nujno morali pristopiti k izdelavi nove kalilne linije.

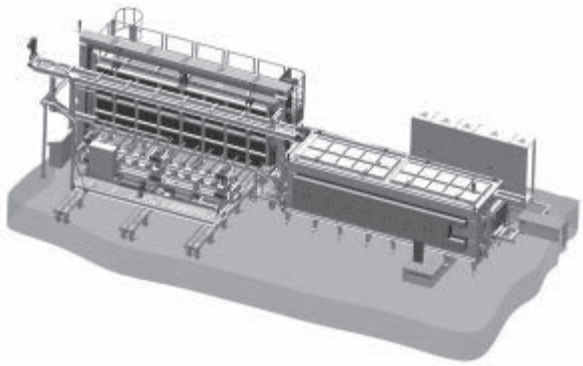

Slika 4: Obstoječa linija v SIJ Ravne Systems

Na podlagi Bosio referenc na skoraj vseh kontinentih in dolgoletnih izkušenj v toplotni obdelavi, je družba SIJ Ravne Systems za partnerja za ta projekt izbrala celjsko podjetje.

Z združitvijo dolgoletnih izkušenj družbe SIJ Ravne Systems na področju kaljenja industrijskih nožev in s strokovnim znanjem kolegov iz Bosia, so skupaj skonstruirali moderno računalniško vodeno kalilno linijo. Namen projekta je bil, da se izboljša kakovost industrijskih nožev, poveča kapaciteta kaljenja in zmanjša poraba energije.

2.1 Koncept

Vsak novi Bosio produkt se prične z idejnim konceptom, ki se sproti usklajuje s kupcem. Ko je idejni koncept končan, ga kupec potrdi. Nato se prične s podrobnejšim inženiringom. Od leta 2007 se za vsak nov produkt pripravi 3D model, ki ga prikazujemo spodaj za to linijo.



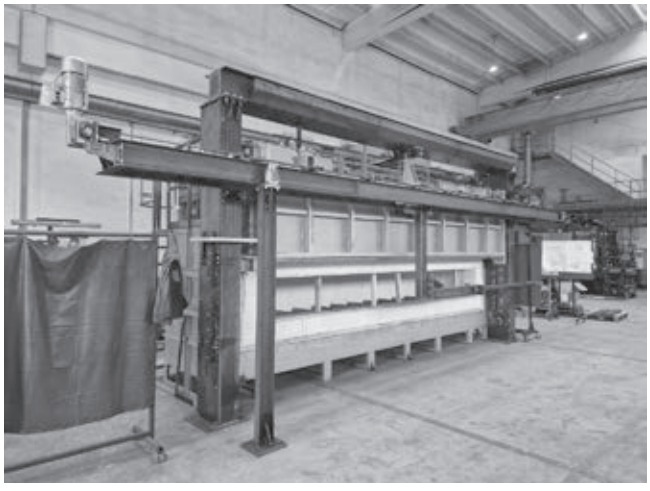
Slika 5: Bosio 3D model za kalilno linijo

2.1 Proizvodnja

Bosio je do leta 2012 peči proizvajal v Štorah. Kmalu so se srečali s problemom pomanjkanja proizvodnih prostorov, kajti vedno večji projekti so bili v njihovi proizvodnji, zato so se leta 2012 preselili na novo lokacijo v industrijsko cono Bukovžlak v Celje. Celjski prostori so več kot ustrezni za proizvodnjo nove kalilne linije.

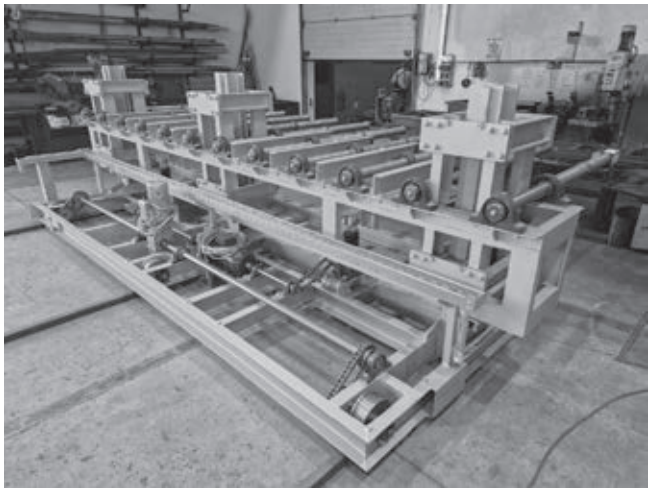
V Bosio obsegu del je bila proizvodnja, dobava, montaža in zagon sledečih agregatov:

- **predgrevna komorna peč** z maksimalno temperaturo 850°C,



Slika 6: Proizvodnja predgrevne peči

- **manipulator**, ki omogoča manipulacijo industrijskih nožev med predgrevno pečjo in kalilno pečjo,



Slika 7: Proizvodnja manipulatorja

- **kalilna peč** z maksimalno temperaturo 1100 °C.

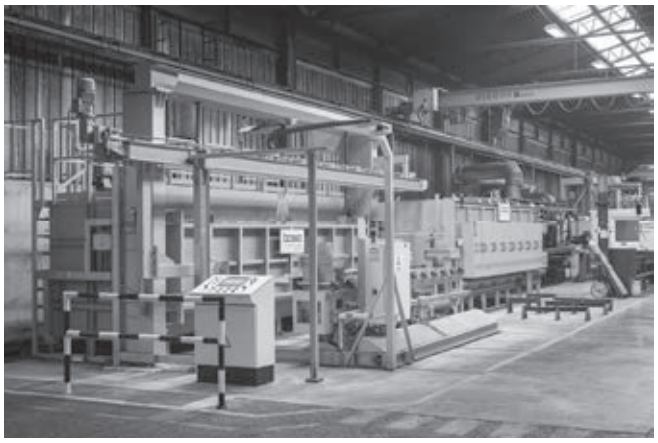
Slika 8: Proizvodnja kalilne peči

Obe peči sta električno ogrevani. Grelci so horizontalno vstavljeni v sevalne cevi.

2.1 Izzivi

V kalilni peči je bil največji izziv izbrati tip kurišča, saj mora industrijski nož, ki se toplotno obdeluje na temperaturi 1100 °C, imeti ravno kurišče, saj je od tega odvisna kvaliteta končnega produkta. S skupnimi močmi so izbrali rešitev, da bo kurišče v peči iz RSiC plošč, s katerimi se dosega tudi pri temperaturah 1100 °C primerno ravnost tal. Prav tako so dodali inovativno rešitev za ponovno nivelacijo kurišča.

Slika 9: Ravnost tal v kalilni peči



Sliki 10, 11: Nova kalilna linija v SIJ Ravne Systems

3 SKLEP

Pri projektih, ki so projektirani po meri za točno določeno rešitev, je potrebno sodelovanje obeh, kupca in proizvajalca. Samo tako se lahko proizvede in zažene zahtevnejšo linijo za toplotno obdelavo. Na eni strani imamo kupca, ki tehnologijo obdelave pozna do potankosti, na drugi strani pa proizvajalca z izkušnjami s projektiranjem in proizvodnjo te opreme. Na podlagi medsebojnega zaupanja in izmenjave znanja lahko takšen projekt postane »win-win« situacija.

Viri fotografij:

- osebni arhiv SIJ Ravne Systems d.o.o.
- osebni arhiv BOSIO d.o.o.

NAPOVEDOVANJE OBLIKE KALJENIH KOVINSKIH OBDELOVANCEV Z GLOBOKIMI NEVRONSKIMI MREŽAMI

Tadej PERŠAK, Jernej HERNAVS, Lucijano BERUS, David POTOČNIK, Kristijan ŠKET, Mirko FICKO, Simon KLANČNIK
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

V jeklarski industriji se, zaradi potrebe po izboljšanih mehanskih lastnostih pogosto srečujemo s potrebo po naknadni toplotni obdelavi (kaljenju), ki pa lahko, zaradi strukturne spremembe v materialu, vodi do neželenih deformacij oblike. Zaradi visoke trdote materialov, pogosto nad 60 HRC, konvencionalne metode ravnanja oblike, kot sta upogibanje in valjanje, zaradi tveganja porušitve materiala niso izvedljive. Naša raziskava se je osredotočila na napovedno modeliranje končne oblike kaljenih kovinskih obdelovancev, po kontrolirano vnesenih zareznih udarcih. Implementirali smo eksperimentalni postopek, ki je vključeval natančno zajemanje 3D oblike obdelovancev po vsakem udarcu z uporabo 3D skenerja. Eksperimentalne podatke smo zbrali v obsežni podatkovni bazi, ki je služila za treniranje večstopenjskih regresijskih modelov z globokimi nevronskimi mrežami. Razvili smo inovativno arhitekturo, ki v modelu združuje dva različna podatkovna tipa - obliko obdelovanca in načrtovane udarce - kar omogoča natančno napovedovanje spremembe oblike.

1 UVOD

Toplotna obdelava jekel je zelo pogosto uporabljen postopek za povečanje trdnosti in trdote jekla. Sekundarni učinek toplotne obdelave so tudi zaostale napetosti, ki povzročajo spremembo oblike kaljenega kovinskega obdelovanca. Spremembe oblike so običajno tolikšne, da pomaknejo obdelovanec izven konstrukcijskih zahtev. Prekomerno deformirane obdelovance je treba ravnati, vendar se pri trdoti nad 60 HRC srečamo z nekaterimi omejitvami. Ravnanje s postopki upogibanja ali valjanja lahko privede do porušitve materiala. Plamensko ravnanje je zaradi znižanja trdote prav tako neustrezno. Tako nam ostaneta dve možnosti. Prva je energijsko potratna ponovna toplotna obdelava z namenom izboljšanja oblike obdelovanca, druga možnost je ravnanje z vnašanjem udarcev, ki plastično deformirajo obdelovanec. Čeprav takšno ročno ravnaje izvajajo ravnalci z veliko izkušnjami, le-to ni optimalno, saj se zanašajo na svoje neformalno znanje.

V raziskavi se fokusiramo na ravnanje kaljenih obdelovancev s trdoto 60 HRC.

V ta namen smo izvedli eksperiment, katerega rezultate smo uporabili pri izgradnji modela za napovedovanje sprememb v obliki obdelovanca po vnosu udarcev.

Namen raziskave je stvaritev matematičnega napovednega modela, ki napove obliko kaljenega kovinskega obdelovanca po opravljenem udarcu, ki plastično deformira površino obdelovanca.

2 TEORETIČNO OZADJE

2.1 Deformacije obdelovanca med toplotno obdelavo

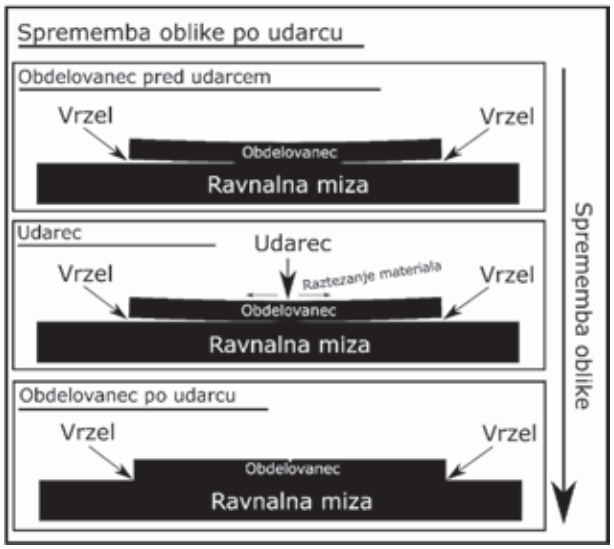
Med toplotnimi obdelavami, kot so kaljenje, litje in varjenje pride do spremembe v materialni mikrostrukturi obdelovanca, hkrati zaradi različnih hitrosti segrevanja in ohlajanja govorimo o termičnem raztezanju in krčenju materiala, kar vodi do pojava notranjih in zaostalih napetosti, ki se pogosto odražajo v spremembi materialnih lastnosti, lokalnih deformacijah in nastanku razpok; v kritičnem primeru pa tudi v porušitvi [1].

2.2 Ravnanje obdelovancev z vnašanjem plastičnih deformacij

V splošnem so poznane 3 metode ravnanja obdelovancev s trdoto velikostnega razreda 60 HRC. To so upogibanje, vpenjanje in ravnanje z vnašanjem površinskih plastičnih deformacij. V

naši raziskavi smo se osredotočili samo na ravnanje z vnašanjem plastičnih deformacij, ker s preostalima metodama tvegamo porušitev obdelovanca.

Plastične deformacije na površini obdelovanca, ki so posledica udarca z ravnalnim kladivom, povzročijo raztezanje površine na tem mestu. Če te udarce pravilno razporedimo lahko s tem obdelovanec delno ali v celoti poravnamo [2]. Na sliki 1 je prikazan princip ravnanja kaljenih kovinskih obdelovancev, pri čemer vnašamo udarce, ki plastično deformirajo površino. Udarci so narejeni na konkavni (vbočeni) strani obdelovanca. S tem se material na mestu udarcev lokalno razširi, kar privede do spremembe celotne oblike.



Slika 1: Princip ravnanja kaljenih kovinskih obdelovancev

Slika 2: Sprememba oblike kaljenega kovinskega obdelovanca po vnosu udarcev.

Metodo smo potrdili z eksperimentom. Na obdelovanec velikosti 24 x 200 x 5 mm³ in trdote 60 HRC smo z udarci vnesli plastične deformacije. Na sliki 2 je prikazan oblak točk 3D skeniranega obdelovanca po enem (zgoraj) in po šestih (spodaj) udarcih. Meritve prikazujejo, da se je obdelovanec res preoblikoval v skladu s teorijo.

2.3 Globoke nevronske mreže

Za obdelavo podatkov smo uporabili U-Net konvolucijsko nevronsko mrežo (U-KNM), ki je primarno namenjena segmentaciji. Ključna značilnost U-KNM je simetrična arhitektura, ki vsebuje dve glavni komponenti, imenovani kodirnik (angl. encoder) in dekodirnik (angl. decoder). Kodirni del običajno vsebuje več plasti konvolucij in združevanja, ki postopoma zmanjšujejo prostorsko dimenzionalnost vhodnih slik in izvajajo ekstrakcijo značilk. Dekodirni del nato izvaja postopek povečevanje vzorčenja (angl. upsampling) in kombinacije značilk, ki postopoma povečuje dimenzionalnost in oblikuje končno segmentirano sliko.

Pomembna značilnost U-KNM nevronske mreže so tudi preskočne povezave (angl. skip connections), ki omogočajo prenos informacij neposredno iz kodirnega dela v dekodirni del. To omogoča boljšo ohranitev prostorskih informacij in izboljšuje natančnost segmentacije.

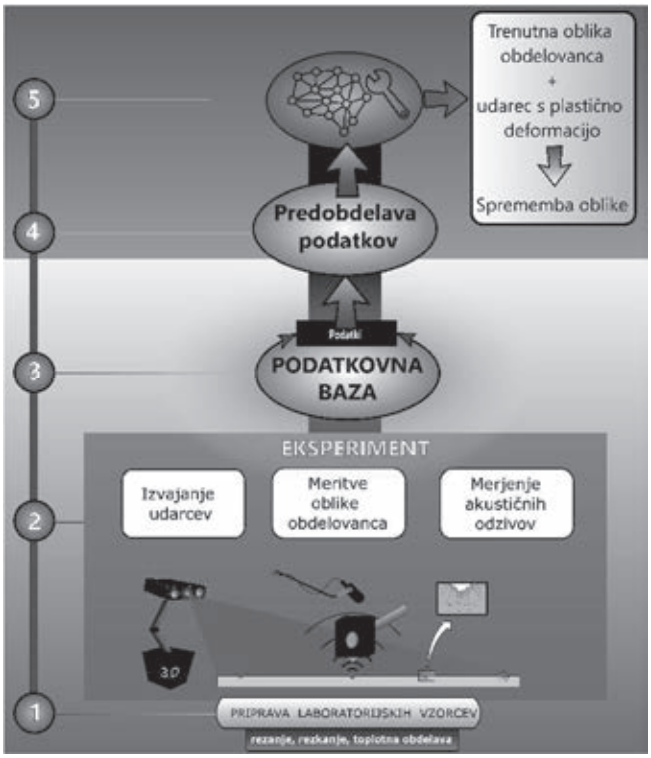
U-KNM je bil uspešno uporabljen za različne naloge, kot so segmentacija organov na medicinskih slikah, detekcija objektov v različnih slikah, segmentacija geografskih značilnosti na satelitskih slikah itd. Zaradi svoje zmogljivosti in prilagodljivosti je postala priljubljena izbira za segmentacijo na različnih področjih [3].

2.4 Kriteriji ocenjevanja napovednih modelov

Napovedi nevronskih mrež smo ocenili s standardnimi statističnimi testi, kot so relativna absolutna napaka (angl. relative absolute error — RAE), povprečna kvadratna napaka (angl. root mean square error — RMSE) in relativna standardna napaka (angl. relative standard error — RSE) [4]. Iz pregleda literature smo ugotovili, da je model napovedovanja dober, če so vrednosti RAE, RMSE in RSE pod vrednostjo 1.

3 RAZISKAVA IN EKSPERIMENT

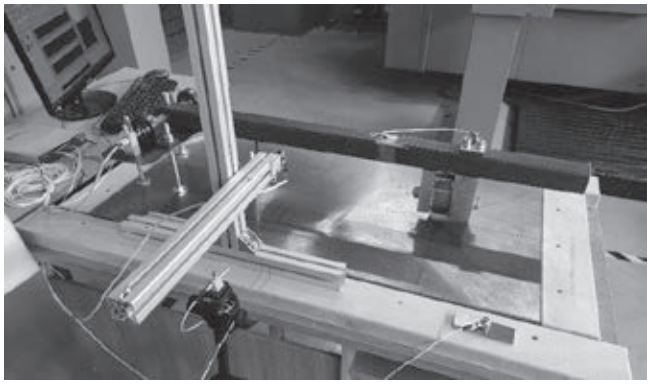
Na sliki 3 je shema raziskave, ki smo jo razdelili na pet faz.



Slika 3: Shema raziskave

V prvi fazi smo pripravili laboratorijske vzorce iz orodnega jekla 1.2379 (DIN X155CrVMo12-1) treh različnih variant (Tabela 1), kaljenih na 59 HRC.

V drugi fazi smo izvedli eksperiment. Pri tem smo na obdelovance vnašali udarce, ki jim plastično deformirajo površino. Po vsakem udarcu smo vzorce 3D skenirali in tako pridobili 3D model (Tabela 1). Za potrebe eksperimenta je bila izdelana namenska priprava, s katero smo zagotovili udarce z enako silo in na točno določenem mestu (Slika 4). Dodatno smo zajemali zvok, nastal pri ravnalnem udarcu in zvok, ki nastane pri elastičnem trku ležajne kroglice z obdelovancem. Slednje smo delili na udarec na sredini in več udarcev na posamezni točki obdelovanca na obeh straneh. Zajeti zvoki naj bi nosili informacijo o obliki obdelovanca.



Slika 4: Namenska priprava za izvedbo eksperimenta

Tabela 1: Variante obdelovancev

	Variante obdelovancev		
	V1	V2	V3
Velikosti obdelovancev (debelina-širina-dolžina) [mm]	5-24-200	5-90-200	5-200-200
Število obdelovancev	3	3	3
Število narejenih udarcev na obdelovanec	10	24	36
Število narejenih 3D-skenov oz. zajetih STL datotek na obdelovanec	11	25	37
Skupno število 3D-skenov	219		

Tretja faza je zajemala pripravo podatkovne baze s 3063 učnimi primeri. Zbrani podatki so se naključno razdelili na 85 % za učenje nevronskih mrež, 10 % za validacijo in 5 % za testiranje.

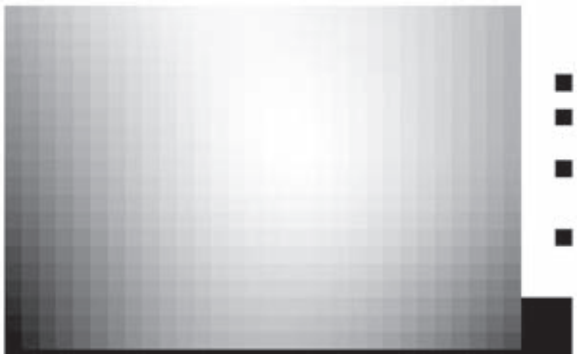
Četrta faza je bila predhodna obdelava podatkov, v kateri smo podatke različnih tipov obdelali tako, da so bili primerne oblike za U-KNM.

V fazi pet smo trenirali in testirali U-KNM. Razvili smo napovedni model s katerim smo napovedovali spremembo oblike obdelovanca na podlagi trenutne oblike in podatkov o načrtovanih ravnalnih udarcih.

4 Računalniško modeliranje

Za pripravo učne množice smo uporabili 3D oblak točk, ki predstavlja obliko obdelovanca. Zgornjo površino smo pretvorili v matrični prikaz, katerega posamezne celice so predstavljale povprečno višino obdelovanca (med 0 in 1). Tako smo dobili matriko za učenje U-KNM (Slika 5). Na desnem delu Slike 5 so prikazani trije dodatni stolpci, v

katerih so zakodirani podatki o ravnalnih udarcih. Prvi stolpec predstavlja *x*-koordinato udarca, drugi *y*-koordinato udarca in tretji podatek o orientaciji udarca.



Slika 5: Primer vhodne matrike za učenje U-KNM

5 REZULTATI

V fazi testiranja smo uporabili 5 % podatkov, ki niso bili prisotni pri učenju U-KNM, preko katerih je bila pridobljena ocena dejanske uspešnosti modela. Uspešnost smo ovrednotili z metrikami RAE, RMSE in RSE.

Tabela 2: Srednje vrednosti napak za RAE, RMSE in RSE

Velikost vhoda	RAE	RMSE	RSE
5 × 9	**0,049875**	**0,01287**	**0,003974**
18 × 29	0,065767	0,018093	0,01319
24 × 41	0,131596	0,032037	0,053356
40 × 61	0,189681	0,039021	0,083809
56 × 81	0,227862	0,04343	0,138899
80 × 125	0,1962	0,03679	0,078708
128 × 253	0,328748	0,054139	0,220127

Rezultati so zbrani v Tabeli 2. Najboljše rezultate smo pridobili z velikostjo vhodne matrike 5×9, s katero smo dosegli rezultat RAE 0,05. Največja napaka napovedi je bila pri vhodni matriki velikosti 128×253 z RAE 0,33, kar nakazuje sposobnost arhitekture U-KNM za ustrezno napovedovanje oblike obdelovancev. Podoben trend lahko opazimo tudi pri drugih dveh kazalnikih uspešnosti.

6 SKLEP

Razvili smo model na podlagi U-Net globoke nevronske mreže, ki je sposoben napovedovati spremembe oblike kaljenih kovinskih obdelovancev pri procesu ravnanja. Bolj podrobno so rezultati predstavljeni v znanstvenem članku, ki je dostopen v viru [5].

Tema te raziskave izvira iz industrije in rešuje problem ravnanja kaljenih kovinskih obdelovancev. Rezultati raziskave potrjujejo, da je mogoče napovedati spremembo oblike obdelovanca pri procesu ravnanja z vnašanjem površinskih deformacij, kar predstavlja ključen korak v smeri potencialne avtomatizacije postopka ravnanja. V prihodnje se bomo ukvarjali z vprašanjem optimalne razporeditve udarcev za doseganje čim večje stopnje ravnosti pri minimalnem številu ravnalnih udarcev.

Viri:

[1] D. Fa-jun, "Heat treatment process and defect analysis of the aviation piston engine crankshaft," ed: IEEE, 2014, pp. 1055-1058.

[2] V. Schulze, F. Bleicher, P. Groche, Y. B. Guo, and Y. S. Pyun, "Surface modification by machine hammer peening and burnishing," *CIRP Annals - Manufacturing Technology,* Article vol. 65, pp. 809-832, 1/1/2016 2016, doi: 10.1016/j.cirp.2016.05.005.

[3] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2015 2015, vol. 9351: Elsevier Scopus, pp. 234-241, doi: 10.1007/978-3-319-24574-4_28. [Online]. Available: doi:10.1007/978-3-319-24574-4_28

[4] M. Abed, M. A. Imteaz, A. N. Ahmed, and Y. F. Huang, "Application of long short-term memory neural network technique for predicting monthly pan evaporation," (in English), *Scientific reports,* Journal Article vol. 11, no. 1, pp. 20742-20742, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-99999-y.

[5] T. Peršak, J. Hernavs, T. Vuherer, A. Belšak, and S. Klančnik, "Prediction of the Form of a Hardened Metal Workpiece during the Straightening Process," (in English), *Sustainability (Basel, Switzerland),* Journal Article vol. 15, no. 8, pp. 6408-6427, 2023, doi: 10.3390/su15086408.

PASTI DIGITALIZACIJE PRI ZAGOTAVLJANJU KAKOVOSTI V PROIZVODNIH PROCESIH

Peter KORENČAN, Boštjan MALAVAŠIČ, Andraž ŽERTEK, Dušan BOŽIČ
Inden, informacijske rešitve, d.o.o.

IZVLEČEK

Digitalna transformacija proizvodnih procesov prinaša številne prednosti, vendar so z njo povezana tudi tveganja nenadzorovane uporabe digitalnih orodij, ki lahko privedejo do številnih izzivov. Članek predstavlja raziskavo ključnih pasti digitalizacije, ki vplivajo na kakovost v proizvodnji, ter poudarja potrebo po premišljeni uporabi tehnologij in stalnem izobraževanju zaposlenih.

Hkrati pa digitalna transformacija prinaša tudi koristi, kot so avtomatizacija procesov in povečana učinkovitost, vendar se sooča tudi z izzivi. Članek ponuja vpogled v težave, s katerimi se srečujejo kakovostniki pri uporabi digitalnih orodij, ter perspektive za njihovo premagovanje, vključno z rezultati ankete med kakovostniki.

1 UVOD

Digitalna transformacija je postala ključna sestavina sodobnega poslovnega okolja, kjer digitalna orodja igrajo pomembno vlogo pri izboljšanju učinkovitosti, nadzora in kakovosti procesov. V kontekstu kakovostnega sektorja je uporaba digitalnih orodij še posebej pomembna, saj omogoča sledenje in upravljanje kakovostnih procesov na bolj sistematičen in natančen način.

Zavedajoč se pomena digitalizacije in njenega vpliva na kakovostne procese, smo izvedli obsežno anketo med vodji kakovosti, kjer smo preverjali, katera digitalna orodja trenutno uporabljajo in kako so zadovoljni z njimi. Kljub prizadevanjem smo bili soočeni s izzivi, saj je pridobivanje odgovorov na anketna vprašanja v tem sektorju izjemno zahtevno, saj je odzivnost na poslane anketne vprašalnike zelo nizka. Kljub temu smo uspeli zbrati 22 odgovorov, večinoma od slovenskih vodij kakovosti, kar nam je omogočilo celovit vpogled v stanje uporabe digitalnih orodij in zadovoljstvo z njihovo funkcionalnostjo.

Digitalna orodja so postala nepogrešljiv del vsakodnevnega dela kakovostnih strokovnjakov, vendar pa se srečujejo tudi z izzivi in omejitvami, ki lahko vplivajo na učinkovitost in uspešnost izvajanja kakovostnih procesov. Zato je pomembno razumeti te težave in iskati rešitve, ki bodo omogočile optimalno izkoriščanje potenciala digitalnih orodij v kakovostnem sektorju.

2 PREDNOSTI DIGITALNIH ORODIJ

Digitalni QMS (Sistem upravljanja kakovosti) predstavlja sodoben upravni sistem, ki dodaja poslovno vrednost sodobnim organizacijam [1] s hitrostjo, prilagodljivostjo in analitičnimi sposobnostmi zgodovinskih, sedanjih in prihodnjih komercialnih dejavnosti ter poslovnih dogodkov, ki so se zgodili in/ali se bodo zgodili v podjetju med njegovim življenjskim ciklom [2]. Vključuje sisteme, kot so certifikati ISO, ki določajo način, kako organizacije sledijo, da zagotovijo notranje delovne postopke, odpravijo nepotrebne tradicionalne pristope za izboljšanje poslovnih rezultatov in pridobijo konkurenčno prednost [2]. Prisotnost različnih akterjev lahko ustvari izzive za tradicionalne QMS. Vendar pa so Rönnbäck, Witell in Enquist [3] trdili, da lahko skupni digitalni QMS ustvari poslovno vrednost v treh sektorjih:

- Ustvarjanje vrednosti v poslovnem sektorju - to pomeni ustvarjanje poslovne vrednosti za partnerje, kot so dobavitelji.
- Ustvarjanje vrednosti v sektorju poslovanja z drugimi - to pomeni ustvarjanje poslovne vrednosti za sodelujoče partnerje, zavezniške partnerje, sodelavce v tujini itd.

- Ustvarjanje vrednosti v sektorju poslovanja s strankami - to pomeni ustvarjanje poslovne vrednosti za stranke.

Lahko bi trdili, da to lahko ima več posledic za organizacije. Ti izbirni standardi so večinoma relevantni v visokotehnoloških in občutljivih panogah (npr. avtomobilska, letalska, prehrambena in medicinska industrija). Raziskave so poudarile ključno ekonomsko vrednost QMS za narod, panogo in/ali organizacijo na mikro ravni:

- Konkurenčna prednost pri izvozu.
- Nacionalni trgovinski primanjkljaj.
- Gospodarska rast.
- Produktivnost in zadovoljstvo strank.
- Standardizacija [4].

3 TEŽAVE UPORABE DIGITALNEGA ORODJA

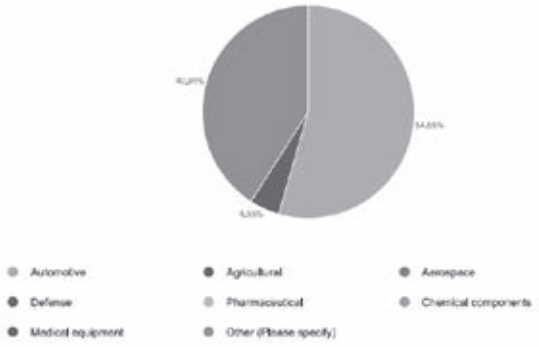
S finančnega vidika ima kakovost pomemben vpliv na poslovno uspešnost prek proizvodnje in trženja [5]. Na proizvodnem področju izboljšanje notranjih postopkov lahko poveča operativno uspešnost, kar dvigne finančno uspešnost. Na tržnjskem področju izboljšanje izdelkov in/ali storitev vpliva na sposobnost trženja v primerjavi s konkurenti. Sampaio, Saraiva in Guimarães [4] menijo, da so prispevki praks upravljanja kakovosti na finančno uspešnost pogosto šibki in nepomembni, ker digitalni sistemi za kakovost omejujejo izbiro kvalificiranih poslovnih partnerjev, kar lahko pozitivno ali negativno vpliva na poslovno mrežo [2]. Izzivi digitalnih sistemov za kakovost vključujejo [1]:

- Nadzorljivi stroški, ki nastanejo zaradi implementacije in delovanja digitalnih sistemov.
- Nepredvidljivi stroški zaradi napak v implementaciji, ki izvirajo iz različnih dejavnikov, kot so kontekst, infrastruktura in organizacijska kultura.
- Nespremenljivost digitalnih sistemov, ki povzroča povečanje administrativnih nalog za zaposlene.
- Možnost napak v sistemu, ki lahko negativno vplivajo na nadzor kakovosti.
- Izzivi sodelovanja, ki zahtevajo visoko stopnjo usklajenosti med deležniki [3].

4. REZULTATI

Anketa, ki je bila izvedena med kakovostniki, je razkrila naslednje rezultate:

Raziskava je zajela več dejavnikov, povezanih z uporabo digitalnih orodij za izvajanje postopkov kakovosti. Najprej je bil pregledan vzorec glede industrije, v kateri delujejo udeleženci. Večina udeležencev je delovala v avtomobilski industriji (54,55%), medtem ko je le manjši delež deloval v drugih industrijah, kot so medicinska oprema (4,55%) in druge panoge (40,91%).

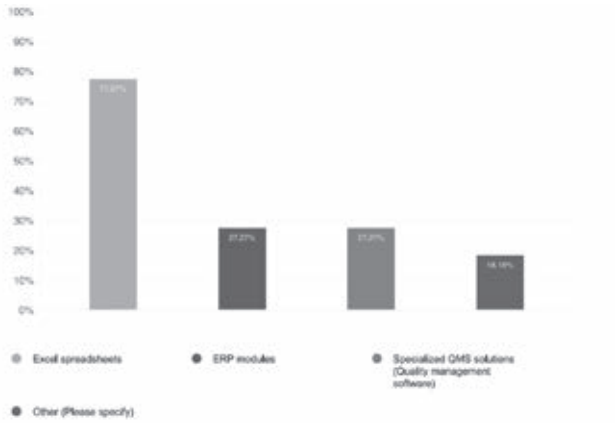


Slika 1: Panoge anketirancev.

Vprašanje je zajemalo tudi oddelke, v katerih udeleženci trenutno delujejo. Večina jih je delovala v oddelku za zagotavljanje kakovosti (59,09%), medtem ko je manjši delež deloval v drugih oddelkih, kot so vodstvo (9,09%) in razvoj (4,55%).

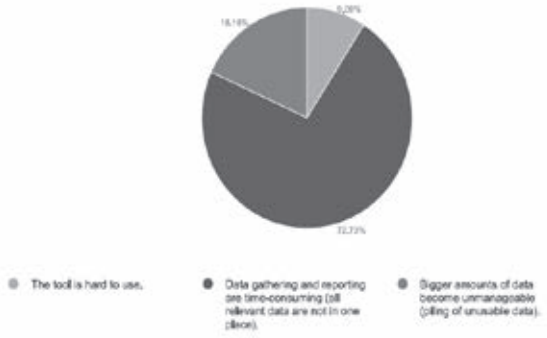
Glede na vlogo v organizaciji je večina udeležencev v raziskavi zasedala vodstvene položaje, kot so vodje (36,36%) ali vodstveni kader (13,64%).

Vprašanje o uporabljenih digitalnih orodjih za izvajanje postopkov kakovosti je pokazalo, da večina udeležencev uporablja Excelove preglednice (77,27%), medtem ko je manjši delež uporabljal specializirane rešitve za upravljanje kakovosti (27,27%), tu je bilo možnih več odogovorov.



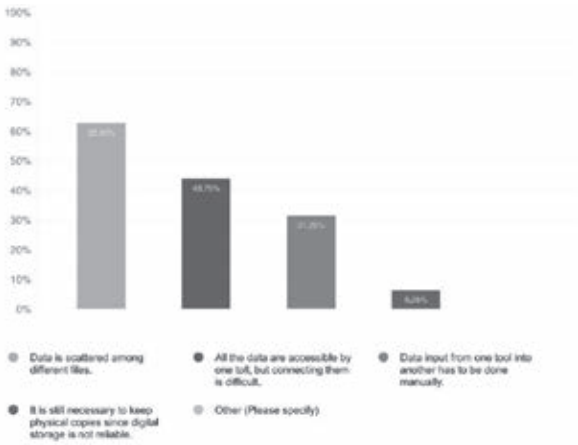
Slika 2: Uporabljena digitalna orodja.

Kot glavni razlog nezadovoljstva so anketiranci podali zamudno zbiranje podatkov in poročanje (72,73%). Manjši delež udeležencev (18,18%) je izrazil težave z obvladovanjem večjih količin podatkov, ki se kopičijo in postanejo neuporabni. Samo 9,09% jih je izrazilo, da je orodje težko za uporabo.



Slika 3: Težave in izzivi s katerimi se srečujejo kakovostniki pri uporabi digitalnih orodij.

Anketiranci, ki so kot največji izziv navedli, da je orodje težavno za uporabo, so vsi izpostavili, da največji izziv predstavljajo kompleksni delovni tokovi, nekateri so še dodali, da so ovira tudi pogoste napake in sesutje rešitve.



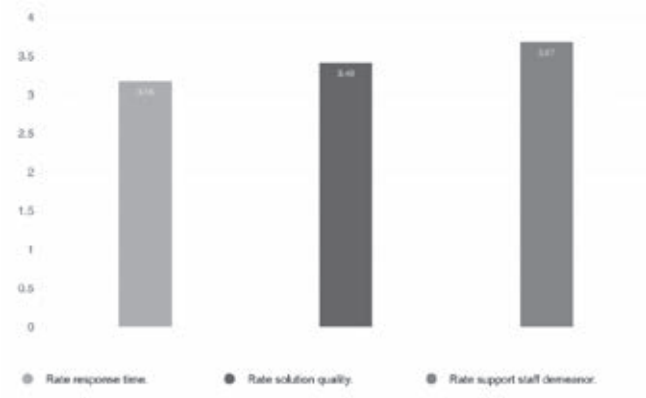
Slika 4: Zakaj je poročanje zamudno?.

Tisti, ki so odgovorili, da je potreben za zbiranje podatkov in poročanje, je večina udeležencev (62,50%) navedla, da so podatki razpršeni po različnih datotekah, kar otežuje proces. Poleg tega je manjši delež udeležencev (43,75%) izrazil težave pri povezovanju dostopnih podatkov, medtem ko je nekaj udeležencev (31,25%) navedlo, da je treba podatke ročno vnesti iz enega orodja v drugega.

Glede težav z obvladovanjem večjih količin podatkov je polovica udeležencev (50%) navedla, da niso konfigurirane možnosti arhiviranja, medtem ko je manjši delež (25%) izrazil težave z nezadostnimi možnostmi filtriranja. Poleg tega je manjši delež (25%) izrazil, da orodje omogoča vnos neomejenih podatkov brez preverjanja podvojenih vnosov.

Večina udeležencev (68,18%) je izrazila zmerno zadovoljstvo z digitalnim orodjem, ki ga najpogosteje uporabljajo. Manjši delež udeležencev je izrazil višjo stopnjo zadovoljstva (18,18%), medtem ko je delež udeležencev z nizko stopnjo zadovoljstvo (skupaj 9,09%).

Večina udeležencev je izrazila višje zadovoljstvo s izobraževanjem s strani sodelavcev (4), izobraževalni material in izobraževanje s strani uradnih trenerjev, je večina podala oceno dobro (3).



Slika 5: Zadovoljstvo s podporo.

Glede vzdrževanja in podpore je večina udeležencev izrazila najvišje zadovoljstvo z odnosom podpornega osebja, sledita kakovost rešitve in hitrost odziva na zadnjem mestu.

5 PERSPEKTIVE IN REŠITVE

Rezultati ankete ponujajo dragocene vpoglede v težave, s katerimi se kakovostniki soočajo pri uporabi digitalnih orodij. Za premagovanje teh izzivov je ključno dobro načrtovanje pri izbiri orodja, saj je najpomembnejše da zagotovimo orodje, ki bo imelo dostop do vseh relevantnih podatkov.

Hkrati opažamo da velika večina kakovostnikov še zmerom uporablja preglednice, kar pomeni, da je raven digitalizacije v tem segmentu proizvodnega procesa še vedno razmeroma nizka.

6 SKLEP

Kljub težavam, s katerimi se srečujejo kakovostniki pri uporabi digitalnih orodij, obstajajo perspektive za izboljšanje situacije. S pravilno usmerjenimi ukrepi za izobraževanje, podporo in razvojem digitalnih rešitev lahko organizacije izkoristijo potenciale digitalne transformacije in izboljšajo kakovost svojih procesov ter izdelkov.

Viri:

[1] Raed, I.: *Digital Quality Management Systems: Benefits And Challenges*, Proceedings on Engineering Sciences, 2019.

[2] Hallberg, P., Hasche, N., Kask, J., & Öberg, C. Quality management systems as indicators for stability and change in customer-supplier relationships. IMP Journal 2018, 12(3) 483-497.

[3] Rönnbäck, Å., Witell, L., & Enquist, B.: *Quality management systems and value creation*. International Journal of Quality and Service Sciences 2009, 1(3), 241-254.

[4] Sampaio, P., Saraiva, P., & Guimarães Rodrigues, A.: *The economic impact of quality management systems in Portuguese certified companies: Empirical evidence*. International Journal of Quality & Reliability Management 2011, 28(9), 929-950.

[5] Sousa, R., & Voss, C. A.: *Quality Management Re-Visited: A Reflective Review and Agenda for Future Research*. Journal of Operations Management 2002, 20, 91-109.

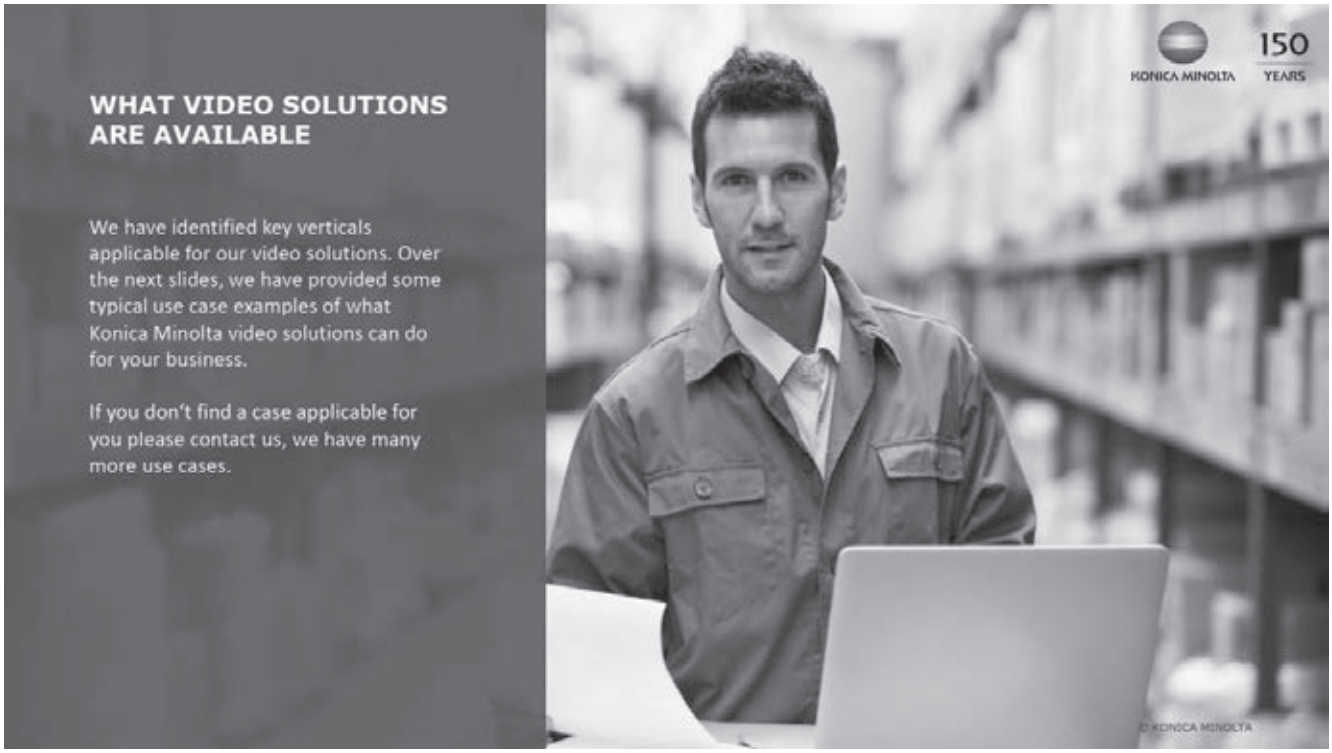
VIZUALNI PREGLED KAKOVOSTI V PROIZVODNJI - KAKO POVEČATI UČINKOVITOST S STROJNIM VIDOM Z UMETNO INTELIGENCO

Boštjan JUSTIN[1], Petr ATANASČEV[2]
[1]Konica Minolta Slovenija, d.o.o.
[2]Konica Minolta Europe

IZVLEČEK

Konica Minolta razvija in uvaja lastno platformo umetne inteligence za vizualni pregled kakovosti, ki je združena s kamerami za strojni vid. V naši predstavitvi bomo na kratko pregledali, zakaj je vizualni pregled kakovosti tako pomemben in kako lahko pomaga povečati učinkovitost vaše proizvodnje. Nato se bomo osredotočili na pogosta vprašanja, ki so povezana z izvajanjem takšne tehnologije znotraj trenutnih proizvodnih linij, možnosti trenutnih rešitev, ki temeljijo na umetni inteligenci, njene omejitve in kakšne učinke ima. Med predstavitvijo boste pridobili znanje, ki je potrebno za uspešno izvedbo. Na koncu vam bomo pokazali, zakaj običajna kamera CCTV ni primerna za projekte strojnega vida predstavili bomo pa tudi posebne hiperspektralne kamere, ki "nevidno naredijo vidno".

Boštjan JUSTIN[1], Petr ATANASČEV[2]
[1]Konica Minolta Slovenija, d.o.o., [2]Konica Minolta Europe



Boštjan JUSTIN[1], Petr ATANASČEV[2]
[1]Konica Minolta Slovenija, d.o.o., [2]Konica Minolta Europe

KONICA MINOLTA VSS* AND VAS * VIDEO SOLUTIONS

*VSS – Video Security Services
*VAS – Video Analytic Services

KONICA MINOLTA 150 YEARS

SMOKE, FIRE & FLARE DETECTION

Typical Detection
Thermal and Visual technology can help to detect "flare health" leading to the monitoring of Greenhouse gases.

Usage Scenario
- Smart Agriculture: AI-equipped sensors in barns detect and alert abnormal temperature rises or smoke.
- Oil and Gas: AI-driven monitoring systems with thermal cameras in oil rigs and refineries detect fire threats, alerting control centers.
- Wildfire Detection: AI-powered cameras and sensors in forests identify early wildfire signs, providing immediate GPS coordinates to forest rangers and fire departments.

THERMAL TECHNOLOGY FOR FIRE DETECTION

Typical Detection
Overheating in storage, production, or other facilities can quickly lead to fire and flames that endanger people and property, causing financial loss, operational downtime, reputational damage, and harm to the environment. Fire alarms and other security systems are unlikely to warn of heat risks that indicate an impending fire. Our Thermal technology, however, can identify fire and overheating risks much sooner than traditional systems — before flames and smoke develop — by detecting hotspots where a fire might start.

INTRUSION DETECTION

Typical detection:
The application detects intruders crossing one or a series of virtual lines in an indoor or outdoor area. The Artificial Intelligence algorithm runs directly in the camera and uses neural networks trained to recognise intruders in three detection scenarios:
- Single-line intrusion detection
- Multi-line intrusion detection
- Area-defined intrusion detection

© KONICA MINOLTA 4

KONICA MINOLTA VSS* AND VAS * VIDEO SOLUTIONS

*VSS – Video Security Services
*VAS – Video Analytic Services

KONICA MINOLTA 150 YEARS

SECURITY AND SAFETY OF PEOPLE

Typical Detection
Artificial Intelligence-based video analytics automatically detect dangerous situations and provide control and proactivity in dealing with them:
- Suspicious behaviour in predefined areas
- People crowding
- Dangerous situations near railways
- Perimeter protection
- Surveillance of pedestrian areas
- Facial recognition-based controlled access

TRAFFIC MANAGEMENT

Typical Detection
The video system provides real-time traffic information by monitoring intersections and roads and allows:
- Automatic number plate recognition
- Counting and classifying vehicles
- Identifying make, model, colour, class
- Detection and alert for traffic incidents
- Improved safety of road segments
- Detection of cars illegally parked
- Traffic data analysis

PROTECTIVE EQUIPMENT USAGE MONITORING

Typical detection:
- Automatic detection of people not wearing personal protective equipment (masks, goggles, helmets, safety vests, gloves and others)
- Detection algorithm analyses subjects in front of a security camera and reports a breach if personal protective equipment is not worn

© KONICA MINOLTA 5

Boštjan JUSTIN[1], Petr ATANASČEV[2]
[1]Konica Minolta Slovenija, d.o.o., [2]Konica Minolta Europe

KONICA MINOLTA VSS* AND VAS * VIDEO SOLUTIONS

*VSS – Video Security Services
*VAS – Video Analytic Services

KONICA MINOLTA 150 YEARS

VISITOR MANAGER

Typical Detection

A solution built around facial recognition to streamline the process of signing in visitors, employees, deliveries and anyone that enters in and out of a specific facility

AGGRESSIVE BEHAVIOR DETECTION

Typical Detection

- City Surveillance
- School Safety
- Public Transport
- Sports Events
- Retail & Malls
- Correctional Facilities
- Hospital Security
- Banking & Finance

LONE WORKER MONITORING

Typical detection:

Based on the recognition of the shape and position of the human body, it is possible to detect situations when workers:

- Are vomiting
- Fall to the ground and do not get up
- Have symptoms of a heart attack
- The system automatically triggers an alarm and enables medical assistance.

© KONICA MINOLTA 6

KONICA MINOLTA VSS* AND VAS * VIDEO SOLUTIONS

*VSS – Video Security Services
*VAS – Video Analytic Services

KONICA MINOLTA 150 YEARS

SLIP & FALL DETECTION

Typical Detection

As an early detection alert system to detect falls in patient rooms that could potentially lead to injury or even death

- This solution can be combined with a patient sitter device powered by MOBOTIX Cameras

WEAPON DETECTION

Typical Detection

- Visible Weapons are divided into two major groups; handguns, rifles and shotguns
- Can be combined ideally with additional algorithms, face recognition and line crossing

KONICA MINOLTA

Konica Minolta Slovenija, d.o.o.

Dunajska cesta 167
1000 Ljubljana

www.konicaminolta.si
info@konicaminolta.si

© KONICA MINOLTA 7

INDUSTRIJSKA VIZUALIZACIJA ZA VIZIONARJE

Peter SKOPEC
ControlTech d.o.o.

IZVLEČEK

Predstavljamo revolucionarno platformo za vizualizacijo industrijskih sistemov, ki izstopa po modernosti, prilagodljivosti in univerzalnosti. Je inovativna rešitev, ki presega tradicionalne pristope. Njena glavna prednost je popolna prilagodljivost in zmožnost povezovanja z različnimi krmilnimi sistemi vodilnih proizvajalcev. Integrirani gonilniki omogočajo najrazličnejše možnosti povezovanja in nemoten pretok podatkov, tudi preko protokolov OPC UA ali MQTT. Platforma deluje neodvisno od operacijskega sistema, kar omogoča uporabo na različnih napravah, vključno z mobilnimi napravami. Brezplačno razvojno okolje olajša ustvarjanje aplikacij, medtem ko naprednejša različica ponuja dodatne funkcionalnosti, kot je skupinski razvoj projektov in verzioniranje preko platforme GitHub.

Vključuje vse potrebne elemente za učinkovito upravljanje proizvodnih procesov, kot so sistem alarmiranja, shranjevanje podatkov in upravljanje receptur. Možnost prilagajanja s pomočjo C# skript omogoča fleksibilnost že v fazi razvoja ali v fazi izvajanja aplikacije. Licenciranje temelji na funkcionalnostih, kar omogoča prilagodljivost glede na potrebe organizacije. S to platformo poleg spreminjanja proizvodnih procesov odpirate tudi vrata za razvoj in rast vašega podjetja.

V industrijski avtomatizaciji se dnevno srečujemo z vizualizacijo proizvodnih procesov. Na trgu je pestra ponudba raznolikih orodij, sistemov, platform,…katero platformo izbrati za vaš sistem, pa včasih ni enostavna naloga. Izbiramo lahko glede na različne kriterije, npr. povezljivost s krmilnimi sistemi, omejitve glede števila zaslonov oz. števila »tagov«, raznorazne funkcionalnosti kot npr. logiranje podatkov, prikazovanje trendov, izdelava poročil, povezovanje »v oblak«, povezovanje mobilnih naprav, itd.

Večino sodobnih orodij za vizualizacijo omogoča izvedbo prej navedenih funkcionalnosti, vendar je kljub vsemu bistvena razlika med orodji in načinom izdelave, nenazadnje pa je med orodji na trgu tudi bistvena cenovna razlika, zato je pred odločitvijo smiselno pregledati aktualno ponudbo tovrstnih orodij na trgu.

V množici raznoraznih orodij za vizualizacijo vam predstavljamo sodobno, v mnogih pogledih izredno odprto in cenovno ugodno orodje za vizualizacijo, ki v industrijsko okolje uvaja nekatere napredne, lahko rečemo tudi vizionarske pristope.

Predstavljamo vam platformo FactoryTalk Optix, novo, napredno orodje za vizualizacijo, ki je del prodajnega programa podjetja Rockwell Automation.

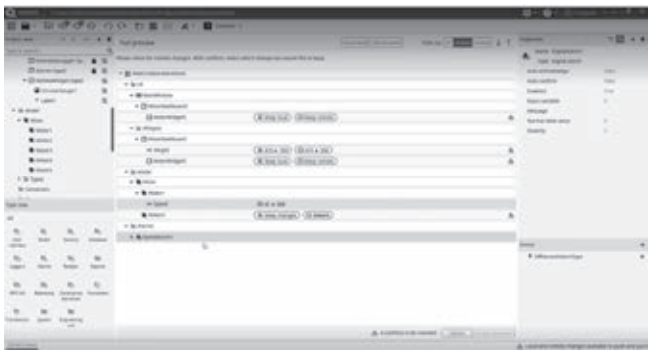
Slika 1: FactoryTalk Optix – nova, odprta platforma za vizualizacijo in digitalizacijo

To orodje za vizualizacijo utira nove pristope na mnogih področjih, izstopa pa predvsem v funkcionalnostih, ki vplivajo na cenovno ugodne, prilagodljive rešitve.

Že v fazi razvoja aplikacij imamo možnost uporabe brezplačnega razvojnega orodja. Razvojno orodje lahko prenesete s spletne strani in ga namestite na vaš računalnik ali pa uporabite razvojno orodje v oblaku FactoryTalk Design Hub kjerkoli, kadarkoli, le z vpisom v vaš račun.

Slika 2: Prilagodljivost razvojnega okolja

Uporaba tovrstnih orodij je pogosto v uporabi na IT področju, na t.i. OT področju pa se ta praksa šele uveljavlja, tudi zaradi nekaterih dodatnih funkcij, kot je sodelovanje večjega števila programerjev na istem projektu in verzioniranje oz. spremljanju izvedenih sprememb, kot smo vajeni v sistemu Git Hub .

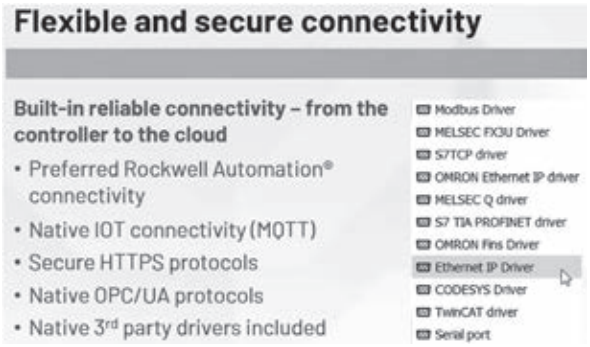


Slika 3: Razvojno okolje v oblaku – interakcije med lokalnimi in oddaljenimi verzijami.

Funkcionalnosti, ki bi jih radi posebej izpostavili pa so vezane na prilagodljivost, odprtost in povezljivost z ostalimi sistemi.

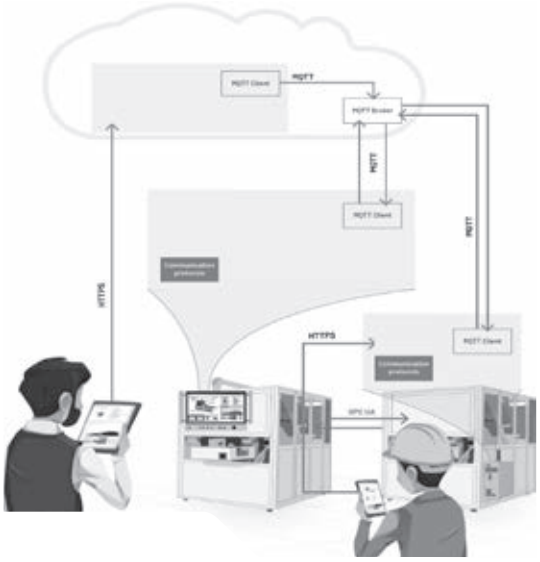
Prilagodljivost je izražena na različnih področjih. Najprej se izraža s tem, da ob razvoju aplikacije ni potrebno določiti, kje se bo aplikacija izvajala (industrijski panel, IPC, spletni odjemalec,…) in kakšna bo ločljivost prikazovalnika te naprave. Poleg tega je ta platforma popolnoma neodvisna od operacijskega sistema, saj se aplikacija lahko izvaja na Windows ali Linux napravah.

Ta platforma izstopa tudi na področju povezljivosti. Za sisteme vizualizacije je bistvenega pomena povezljivost s krmilnimi sistemi in platforma FactoryTalk Optix že v osnovi zajema gonilnike za povezovanje z vsemi bolje znanimi proizvajalci krmilnih sistemov.



Slika 4: Integrirani komunikacijski gonilniki

Poleg tega, ta platforma že v osnovi omogoča povezovanje preko standardnega, univerzalnega protokola OPC UA (kot strežnik ali odjemalec) in tudi MQTT komunikacijo za IoT naprave.

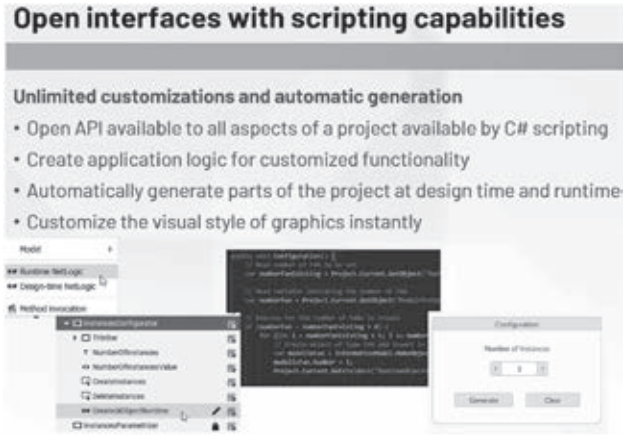


Slika 5: Povezovanje z različnimi komunikacijskimi protokoli (OPC UA, MQTT, HTTPS)

Poleg navedenih naprednih funkcionalnosti pa je potrebno omeniti tudi napredne možnosti uporabe programskega jezika C#, ki običajno orodje za izdelavo nadzornih aplikacij dvigne na povsem drugo raven. Z uporabo C# skript lahko

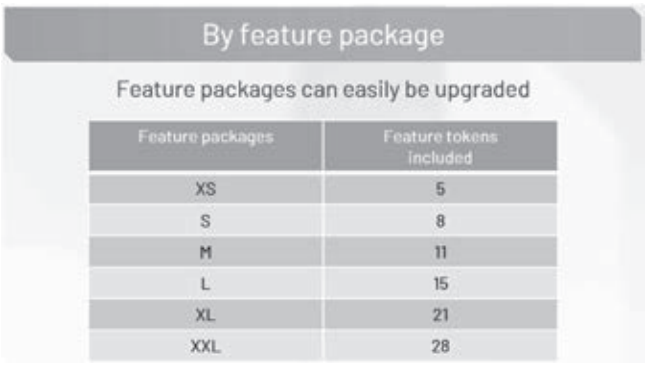
funkcionalnosti SCADA sistema nadgradite z vašimi, lastnimi rešitvami.

Pomembno je poudariti tudi to, da C# skripte lahko uporabite že v fazi razvoja aplikacije in na tak način C# skripta generira določeno število objektov, z vsemi pripadajočimi vhodno izhodnimi parametri.



Slika 6: Možnost uporabe C# skript tudi v fazi razvoja

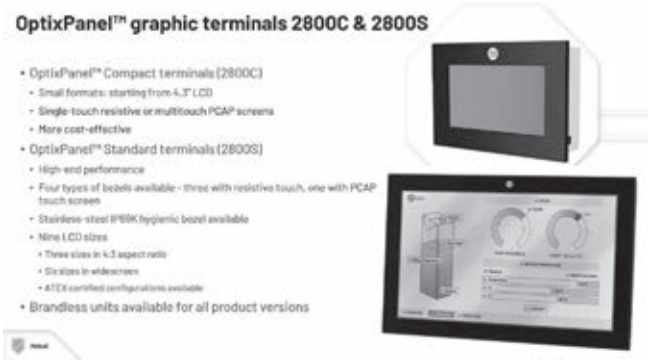
En ključnih parametrov nove platforme za vizualizacijo pa je vsekakor tudi cena. Običajno so orodja za vizualizacijo omejena glede na število točk ali pa število zaslonov. Pri platformi FactoryTalk Optix tovrstnih omejitev ni. Sistem temelji na »žetonih«, ki odklepajo funkcionalnosti kot npr. alarmiranje, logiranje, recepture, OPC UA povezljivost, spletni odjemalci,…itd. Žetoni se kupujejo kot paketi z različnim številom žetonov, od XS (5 žetonov) pa vse do XXL (28 žetonov).



Feature packages	Feature tokens included
XS	5
S	8
M	11
L	15
XL	21
XXL	28

Slika 7: Paketi žetonov XS…XXL

V primeru, da želite vašo aplikacijo izvajati na industrijskem računalniku, morate kupiti primeren paket z žetoni, če pa se odločite, da boste aplikacijo poganjali na industrijskem zaslonu OptixPanel pa vam to predstavlja cenovno ugodno rešitev, saj v paketu dobite zanesljiv industrijski monitor in vnaprej nameščeno določeno število žetonov. V vsakem primeru pa se platforma FactoryTalk Optix izkaže za eno cenovno ugodnejših rešitev na trgu.



Slika 8: Compact in Standard OptixPanel-i

Novo platformo FactoryTalk Optix odlikuje cenovna učinkovitost, vsestranska odprtost in prilagodljivost glede krmilnih sistemov in operacijskih sistemov. Predstavljena platforma omogoča izvedbo enostavnih, cenovno ugodnih aplikacija za nadzor sistemov, lahko pa je tudi zmogljiva platforma za digitalizacijo vaše proizvodne linije in povezovanje na praktično vseh nivojih s sodobnimi protokoli kot npr. OPC UA in MQTT.

Literatura:

[1] https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/factorytalk/optix.html

[2] https://github.com/FactoryTalk-Optix

[3] https://www.asemautomation.com/en/products/251/factorytalk-optix.html

NAPOVED OBRABE REZILNEGA ROBA Z UPORABO STROJNEGA UČENJA

Miha KODRIČ[1], Jure KORBAR[1], Luka BERTONCELJ[2], Rok KOČEVAR[2], Gregor ČEPON[1]
[1]LADISK, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani
[2]Iskra ISD d.o.o.

IZVLEČEK

V okviru sodelovanja med laboratorijem LADISK in podjetjem Iskra ISD smo razvili inovativen sistem za avtomatsko detekcijo obrabe rezilnih ploščic med procesom struženja, ki temelji na strojnem učenju. Sistem analizira vibracije, ki nastanejo med struženjem, z uporabo metodologije strojnega učenja pa omogoča zanesljivo napoveduje trenutne stopnje obrabe rezilnega roba. Ta pristop omogoča natančnejše načrtovanje zamenjav orodij, kar vodi do izboljšane učinkovitosti proizvodnje in višje kakovosti končnih izdelkov, s čimer se zmanjšujejo tudi operativni stroški.

1 UVOD

Zanesljivo napovedovanje obrabljenosti orodja igra ključno vlogo pri izboljšanju učinkovitosti proizvodnih procesov in kakovosti končnih izdelkov. V kontekstu struženja je natančna ocena trenutne obrabe rezilnih ploščic bistvenega pomena, saj zagotavlja optimalno uporabo orodij z minimalno porabo rezilnih ploščic ter zmanjša čas izpada stroja. V ta namen smo v laboratoriju LADISK skupaj s podjetjem Iskra ISD razvili sistem za avtomatsko detekcijo obrabljenosti rezilnih ploščic.

Sistem temelji na metodologiji strojnega učenja, ki omogoča analizo in prepoznavanje specifičnih vzorcev vibracij, neposredno povezanih s stopnjo obrabe rezilnih ploščic. S pomočjo razvitih algoritmov lahko sistem natančno določi trenutno stanje orodja, kar omogoča načrtovanje optimalnih intervalov menjavanja orodja. Pri tem upošteva dejanske meritve in dinamiko vibracijskih vzorcev, kar prinaša večjo zanesljivost napovedi v primerjavi z obstoječimi metodami, ki se opirajo zgolj na časovne intervale menjavanja orodja.

Uporaba strojnega učenja omogoča prilagodljivost sistema različnim proizvodnim okoljem, kar povečuje njegovo univerzalnost. S tem dosežemo več ciljev hkrati: zagotavljanje višje kakovosti izdelkov, zmanjšanje stroškov vzdrževanja in povečanje produktivnosti.

2 METODOLOGIJA

Določanje stopnje obrabe rezalne ploščice sestavljajo tri osnovne komponente, kot je prikazano na sliki 1. Metodološka osnova za ocenjevanje obrabe izhaja iz natančnih meritev vibracij, ki nastanejo med struženjem in se prenašajo na držalo orodja. Te vibracije zaznamo z merjenjem pospeška, za kar uporabljamo pospeškomer. Digitalizacija in analiza zajetega signal, algoritmi detekcije struženja in napovedi obrabe ter prikaz rezultatov pa se izvede na mikro računalniku, ki je integriran v posebej razvito napravo.

Slika 1: Shematski prikaz zajema podatkov in napovedi obrabe orodja.

2.1 MERJENJE VIBRACIJ

Za zajem vibracij držala orodja med struženjem uporabljamo pospeškomer, ki je pritrjen v neposredni bližini rezilnega mesta (Slika 2).

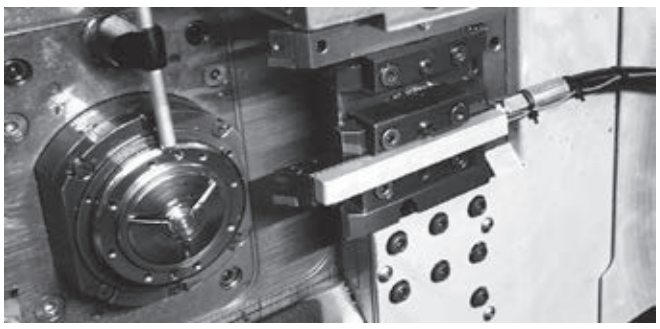
Miha KODRIČ[1], Jure KORBAR[1], Luka BERTONCELJ[2], Rok KOČEVAR[2], Gregor ČEPON[1]
[1] LADISK, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani
[2] Iskra ISD d.o.o.

Slika 2: Pritrditev pospeškomera na držalo stružnega noža.

Območje okoli rezilnega mesta je izpostavljeno intenzivni uporabi hladilne emulzije in toku odstružkov, kar povečuje tveganje za poškodbe pospeškomera in pripadajočega kabla. Za zaščito teh komponent smo na držalo namestili aluminijasti profil, ki učinkovito ščiti tako pospeškomer kot kabel pred morebitnimi mehanskimi poškodbami (Slika 3).

Slika 3: Zaščita pospeškomera in kabla na držalu stružnega noža.

V predstavljenem primeru je bilo uporabljeno držalo, ki omogoča dovod hladilne tekočine v samo mesto struženja, zato lahko dovodno cev izkoristimo za stabilno pritrditev kabla pospeškomera (Slika 4).



Slika 4: Držalo s pospeškomerom na stružnici.

2.2 NAPOVEDOVANJE OBRABE

Napovedovanje stopnje obrabe se izvaja z uporabo metode strojnega učenja, kjer osnovo za postavitev modela predstavlja učna množica meritev vibracij na držalu noža, skozi celotno življenjsko dobo rezilnega roba.

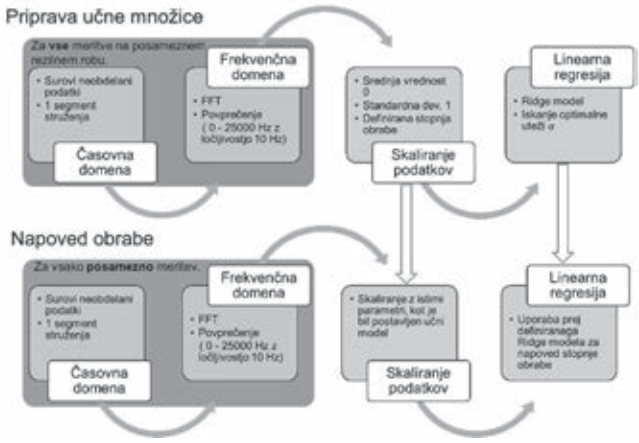
Zajete vibracije so digitalizirane preko zajemnega modula, ki ga nadzira mikro računalnik (Raspberry Pi). Frekvenca zajemanja pospeška znaša 51200 vzorcev na sekundo, digitalizacija pa se izvaja v območju med -5 in 5 V s 24 bitno ločljivostjo. Obdelava digitaliziranega signala vključuje detekcijo stružnega procesa v časovni domeni in transformacijo signala v frekvenčno domeno z uporabo metode FFT. V podatkovno bazo se shranijo povprečne vrednosti pospeška za posamezna frekvenčna območja, kar optimizira prostor, potreben za shranjevanje podatkov — posamezen proces struženja tako zavzame manj kot 10 kB, kar pomeni, da 100.000 takšnih procesov potrebuje manj kot 1 GB prostora.

Učna množica za potrebe strojnega učenja vključuje podatke o pospeških skozi celotno življenjsko dobo rezilnega roba, od novega do popolnoma obrabljenega stanja, ko izdelani kosi niso več ustrezni. Za modeliranje smo predpostavili, da se obraba linearno povečuje z vsakim izdelanim kosom, kar smo potrdili z meritvami hrapavosti izdelkov. Začetna obraba pri povsem novem rezilnem robu je predpostavljena kot 0 %, končna pa kot 100 %, kar označuje trenutek, ko izdelki ne izpolnjujejo več standardov kakovosti.

Proces vzpostavitve modela strojnega učenja se začne takoj, ko zberemo potrebno učno množico. Robustnost modela izboljšamo z vključitvijo meritev iz celotne življenjske dobe več rezilnih robov. Model temelji na Ridge regresiji [1]. Pred samo postavitvijo modela opravimo še sklairanje podatkov in parametrično analizo. S katero določimo vrednosti hiperparametrov, kot je koeficient kompleksnosti α, kar zagotavlja optimalno delovanje modela.

Miha KODRIČ[1], Jure KORBAR[1], Luka BERTONCELJ[2], Rok KOČEVAR[2], Gregor ČEPON[1]
[1] LADISK, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani
[2] Iskra ISD d.o.o.

Celoten postopek priprave učne množice, vzpostavitve regresijskega modela ter napovedovanja stopnje obrabe je v celoti predstavljen na Sliki 5. Za definicijo regresijskega modela smo uporabili odprtokodno knjižnico Scikit-Learn [2], ki je napisana v programskem jeziku Python.



Slika 5: Priprava podatkov za izvedbo strojnega učenja preko linearne regresije.

Ko je model strojnega učenja postavljen se prične proces napovedovanja obrabe. Naprava vsaki 2 minuti napove stopnjo obrabe z uporabo naučenega modela. Za večjo zanesljivost napovedi sistem izračuna povprečje stopnje obrabe iz zadnjih desetih struženj in določi standardni odklon teh vrednosti, kar nam omogoča določitev intervala zaupanja.

Naprava se upravlja preko zaslona, občutljivega na dotik, in namenskega uporabniškega vmesnika (Slika 6). Uporabniški vmesnik ponuja več zavihkov, kjer lahko uporabniki spremljajo trenutno stanje vibracij na orodju v časovni in frekvenčni domeni, analizirajo obrabo iz preteklih struženj in nadzorujejo trenutno stopnjo obrabe ter število zaznanih stružnih procesov.

Ko napovedana stopnja obrabe preseže dopustno mejo in obstaja tveganje za proizvodnjo izdelkov nižje kakovosti, naprava sproži alarm, ki opozarja operaterja, da je potrebno zamenjati rezilni rob

Slika 6: Uporabniški vmesnik naprave za napovedovanja obrabe.

2 REZULTATI IN DISKUSIJA

Meritve, vključene v učno množico, so bile pridobljene med stružnim procesom, pri katerem smo popolnoma izrabili dva rezilna roba. Validacijo našega modela smo izvedli z uporabo meritev na tretjem rezilnem robu. V tem postopku smo izmerjene frekvenčne spektre vibracij vstavili v predhodno definiran Ridge regresijski model, nato pa smo pridobljene napovedi stopnje obrabe primerjali z referenčnimi vrednostmi (Slika 7).

Slika 7: Primerjava napovedane in dejanske obrabe rezilnega roba.

Ugotovili smo, da se naše napovedi obrabe od dejanske vrednosti odstopajo za manj kot 4 % (RMS), kar predstavlja zadovoljivo natančnost za večino aplikacij. Vrednosti napovedne obrabe, prikazane na sliki 7, predstavljajo dejanske stopnje obrabe za posamezne izdelke, ne povprečja zadnji desetih struženj. V posameznih primerih struženja smo opazili večja odstopanja, ki bi lahko bila posledica nepravilnosti v materialu ali sprememb v procesu struženja.

Ko uporabimo različne tipe ploščic, materialov ali metode struženja in hlajenja, ali ko stružimo različne kose, je potrebno postaviti nov regresijski model na podlagi nove učne množice. Različni obratovalni pogoji izkazujejo drugačne značilnosti, zato jih ni mogoče splošno uporabiti, ampak so specifični za vsak primer.

3 ZAKLJUČKI

V okviru raziskav smo razvili prenosno napravo, ki omogoča identifikacijo stopnje obrabe rezilnega roba preko meritev vibracij na držalu rezilnega orodja. S pomočjo ustrezne učne množice, ki pokriva celoten spekter obrabe rezilnega roba, smo uspeli napovedati stopnjo obrabe med obratovanjem, kar pripomore k povečanju produktivnosti in izboljšanju kakovosti izdelkov.

Glavni zaključki raziskave so:

- Za vzpostavitev učinkovite učne množice je ključno zajeti stanje rezilnega roba skozi njegovo celotno življenjsko dobo, od neobrabljenega do popolnoma iztrošenega stanja.
- Za doseganje večjih natančnost napovedi obrabe je potrebno v učno množico vključiti čim več rezilnih robov. V analiziranem primeri sta zadostovala že dva rezilna roba.
- Model, ki temelji na Ridge regresiji, zagotavlja zadostno natančnost za večino uporab, kar potrjuje njegovo uporabnost v praksi.
- V primeru sprememb stružnih pogojev, kot so spremembe podajalne hitrosti, vrtenja, tipa ploščice, metode hlajenja, vpetja, vrste izdelka ali materiala, je za zanesljivo napovedovanje obrabe nujna postavitev nove učne množice in ponovno treniranje modela strojnega učenja. Zahvaljujoč intuitivnemu uporabniškemu vmesniku lahko ta proces izvedemo z nekaj preprostimi kliki.

V prihodnosti nameravamo sistem preizkusiti tudi za detekcijo nenadnega loma rezilnega roba ter v situacijah, ko vibracije orodja ne bomo merili z uporabo pospeškomera, temveč preko specifičnih deformacij na držalu rezilnega roba.

Viri:

[1] G. C. McDonald: Ridge regression, Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics 1.1 (2009): 93-100.
[2] F. Pedregosa in drugi: Scikit-learn: Machine Learning in Python. *JMLR* 12, (2011): 2825-2830

NAPREDNE TEHNOLOŠKE REŠITVE PRI IZDELAVI MICRO IZVRTIN

Branko UŠAJ
BTS Company d.o.o.

IZVLEČEK

Vse večje zahteve kupcev po zniževanju cen in vse krajših dobavnih rokih silijo podjetja k vse večji optimalizaciji postopkov obdelav na CNC strojih. Med takšne postopke spada tudi izdelava izvrtin manjših premerov do globine 30D. Pri izbiri najprimernejšega orodja za obdelavo moramo upoštevati lastnosti materiala obdelovanca, globino izvrtine, zmogljivosti stroja, način vpenjanja orodja ter lastnosti hladilnega sredstva. Pri uporabi klasičnih svedrov je postopek izdelave izvrtin zelo zamuden. V večini primerov se pojavljajo težave s kvaliteto izdelane izvrtine, ravnostjo, ter lomom orodja. Sama geometrija svedra včasih ne omogoča kvalitetnega hlajenja skozi center, dotok hladilnega sredstva po spirali pa ni dovolj intenziven. Zaradi tega prihaja do nezadostnega dovoda hladilnega sredstva na rezilni rob. Nekvalitetno hlajenje rezilnega robu povzroča hitrejšo obrabo orodja in s tem tudi krajšo življenjsko dobo le tega. Da bi zmanjšali temperaturo na rezilnem robu moramo vrtati izvrtine s prekinjanjem (odmikanje svedra med vrtanjem) kar podaljša čas izdelave. Zaradi vse večjih zahtev po visoko-produkcijskih orodjih in ekološka osveščenost, zahteve po čim višji natančnosti izdelane luknje ter čim večji kvaliteti izdelane izvrtine silijo proizvajalce rezilnega orodja k nenehnemu razvoju. Japonski proizvajalec rezilnega orodja OSG je razvil svedre ADO MICRO kateri omogočajo ob pravilni izbiri vpetja in tehnologije vrtanja hitro in stabilnejšo izdelavo izvrtin in doseganje boljših toleranc izvrtin, ter posledično skrajšanje nadaljnjih postopkov. Lahko jih brez težav uporabimo na materialih kot so mehka jekla, orodna jekla, posebna legirana jekla, litine, toplotno odporne zlitine, INOX 303, INOX 316L, aluminij, titanove zlitine…

1. UVOD

Cilj vsakega podjetja je uporaba rezilnega orodja s katerim bodo hitro in učinkovito izdelovali kvaliteten in natančen izdelek S pravilno izbiro tehnologije izdelave in s pravilno izbiro rezilnega orodja dosežemo zelo kakovostno obdelavo in zelo ugodno razmerje med kakovostjo obdelave in ceno orodja. Pri izbiri orodja igra zelo pomembno vlogo tudi stroj na katerem bo potekala obdelava in togost ter natančnost vpetja orodja. Klasični postopki obdelave so zamudni in dragi, zato je potrebno nenehno iskati nove rešitve. V preteklosti so podjetja izdelovala izvrtine majhnih premerov s pomočjo vrtanja s HSS svedri, v orodjarstvu z erodiranjem. Ti postopki so bili zelo dolgotrajni in predragi. Japonski proizvajalec rezilni orodij OSG je razvil svedre ADO-MICRO kateri so namenjeni vrtanju izvrtin majhnih premerov od 0,7 mm do 2 mm. Na voljo so svedri za globine vrtanja 2D, 5D, 12D, 20D in 30D. Za svedre je značilno da ima uvodni del svedra dvojni vodilni rob. Ta prispeva k boljši vodljivosti svedra. Izvrtina je pri dvojnem vodilnem robu bolj ravna in gladka kot pri svedrih z enojnim vodilnim robom. Po uvodnem delu svedra je nato hrbtni vodilni rob odbrušen, kar olajša odvod mikro odrezkov iz tega območja. Mikro odrezki se namreč pri majhnih premerih hitro nakopičijo po obodu in povzročijo nenaden lom svedra. Učinkovitost hlajenja so izboljšali z votlim zadnjim delom stebla, ki preide v kanal za hlajenje. Pretočno hitrost so s tem uspeli povečati do 40%. Večji pretok hladilne tekočine znatno pripomore k učinkovitemu odvodu odrezkov iz izvrtine in izboljša hlajenje na rezilnem robu. Rezilna robova sta zelo ostra, na vhodu in izhodu iz izvrtine se zato tvori manj igle kot pri običajnih svedrih. Pri vrtanju nastajajo kratki in zaviti odrezki enakomernih dolžin. Vse te inovativne rešitve omogočajo stabilno in visoko učinkovito obdelavo pri aplikacijah globokega vrtanja lukenj majhnega premera. Vrtanje brez korakov je omogočeno tudi pri uporabi globokih lukenj s približno 9-kratno učinkovitostjo obdelave v primerjavi s stopenjskim vrtanjem.

2. IZBIRA SVEDRA

Pri izbiri najprimernejšega orodja za aplikacijo moramo upoštevati lastnosti materiala, ki ga obdelujemo, globino izvrtine, ki jo želimo izdelati, stanje in zmožnosti stroja ter lastnosti hladilnega sredstva. V primeru, da je togost vpetja svedra ali obdelovanca slaba, ali da se na konici svedra pojavlja oplet lahko pride do poškodbe svedra, obdelovanca ali celo stroja. Zelo velik vpliv na življenjsko dobo orodja in kvaliteto izvrtine ima tudi primerno vpenjalo. Pri uporabi svedrov iz hitroreznega jekla je potrebno zagotoviti obilen dovod ustreznega hladilnega ali mazalnega sredstva, še posebno v center vrtanja. V primerih, da zagotavljamo oplet vpetega svedra pod 0,01 mm pa se lahko odločimo za izbiro visoko produkcijskih svedrov iz karbidne trdine. Pri uporabi svedrov iz karbidne trdine za izdelavo izvrtin do globine 3D uporabljamo lahko zunanji dovod, ali dovod skozi center hladilnega sredstva ali oljno meglo, za globlje izvrtine pa uporabljamo izključno dovod skozi center orodja. Pri tem moramo zagotoviti dovolj velik tlak hladilnega sredstva ali oljne megle. Za vrtanje z majhnim premerom so na voljo možnosti, kot so svedri iz karbidne trdine in HSS svedri z zunanjim hladilnim sredstvom. Vendar pa današnje potrebe strojne obdelave zahtevajo večjo stabilnost, višjo učinkovitost in daljšo življenjsko dobo. Zato se je vse bolj izrazila potreba po svedrih majhnega premera s kanali za dovod hladilno-mazalne tekočine.

3. RAZVOJ SVEDROV ZA IZDELAVO MIKRO IZVRTIN

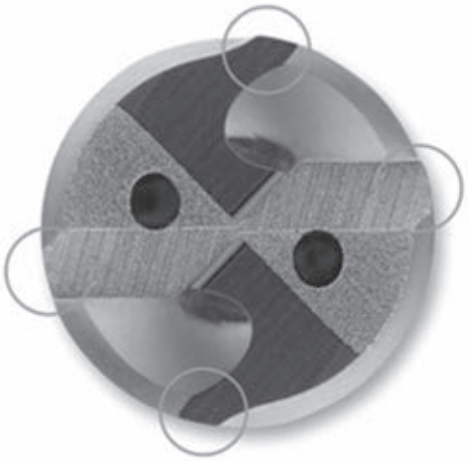
Vse večje zahteve po visoko-produkcijskih orodjih in ekološka osveščenost silijo proizvajalce v nenehni razvoj rezilnega orodja. Japonski proizvajalec rezilnega orodja OSG je razvil visoko-produkcijski sveder s komercialno oznako ADO-MICRO, ki je prvi sveder iz karbidne trdine majhnega premera s kanali za hlajenje in je zasnovan za stabilno in visoko učinkovito vrtanje pri aplikacijah globokih izvrtin. ADO-MICRO ima izbor premerov svedrov od 0,7 mm do 2 mm za dolžine svedrov 2xD in 5xD ter premere od 1 mm do 2 mm za dolžine svedrov 12xD, 20xD in 30xD. Morda se zdi, da je ime izdelka ADO-MICRO povezano s predpono enote mikro (μ), vendar je bilo poimenovano tako, da preprosto nakazuje majhnost ne glede na enoto.

4. GEOMETRIJA SVEDRA ADO-MICRO

Eden od ključnih dejavnikov za uspešno vrtanje majhnega premera je nemoteno odvajanje odrezkov. Kot je prikazano na sliki 1, odrezki, ki nastanejo na konici orodja, tečejo v smeri modre puščice. Če pa je v utoru premalo prostora, se odrezki ne morejo gladko odvajati, kar povzroči poslabšanje natančnosti vrtanja in poveča verjetnost zloma orodja. S povečanjem širine utora na območju, kjer se nahaja konica modre puščice, kot je prikazano na sliki 1, je mogoče odrezke brez težav odstraniti, kar vodi do stabilne strojne obdelave

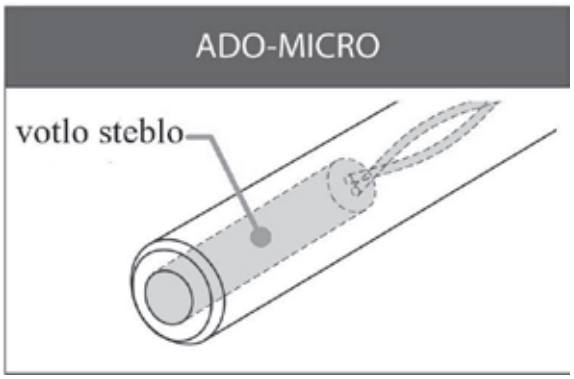
Slika 1. Razširjen žleb

Poleg tega ADO-MICRO uporablja edinstveno geometrijo dvojnega robu (kot je prikazano na sliki 2) v vseh velikostih, da omogoči stabilno obdelavo tudi pri aplikacijah z globokimi izvrtinami. Da bi zagotovili togost rezalnega robu, je rob nastavljen na najmanjšo potrebno dolžino. Vendar se lahko veliko mikro odrezkov zlahka nabere okoli zunanjega oboda rezalnega orodja, kar je ključni vzrok za nenaden zlom orodja. Da bi rešili ta izziv in dosegli splošno ravnotežje, je vključena razširjena konfiguracija žlebiča, ki zagotavlja dovolj prostora za izhod.



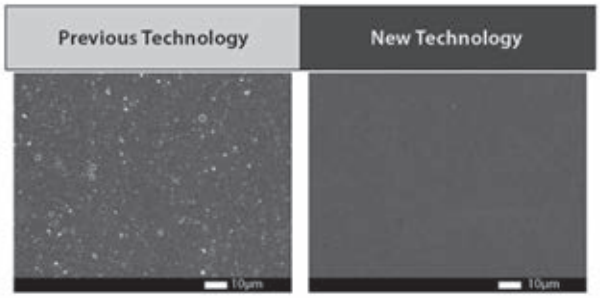
Slika 2. Štiri podporne točke z dvojnim robom

ADO-MICRO ima zasnovo z ravnim votlim steblom, kjer se poleg dveh spiralnih poti kanalov vbrizga hladilno-mazalna tekočina. Ta konfiguracija poveča dovod hladilne tekočine iz konice orodja. Brez konfiguracije votlega stebla je potreben večji pritisk, da lahko hladilna tekočina preide skozi tanke poti kanalov za olje. S funkcijo votlega stebla se zmanjša izguba tlaka, kar poveča pretok hladilne tekočine. Kot je prikazano na sliki 3, se lahko z večjim pretokom hladilne tekočine odrezki učinkoviteje odvajajo, kar omogoča stabilno obdelavo.



Slika 3. Votlo steblo

Drugi ključni element za doseganje stabilne obdelave pri izdelavi globokih lukenj majhnega premera je tehnologija izdelave trdih prevlek. Vloga prevleke orodja je zagotoviti odpornost proti obrabi in toplotno odpornost za podaljšanje življenjske dobe orodja, kar je še posebej pomembno pri orodju majhnega premera. Kot je prikazano na sliki 4, površina nanosa s konvencionalno tehnologijo ni gladka, kar lahko moti delovanje odvajanja odrezkov. Najnovejša prevleka IchAda podjetja OSG po drugi strani zagotavlja odlično gladkost površine v povezavi z visoko odpornostjo proti obrabi in toplotno odpornostjo, kar omogoča orodjem z majhnim premerom, da dosežejo dolgo življenjsko dobo orodja z izboljšanjem oprijema.



Slika 4. Površina prevleke

5. TEHNOLOGIJA IZDELAVE GLOBOKIH IZVRTIN S SVEDRI ADO-MICRO

5.1 VPENJANJE SVEDROV

Pri izbiri vpenjal moramo biti pozorni na:

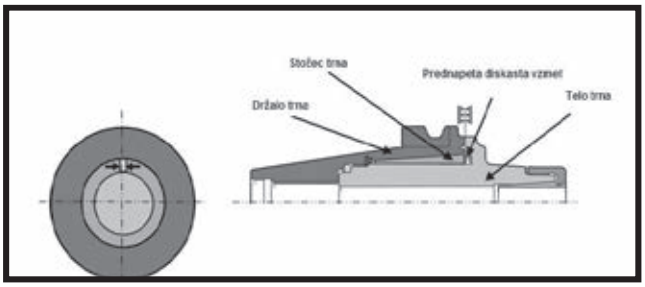
- run-out natančnost,
- odsotnost aksialnega gibanja,
- kompaktno obliko,
- togost vpenjala,
- vpenjalno silo,
- enostavnost uporabe,
- stabilnost vpetja.

Za vpenjanje orodij predlagam uporabo trnov za nakrčevanje, hidravličnih trnov ali trnov japonskega proizvajalca NIKKEN, kateri je priznan proizvajalec vpenjalnega orodja za obdelovalne centre. V svojem programu ima med drugim trne Multi Look kateri zagotavljajo visoko centričnost vrtenja in so primerni za visoke vrtljaje do 30.000 vrt/min, balansirani pa so na G2.5, ter trne za puše SK kateri so primerni za visoko hitrostno obdelavo do 50.000 vrt/min.

Slika 5 prikazuje vpenjalni trn NIKKEN 3-lock sistem (klasični trni nalegajo samo na konus vretena stroja, 3-lock trni pa nalegajo na čelo in konus vretena).

Slika 5: Vpenjalni trn NIKKEN 3-lock

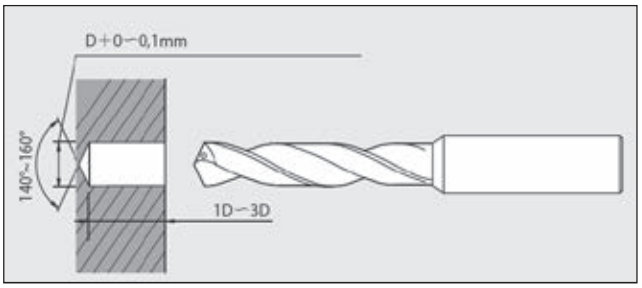
Prednost vpenjal NIKKEN je dušilni mehanizem. Med obdelavami se vibracije prenesejo iz rezilnega robu orodja na telo trna (svetlo siva – slika 6). Radialne vibracije se dušijo v stožcu trna (roza – slika 6), aksialne vibracije pa dušijo prednapete diskaste vzmeti. Tako prihaja do zadušitve vseh vibracij, ki se pojavijo na trnu. Posledica tega je, da odpravimo tresene med vretenom in trnom. Tako dosežemo zelo stabilno obdelavo, obstojnost orodja pa se zelo podaljša. Slika 6 prikazuje prerez trna NIKKEN.



Slika 6: Prerez trna NIKKEN

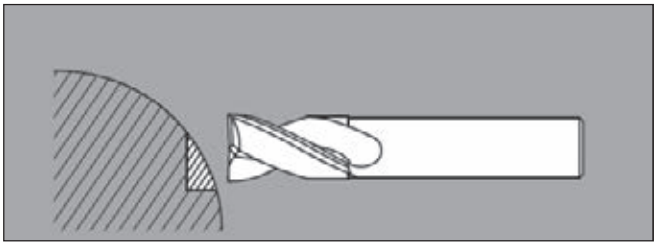
5.2 POSTOPEK VRTANJA

Prva faza vrtanja globokih izvrtin je izdelava pilotne izvrtine. Pilotno izvrtino izdelamo s pilotnim svedrom. Priporočam uporabo pilotnega svedra ADO-Micro 2D, ki ima kot konice 140° in toleranco premera v plus +0,001/+0,010. Ostale dolžine imajo toleranco premera 0/-0,009. Priporočljiva globina pilotne izvrtine je 1D do 3D izvrtine (slika 7).



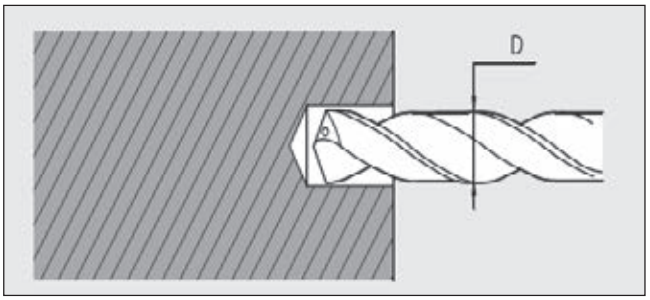
Slika 7: Izdelava pilotne izvrtine

V primerih, ko imamo vstop v izvrtino na neravnini, nadomestimo pilotni sveder s frezalom. Slika 8 prikazuje izdelavo pilotne izvrtine s frezalom.



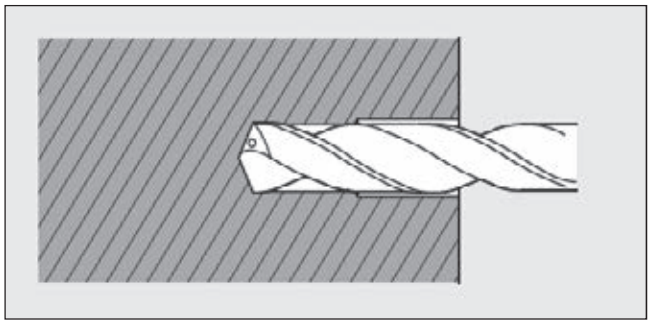
Slika 8: Izdelava pilotne izvrtine na neravnini

Izdelavi pilotne izvrtine sledi vrtanje globoke izvrtine. Z natančno montažo svedra ADO-MICRO mora biti sprejemljiv upogib cilindričnega dela telesa na koncu stebla manjši od 2 µm . Z majhnimi vrtljaji brez dovoda hlajenja ali oljne megle se spustimo s svedrom v pilotno izvrtino do približno 1 mm nad dnom pilotne izvrtine. Slika 9 prikazuje vstop svedra v pilotno izvrtino.



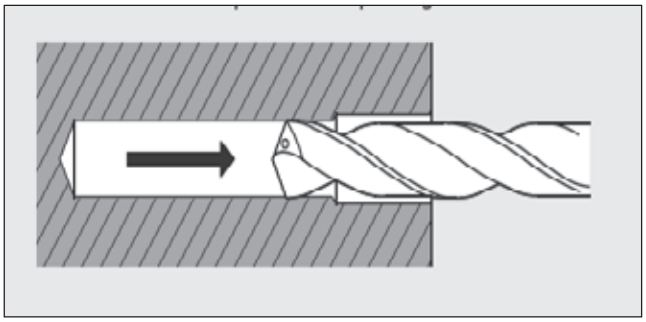
Slika 9: Vstop svedra v pilotno izvrtino

Na tej točki povečamo vrtljaje na delovno vrednost, vključimo dovod hladilnega sredstva ali oljne megle ter s polnim pomikom brez prekinjanja izdelamo izvrtino (slika 10).



Slika 10: Vrtanje

Med pomikom svedra iz izvrtine, ko ta doseže pilotno izvrtino (slika 11), zmanjšamo vrtljaje na minimum, izključimo hladilno sredstvo ali oljno meglo ter izvlečemo sveder iz izvrtine..



Slika11: Izstop svedra iz izvrtine

5.3 ODREZKI

Zelo pomembno vlogo pri globokem vrtanju imajo optimalni odrezki. Optimalne odrezke dosežemo na naslednji način:

- imeti moramo testni kos iz enakega materiala;
- izdelamo ustrezno pilotno izvrtino;
- programirano globino svedra nastavimo na 5-10 x D;
- izdelamo testno izvrtino z uporabo priporočenih parametrov;
- če je potrebno popravimo parametre, da dobimo primerne odrezke.

Željena velikost odrezka naj bi bila krajša od premera izvrtine. Idealna dolžina je ena do dve tretjini premera izvrtine. Na sliki 12 so prikazani optimalni odrezki.

Slika 12: Odrezki

5.4 HLADILNO SREDSTVO

Pri uporabi svedrov iz karbidne trdine za izdelavo izvrtin do globine 3D uporabljamo lahko zunanji dovod ali dovod skozi center orodja, za globlje izvrtine pa uporabljamo izključno dovod skozi center orodja. Pri tem moramo zagotoviti dovolj velik tlak hladilnega sredstva ali oljne megle. V primeru uporabe hladilno mazalnega sredstva moramo biti pozorni na koncentracijo in čistost hladilnega sredstva. Ker so kanali za hlajenje izredno tanki priporočam uporabo filtra za hladilno-mazalno tekočino (približno 3 μm do 5 μm), da se s tem prepreči zamašitev kanalov. Čeprav je priporočeni tlak hladilne tekočine 30 bar ali več, ga ustrezno prilagodite, če je raven pretoka nezadovoljiva zaradi vrste in koncentracije uporabljenega rezalnega olja.

6. REŠITEV PROBLEMATIKE VRTANJA MIKRO IZVRTIN V PROIZVODNJI PRECIZNIH STROJNIH DELOV

Podjetje katero proizvaja strojne dele iz nerjavečega jekla je imelo veliko težav z vrtanjem mikro izvrtin. Dogovorili smo se da bo izbrana tehnologija in sveder zadostila naslednjim zahtevam:

- čas izdelave izvrtine mora biti čim krajši,
- pomembna je čim večja obstojnost orodja,
- razmerje med obstojnostjo orodja in ceno mora biti čim ugodnejše.

Za cilj smo si zadali izbiro orodja, ki bo skrajšalo čas izdelave izvrtin, povečalo kvaliteto izdelane izvrtine ter da zmanjšamo strošek orodja na izdelan kos. Najprej je bilo potrebno analizirati obstoječo tehnologijo. Nato je bilo potrebno uvesti novo tehnologijo, izbrati primerno orodje ter določiti rezilne parametre in s testiranjem izbranega orodja potrditi pravilnost izbire rezilnega orodja.

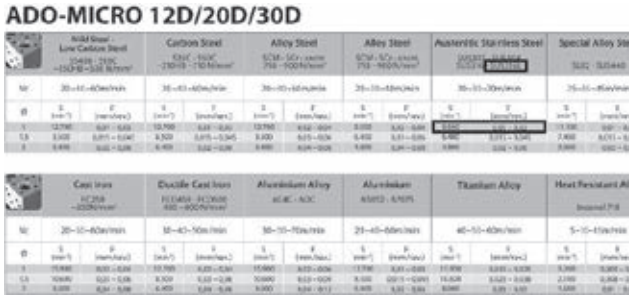
7. DOLOČITEV REZALNIH PARAMETROV

Pri določitvi rezalnih parametrov za vrtanje s svedri ADO-MICRO moramo izhajati iz naslednjih izhodišč:

- kakšen material bomo vrtali,
- kakšen premer svedra bomo uporabili
- kakšno globino izvrtine moramo izdelati

8. DOLOČITEV REZALNIH PARAMETROV ZA: Nerjaveče jeklo AISI 316L / 1.4404 (premer izvrtine 1, globina 30D)

Rezalne parametre pridobimo na osnovi priporočil proizvajalca svedrov (Slika 13). Ob upoštevanju oznake materiala, premera svedra in globine vrtanja.



Slika 13: Parametri za sveder ADO-MICRO

Iz tabele pridobimo podatek da so parametri:

- vrtljaji: n = 9500 min^{-1} (v tabeli oznaka s),
- pomik: f= 190 mm/min (v tabeli oznaka F).

Iz pridobljenih podatkov je razvidno, da bomo z uporabo svedrov za direktno vrtanje mikro izvrtin skrajšali čas vrtanja globokih izvrtin do 90% v primerjavi z klasičnimi postopki vrtanja v več prehodih.

Slika 14: Primerjava časa izdelave izvrtine

9. ZAKLJUČEK

Vrtanje globokih izvrtin v enem prehodu zagotavlja bistveno krajše čase obdelave, Kar pomeni prihranek pri strojnih urah in porabi električne energije, manjša je tudi obraba orodja. Z uvedbo OSG-jevih svedrov za globoko vrtanje mikro izvrtin ADO-MICRO so se bistveno skrajšali časi izdelave izvrtin. Pri uporabi klasičnih svedrov moramo uporabljati bistveno manjše režime izdelave izvrtin, dodatno izgubo časa pa je predstavljalo stopensko vrtanje. Pri uporabi svedrov ADO-MICRO pa vrtamo brezstopensko kar predstavlja velik prihranek pri času in posledično zelo zmanjšamo stroške izdelave izdelka in s tem povečamo konkurenčnost. Prednost uporabe svedrov ADO-MICRO je stabilnost obdelave v številnih obdelovalnih materialih kot so ogljikova, legirana in nerjavna jekla, sive in nodularne litine, Al-zlitine, ter Ti-zlitine. Pri 2D in 5D so dobavljivi premeri od Ø0,7 do Ø2,0 mm, pri 12D, 20D, 30D pa premeri od Ø1,0 do Ø2,0 mm.

Viri:

Interno gradivo
https://www.bts-company.com/
https://eu.osgeurope.com/

DIMENZIJSKA ANALIZA TEHNIČKIH SKLOPOVA POMOĆU KOMPJUTERIZIRANE TOMOGRAFIJE (X-Ray)

Luka KURTALJ, Josip KOS, Nenad DRVAR, Tomislav HERCIGONJA
Topomatika d.o.o

SAŽETAK

Napredak u području kompjuterizirane tomografije revolucionirao je način na koji pristupamo analizi i razumijevanju složenih tehničkih sklopova. Konvencionalna metoda analize sklopova podrazumijeva rezanje ili rastavljanje sklopa i analizu svake pojedine komponente, što rezultira uništavanjem uzorka. Na taj način se stvara materijalna šteta, i još važnije rezultira krivom interpretacijom rezultata. Uvođenjem digitalne CT tehnologije u industrijsku primjenu i istraživanje, otvaraju se vrata digitalne transformacije za precizniju i nerazornu analizu, optimizaciju dizajna, identifikaciji defekata u unutrašnjosti proizvoda te poboljšanju kvalitete i učinkovitosti sklopova.

U radu su predstavljeni digitalni rezultati 3D mjerenja dobiveni sa industrijskim CT sustavom ZEISS METROTOM i obrada podataka sa programskim paketom ZEISS INSPECT X-Ray za sveobuhvatnu digitalnu analizu 3D podataka.

1 UVOD

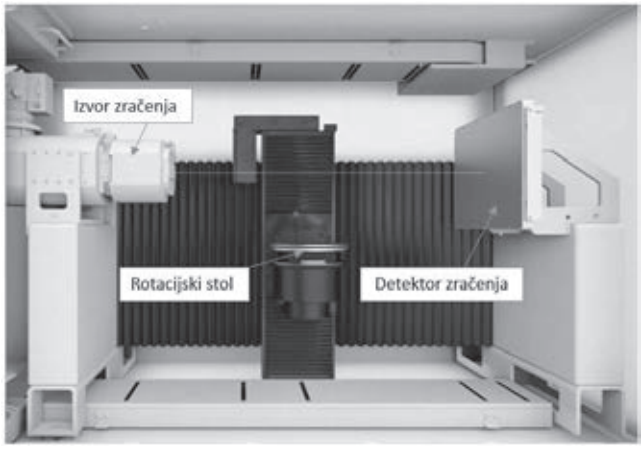
Analiza sklopa prvi je korak za potpuno shvaćanje proizvoda. Iako je sama funkcija možda u potpunosti jasna, shvaćanje zašto nešto funkcionira ili ne funkcionira ključno je za optimizaciju proizvoda.

Fizičkim rastavljanjem sklopljenog proizvoda moguće je doći do u potpunosti krivog zaključka, bilo zbog deformacije dijelova ili samo pogrešne interpretacije. Također, ukoliko je potrebno napraviti dimenzijsku kontrolu pojedinih komponenti u unutrašnjosti proizvoda, riskira se oštećenje istih, što može predočiti u potpunosti krivu sliku o funkcionalnim dimenzijama komponenti.

Iz navedenih razloga, kompjuterizirana tomografija nameće se kao bolja alternativa za analizu kompleksnih sklopova i podupire digitalnu transformaciju postupaka kontrole kvalitete.

2 KOMPJUTERIZIRANA TOMOGRAFIJA

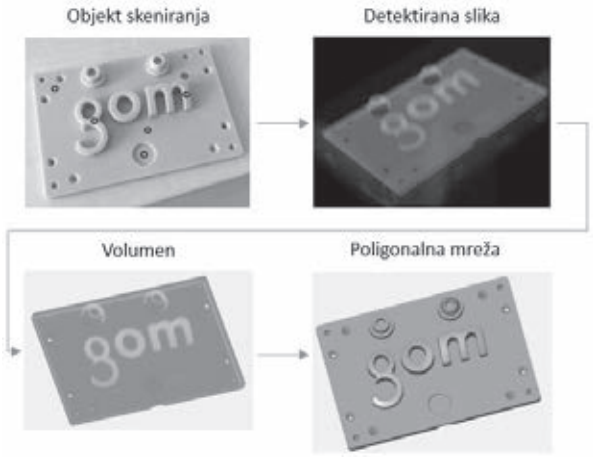
CT sustavi na tržištu sastoje se od 3 ključna elementa: izvora zračenja, rotacijskog stola, i detektora zračenja. (*Slika 1*)



Slika 1: Glavni elementi industrijskog CT uređaja

Izvor zračenja generira rendgenske zrake, koje prozračuju objekt skeniranja, čime se prigušuju, i zatim završavaju na detektoru. Prigušenost rendgenskih zraka koje završe na detektoru ovisi o gustoći materijala od kojeg je objekt skeniranja proizveden, te o njegovoj debljini. Detektor zatim stvara sliku u nijansama sive boje, gdje svjetlija područja odgovaraju većem prigušenju zraka. Objekt se zatim okreće automatiziranim stolićem, te se proces ponavlja sve dok se objekt skeniranja nije okrenuo za 360°, nakon čega softver rekonstrukcijskim algoritmom spaja sve dobivene slike u prvi rezultat skeniranja, volumen. Volumen se naposlijetku može i poligonizirati,

čime se dobiva finalni rezultat CT digitalizacije, poligonalna mreža trokuta. (*Slika 2*)



Slika 2: Proces dobivanja poligonalne mreže CT tehnologijom

2.1 Prednosti CT tehnologije nad konvencionalnim metodama analize sklopa

Pomoću CT tehnologije ispitivanje postaje izuzetno precizno i nerazorno te joj upravo to daje primarnu prednost nad konvencionalnim metodama. CT-om je moguće detektirati defekte u komponentama za čiju bi detekciju konvencionalnim metodama trebalo previše vremena.

Nadalje, ponekad nije dovoljno vršiti dimenzijsku analizu na dijelovima sklopa u slobodnom stanju, već je potrebno provjeriti jesu li sve dimenzije u tolerancijama i u sklopljenom stanju.

S obzirom da su komponente sklopova često skrivene, CT je odličan alat za ovu upotrebu, a digitalni podaci omogućuju brzu i svobuhvatnu analizu.

Osim navedenog, na rezultatima dobivenim CT sustavom, uz pomoć ZEISS Inspect X-Ray softvera moguće je provesti:

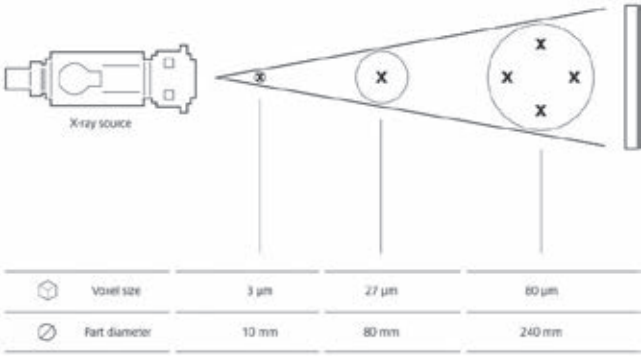
- usporedbu stvarnog proizvoda s nominalnim modelom,
- analizu poroznosti,
- analizu presjeka sklopa,
- dimenzijsku i GD&T analizu,
- analizu na presjecima proizvoda,
- analizu debljine stijenki,
- izradu mjernog izvještaja.

2.3 ZEISS Metrotom 6 Scout CT sustav

ZEISS Metrotom 6 Scout (*Slika 3*) je mjeriteljski i inspekcijski CT uređaj koji je pogodan za analizu polimernih, aluminijskih i titanovih proizvoda. Opremljen je detektorom zračenja 3k rezolucije, rotacijskim stolom koji se može pomicati u 5 osi, te izvorom zračenja snage 50 W i naponom do 225 kV.

Slika 3: TOPOMTIKA team i mjeriteljski CT ZEISS METROTOM

Uređaj ima promjenjivu rezoluciju od 3 µm do 80 µm, ovisno o udaljenosti objekta skeniranja od izvora zračenja (*Slika 4*). Ukoliko je potrebna najveća moguća rezolucija, potrebno je objekt skeniranja u potpunosti primaknuti izvoru zračenja. Ukoliko je pak potrebno skenirati veći proizvod, potrebno je objekt skeniranja primaknuti detektoru zračenja. Maksimalni mjerni volumen sustava je Φ240 mm x 400 mm.



Slika 4: Promjenjiva rezolucija ZEISS Metrotom 6 Scout CT uređaja

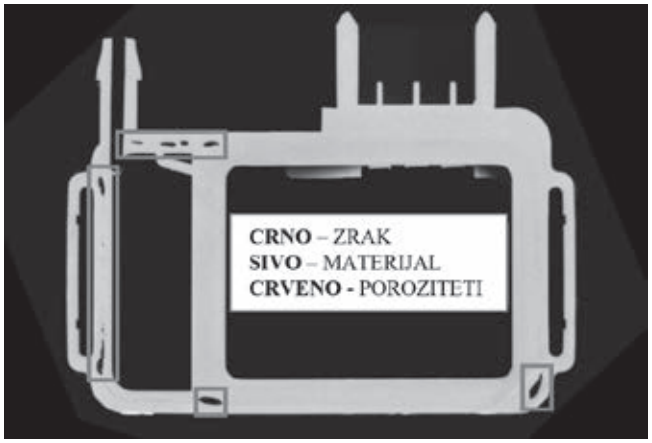
Nadalje, upravljanje sustavom je u potpunosti integrirano u ZEISS Inspect X-Ray, što znači da je moguće i upravljati CT-om i analizirati rezultate u jednom softveru.

2.4 Rezultati CT skeniranja

Postoje dvije vrste rezultata CT skeniranja, a to su volumen i poligonalna mreža trokuta.

Volumen je prvi rezultat skeniranja i on sadrži kompletne podatke o unutrašnjosti proizvoda.

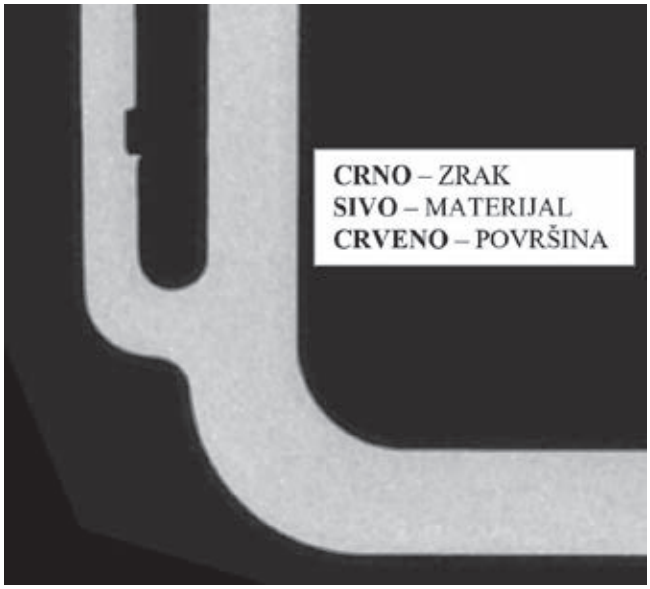
Volumen se sastoji od voxela, a veličina voxela ovisi o rezoluciji skeniranja koja je spomenuta u poglavlju 2.3. Volumen se najčešće koristi samo za vizualnu kontrolu unutrašnjosti proizvoda kako bi se brzo, efikasno i jednostavno detektirali unutrašnji defekti. (*Slika 5*)



Slika 5: Poroziteti vidljivi na volumenskom presjeku

Poligonalna mreža trokuta (STL) je rezultat digitaizacije koji je dobiven poligonizacijom volumena. Površine definiraju sitni trokuti koji spajaju točke koje se nalaze na prijelazu iz jedne nijanse sive boje u drugu. (*Slika 6*)

Radi se o površinskom zapisu, što znači da ukoliko se dvije komponente od istog materijala dodiruju, u točkama dodira neće biti rezultata.



Slika 6: Kreiranje površine po granicama nijansi sive boje

S obzirom na navedeno, cjelokupnu sliku jednog tehničkog sklopa najbolje opisuje kombinacija STL-a i volumena, pa će se stoga u nastavku članka prikazati kako se interpretacijom obje vrste rezultata može u potpunosti analizirati tehnički sklop.

3 ANALIZA TEHNIČKOG SKLOPA (PROIZVODA) UZ POMOĆ CT SUSTAVA

Za ispravan rad svakog tehničkog sklopa, važno je da su svi dijelovi zajedno ispravno sastavljeni.

Kada to nije tako, konačan sklop ne funkcionira kako je zamišljeno. Uzrok tome su greške nastale za vrijeme sastavljanja, a nemoguće ih je vidjeti golim okom čak i uz naknadno rastavljanje i zbog toga je važno digitalizirati geometriju proizvoda.

3.1 Vizualna inspekcija

CT tehnologija omogućava brzo i nerazorno zavirivanje u unutrašnjost proizvoda radi provjere nalaze li se sve komponente tamo gdje bi one stvarno trebale biti. Pregledom volumenskih presjeka se na temelju razlika u nijansama sivih boja mogu utvrditi različiti materijali i time prepoznati različite komponente. (Slika 7)

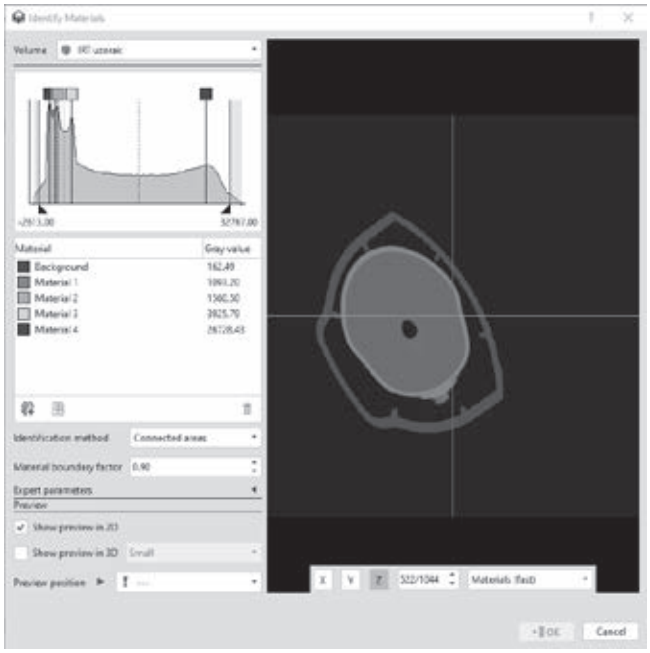
Slika 7: Različiti materijali vidljivi na volumenskom presjeku

3.2 Dimenzijska analiza

Dimenzijsku analizu komponenti moguće je provesti na STL-u i na volumenu.

3.2.1 Dimenzijska analiza komponenti na STL-u

Ukoliko postoje dovoljno velike razlike u nijansama sive boje (odnosno gustoći materijala) da se može uspješno napraviti segmentacija različitih materijala (*Slika 8*), najjednostavniji način za provedbu dimenzijske analize je softverski odvojiti komponente i provesti analizu na STL podacima.

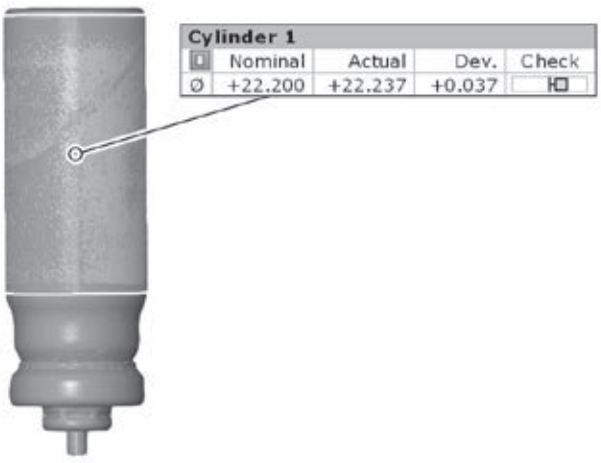


Slika 8: Segmentacija materijala tehničkog sklopa

U tom slučaju, svakoj komponenti se pridružuje jedan »Part«, u koji se može učitati CAD model iz kojeg se mogu direktno povući nominalne vrijednosti dimenzija koje želimo izmjeriti i može se napraviti usporedba stvarne geometrije s nominalnom u mapi boja.

Ovo je standardni proces provedbe dimenzijske analize tehničkih sklopova i upotrebljava se uvijek kada je to moguće.

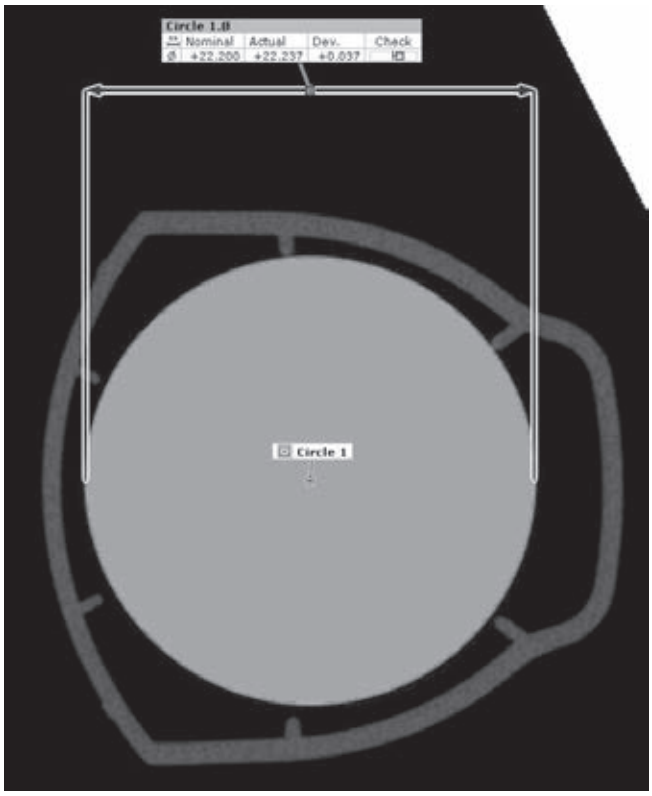
Ukoliko ne postoji CAD model za tu komponentu, moguće je ručno upisati nominalne vrijednosti dimenzija. (*Slika 9*)



Slika 9: Dimenzijska analiza komponenti na STL podacima

3.2.3 Dimenzijska analiza komponenti na volumenu

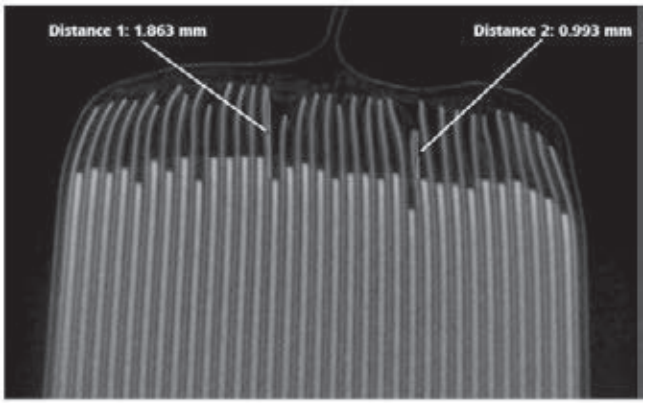
Ukoliko su komponente jako sličnih gustoća, pa stoga nije moguće provesti preciznu segmentaciju materijala, ili iz nekog razloga postoji puno artefakata (fiktivnih čestica koje ustvari ne postoje) u skenu, tada se preferira dimenzijska analiza komponenti na volumenu. U tom slučaju, odredi se nekoliko referentnih presjeka komponente koju je potrebno analizirati i na svakom od tih presjeka se izmjere tražene dimenzije. (*Slika 10*)



Slika 10: Dimenzijska analiza komponenti na volumenu

Ovaj način analize najčešće se koristi kod dimenzijske analize baterijskih ćelija, na primjer kod mjerenja »overhanga«, odnosno udaljenosti između krajeva anode i katode.

»Overhang« je kritičan parametar u evaluaciji baterijskih ćelija, jer predugačka anoda uzrokuje probleme sa kapacitetom baterija, a prekratka anoda uzrokuje probleme sa starenjem baterija [1] (*Slika 11*)



Slika 11: Mjerenje »Overhanga« baterijske ćelije [1]

3.3 GD&T analiza

S obzirom na činjenicu da je CT-om moguće skenirati kompletnu geometriju proizvoda, moguće je provesti GD&T analizu i na oku nevidljivim površinama, što uključuje i skrivene komponente tehničkih sklopova.

U programskom paketu ZEISS Inspect X-Ray moguće je evaluirati Toleracije oblika u skladu s međunardnim standardima ISO 1101 i ASME Y14.5M kao što je plošnost (engl. *Flatness*) ili kružnost (engl. *Roundness*). (*Slika 12)*

Slika 12: Primjer mjerenja profila površine medicinskog inhalatora [2]

3.4 Analiza defekata

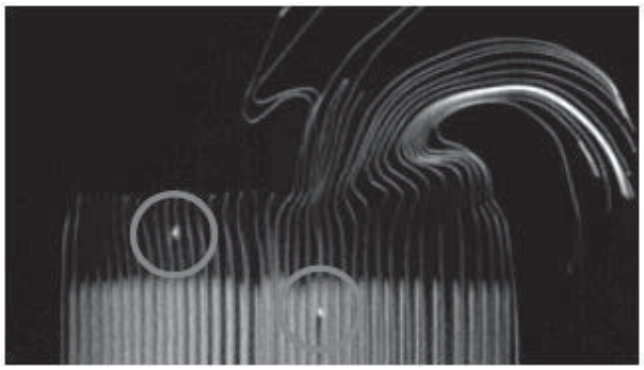
Defekti u unutrašnjosti proizvoda česta su pojava kod proizvodnje polimera, lijevanja metala ili sastavljanja sitnih dijelova u konačni proizvod.

Najčešće su to zaostali mjehurići zraka kod lijevanja (slika 14), pukotine stijenke odljevaka

zbog neispravnog hlađenja, uključine tehničkih nečistoća (slika 13), nehomogenost materijala pa i deformacija stijenki proizvoda.

3.4.1 Vizualna kontrola defekata

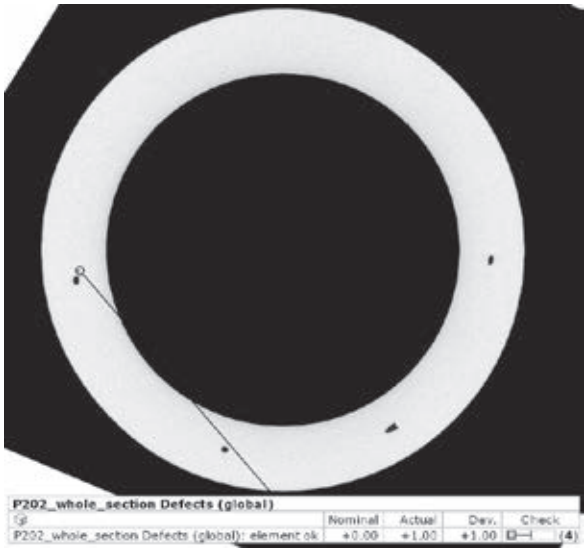
Ukoliko u nekom tehničkom sklopu ne smije biti nečistoća, to je moguće provjeriti vizualnom kontrolom presjeka. (*Slika 13*)



Slika 13: Provjera tehničke čistoće baterijske ćelije [3]

3.4.2 Analiza poroznosti komponenti

S obzirom da se komponente mogu segmentirati na temelju različitih nijansi sivih boja, moguće je provesti kompletne analize poroznosti samo pojedinih komponenti koje su tolerirane na poroznost. Analizu poroznosti moguće je provesti po P201 (S*lika 14*) i P203 preporukama.



Slika 14: Analiza poroznosti komponente po P201 preporuci

4 SKLEP

Digitalna transformacija u proizvodnji je jasna: budućnost proizvodnje temelji se na podacima o proizvodu koji su golom oku vidljivi i nevidljivi.

Ti podaci omogućuju fizičku promjenu i poboljšanja proizvodnih procesa, a samim time i proizvoda. Za početak digitalne transformacije jedna od prvih promjena trebala bi biti premještanje 2D procesa u 3D svijet s digitalnim blizancima stvarnog proizvoda.

Za određene postupke u kontroli kvalitete nisu dovoljni samo vješti zaposlenici, jer golim oko ne mogu zaviriti u gotove proizvode. Nužno je koristiti i pomoć suvremenih uređaja i alate koje nudi digitalna transformacija.

Slijedom navedenih primjera, zaključujemo da su najnoviji ZEISS METROTOM CT X-Ray sustavi sposobni digitalno pomoći u pravovremenom otkrivanju defekata i provjeri dimenzija koji mogu uzrokovati veliku štetu proizvođačima. Bilo da radi o brzoj provjeri na volumenskom presjeku ili detaljnim mjerenjima na poligonalnoj mreži trokuta.

Viri:

[1] Technical paper: Industrial Computed Tomography (CT) Solutions for Battery Cell Inspections, ZEISS
[2] www.gom.com
[3] Battery Deep Dive – From energy to eMotion, ZEISS

ZMANJŠANJE STROŠKOV Z UPORABO NAMENSKEGA ORODJA IN PONOVNIM BRUŠENJEM

Branko UŠAJ, Grega BOH
BTS Company d.o.o.

IZVLEČEK

Vse veča konkurenca in zahteve naročnikov spodbujajo neprestani razvoj in iskanje rešitev na področju skrajševanja časa izdelave izdelkov in vzorčnih serij. S pravilno izbiro tehnologije izdelave in rezilnega orodja dosežemo zelo kakovostno obdelavo ter zelo ugodno razmerje med kakovostjo obdelave in ceno orodja. Na to vplivajo različni dejavniki katerih vpliv moramo poznati in upoštevati za vsak posamezen primer obdelave posebej. Pogosto se na primer srečamo s težavo pomanjkanja zmogljivost shranjevanja orodij v stroju, velikim številom menjav orodji med obdelavo, ki predstavljajo dodaten čas obdelave in posledično zvišujejo ceno proizvoda ter zmanjšujejo konkurenčnost. Rešitev je uporaba namenskega orodja s katerim z enim orodjem izvedemo več operacij istočasno. S tem dosežemo manjše število potrebnih orodij za izdelavo izdelka, manjše število menjav orodij in posledično bistveno nižjo proizvodno ceno in večjo konkurenčnost. V veliko primerih se nam pojavi tudi potreba po namenskem orodju iz HSS ali karbidne trdine. Uporaba brušenja s sistemom MAC pri izdelavi vzorcev in začetnih serij, kjer je potrebno veliko hitrih in preciznih dodelav rezilnega orodja, pa tudi pri obnovi le tega predstavlja idealno rešitev in bistveno zniža stroške predelave rezilnega orodja. Z uporabo kvalitetnega namenskega orodja in dodelavo s pomočjo sistema MAC lahko dosežemo zelo kvalitetno obdelavo in krajše čase obdelav. To vodi v manjšo porabo energije in manjši vpliv obdelav na vreteno stroja, kar vpliva na podaljšanje življenjske dobe vretena stroja.

1. UVOD

Pri izbiri tehnologije obdelave in orodja za aplikacijo, lahko z uporabo orodij izdelanimi po meri bistveno izboljšamo konkurenčnost. Pri nekaterih obdelavah s standardnim rezilnim orodjem ne dosežemo željene učinkovitosti. S pomočjo specialnega rezilnega orodja izdelanega po meri lahko združimo več obdelovalnih operacij. S tem bistveno skrajšamo čas obdelave, izboljšamo kakovost obdelave in posledično zmanjšamo stroške procesa. Orodja izdelana po meri so nepogrešljiva pri serijski proizvodnji npr. v avtomobilski industriji, kjer je cilj znižati strošek orodja na kos ali skrajšati časa cikla. Skrajšanje časa obdelave oz. strojnih ur prinaša največji skupni prihranek.

2. PREDNOSTI UPORABE NAMENSKIH ORODIJ

Strojna obdelava v sodobnih proizvodnih procesih postaja vse pomembnejša. To velja tako za velikoserijsko proizvodnjo kot tudi za manjše serije. Geometrijsko prilagojena orodja naredijo proces obdelave bolj produktiven in predvidljiv. Kombinirano orodje je dobrodošlo tudi v primerih, ko imamo omejeno število orodnih mest v zalogovniku orodja ali revolverski glavi. Pri razvoju namenskih orodij je pomembno razmišljati izven okvirjev, saj poseben čar ni le v prednostih glede časa obdelave in kakovosti površine, temveč tudi v kombinaciji več stopenj obdelave v eni zasnovi orodja. Če so postopki obdelave z različnimi dolžinami in premeri orodja ali celo postopki vrtanja in rezkanja združeni v eni orodni rešitvi, vodi to do skrajšanja časa obdelave in menjave orodja, prihranka prostora v zalogovniku orodja ter zelo velikega končnega prihranka pri obdelavi.

3. IZBIRA USTREZNEGA NAMENSKEGA ORODJA

Ko gre za iskanje pravega orodja za posebne primere obdelav smo skupaj z našimi poslovnimi partnerji in dobavitelji nedvomno strokovnjaki, ki s svojimi izkušnjami in celovitim strokovnim znanjem postavljamo trende na trgu. Naš moto je:

največja zmogljivost z optimalno stroškovno učinkovitostjo, celostni pristop, tehnično znanje in dosledna usmerjenost k strankam. Sam proces izdelave specialnega orodja poteka po naslednjih korakih:

- Z izkušenim tehnologom **določite cilj** obdelave
- Pregled načrta izdelka z **dimenzijami in tolerancami**.
- Določitev **tehnologije obdelave** in **zasnova geometrije** orodja po meri.
- BTS komercialist vam predstavi **prednosti** specialnega orodja in predvidene **prihranke**.
- Sledi **ponudba** za izdelavo orodja, kjer je določena cena in dobavni rok.
- V zaključni fazi opravimo **test specialnega orodja** na vašem stroju.

4. PKD ORODJA

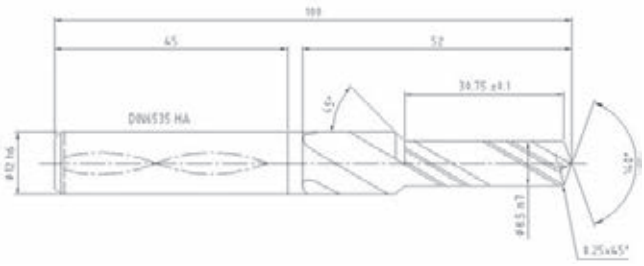
Orodja z rezalnimi materiali iz PKD so prva izbira, ko gre za rezanje aluminija. Za rezalne robove iz poli-kristalnega diamanta (PKD) je značilna velika trdota in visoka odpornost proti obrabi. Skupaj s telesom orodja omogočajo rezanje z nizkimi tresljaji in visoke rezalne hitrosti. Zagotovljena je največja geometrijska kakovost in dimenzijska natančnost skupaj s prvovrstno kakovostjo površine. Oblikovanje orodij PKD je poseben izziv. Zahvaljujoč optimalni kombinaciji rezalnega materiala in geometrije rezalnih robov, orodja PKD dosegajo idealne procese in tako izpolnjujejo najvišje zahteve pri obdelavi komponent, kot so ohišja menjalnika, bloki cilindrov, črpalke ali ohišja motorja. Omogočajo zelo visoke hitrosti rezanja in zagotavljajo najvišjo geometrijsko točnost in dimenzijsko natančnost in odlično kakovost površine. Visoka odpornost proti obrabi zagotavlja tudi dolgo življenjsko dobo orodja. Ne glede na to, ali gre za rezkalo, enostopenjsko ali večstopenjsko vrtalno orodje ali orodje za fino vrtanje ali povrtala: po meri izdelana orodja PKD zagotavljajo najvišjo raven zmogljivosti, stroškovne učinkovitosti in zanesljivosti postopka ter so zato optimalna rešitev za avtomobilsko industrijo, splošno strojništvo in tudi manjše serije. Proizvodnja poteka po najsodobnejših standardih in temelji na inovativnih tehnologijah in procesih. Lahka konstrukcija orodij postaja vse bolj pomembna zaradi velikih premerov komponent - primer so ohišja pogona in statorja na področju e-mobilnosti. Orodja z manjšo maso so bolj stabilna in zagotavljajo natančno obdelavo z zmanjšanimi vibracijami. Predhodna in končna obdelava rezalnih robov PKD z laserjem ter laserska vodila ali lomilci odrezkov zagotavljajo procesno zanesljiv nadzor odrezkov. Orodja lahko naknadno prebrusimo ali nalotamo nova PKD rezila.

Slika 1. PKD namensko orodje

5. NAMENSKA ORODJA IZ KARBIDNE TRDINE

Z uporabo specialnih rezilnih orodij, ki so prilagojena posameznim projektom lahko združimo obdelovalne operacije in opravimo več rezilnih operacij v enem prehodu. S tem dosežemo visoko učinkovitost, izkoriščenost stroja in tako posledično zmanjšamo stroške proizvodnje, ki jih zahteva zamudna menjava različnih standardnih orodij za isto operacijo. Taka orodja so nepogrešljiva pri serijski proizvodnji npr. v avtomobilski industriji, kjer je cilj znižati strošek orodja na kos ali skrajšanje časa cikla. Idealna rešitev so tudi v orodjarstvu kjer je potrebno prilagoditi, obliko in geometrijo orodja, pri aplikacijah kjer je potrebno izdelati posebne tolerančne detajle in drugih aplikacijah. Tak primer je izdelava namenskih svedrov za izdelavo tolerančnih izvrtin brez povrtavanja. Za izdelavo tolerančnih izvrtin potrebujemo namenski sveder

izdelan po naročilu. Kot primer naj navedem vrtanje izvrtin premera 8 mm s toleranco -0,017mm/-0,032mm. Za izdelavo takih izvrtin se uporablja namenski sveder 7,98. Sama življenska doba svedra je odvisna od dejanskega premera svedra in preciznosti izdelave. Zelo pomembno je v katerem območju tolerance začne sveder vrtati. Bolj kot je začetna izvrtina bliže zgornji meji tolerance, daljša je življenska doba svedra.



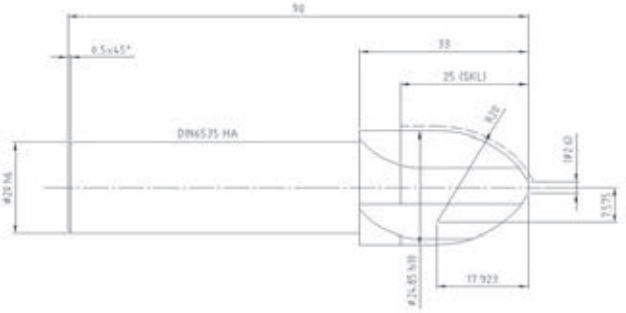
Slika 2. Namenski sveder

Izdelamo lahko:

- Vrtljiva rezalna orodja s cilindričnim steblom
- Svedri – rezkalna orodja – grezila – povrtala
- Razpon premera: Ø 2 mm – Ø 90 mm
- Največja skupna dolžina orodja: 380 mm
- Največji premer stebla: Ø 32 mm

6. OBLIKOVNA FREZALA IZ LKARBIDNE TRDINE

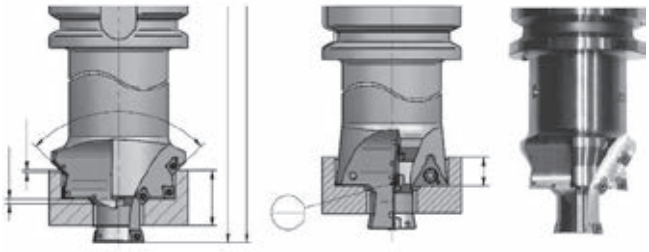
Rezkanje oblik je zelo pomembno področje. Razne oblike lahko izdelamo s standardnimi frezali. V veliko primerih smo prisiljeni določen detajl izdelati z uporabo 3D rezkanja. Tak način obdelave je zamuden, traja lahko več ur še posebej v primerih, ko je predpisana kvaliteta obdelane površine. V velikoserijski proizvodnji je tak postopek zelo drag, zamuden in posledično nekonkurenčen. Zato s pomočjo izkušenih strokovnjakov z dolgoletnimi strokovnimi izkušnjami razvijamo orodne rešitve, ki omogočajo zanesljive, hitre in visokozmogljive rešitve. Visokokakovostna oblikovna frezala so prilagojena posameznim projektom, z njimi dosegamo visoko učinkovitost obdelav ter povečamo konkurenčno prednost.



Slika 3. Oblikovno frezalo

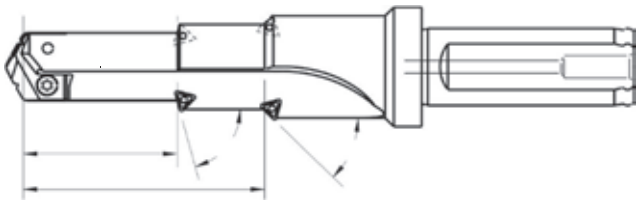
7. NAMENSKA ORODJA NA PLOŠČICE

Geometrijsko prilagojena orodja naredijo proces obdelave bolj produktiven in predvidljiv. Pri razvoju namenskih orodij je pomembno razmišljati o najbolj uporabni in ekonomični rešitvi. V veliko primerih se zato odločamo za razvoj in uporabo orodij na izmenljive ploščice. Možnosti uporabe in aplikacij je zelo veliko. Primer je namensko razvito orodje za končno obdelavo odkovka, kjer izvajamo povrtavanje, izdelavo sedeža ležaja in posnetje. Za aplikacijo je stranka prvotno uporabljala pet orodij. T razvojem namenskega orodja in implementacijo v proizvodnjo smo kos izdelali z enim orodjem ter skrajšali čas obdelave iz 10 minut na 1 minuto.



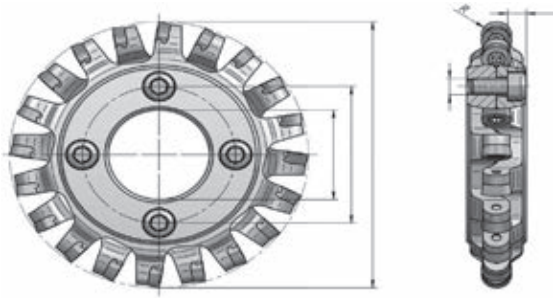
Slika 4. Namensko orodje na ploščice

Za potrebe aplikacije vrtanja kjer je potrebno izdelati posebne oblike in posnetja lahko razvijemo in implementiramo stopenjske svedre na ploščice. S tem na primer tri standardna orodja nadomestimo z enim in bistveno skrajšamo čas izdelave izdelka.



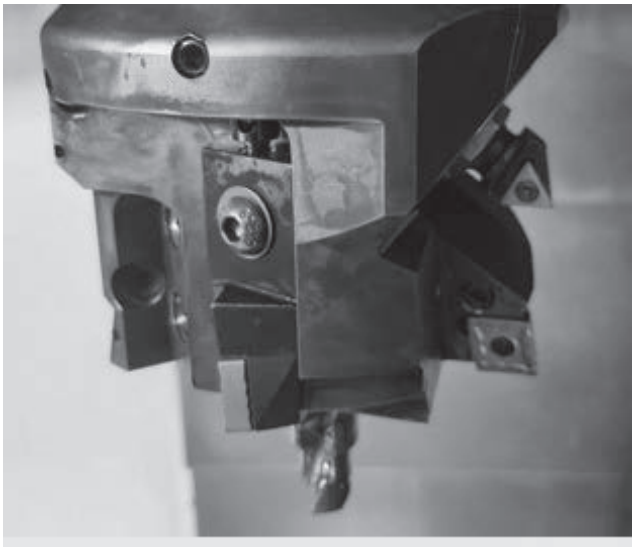
Slika5. Stopenski sveder na ploščice

V veliko primerih lahko za izdelavo pogojno uporabimo standardno orodje vendar imamo zaradi geometrije samega standardnega orodja težave s kvaliteto, obremenitvami in časom obdelave. Razvili smo dvokomponentno kolutno rezkalna glavo za izdelavo utorov na pogonskih valjih, ki se obdelujejo na CNC stružnici Doosan Puma 5100LYB. Rezultat razvoja in uporabe namenske rezkalne glave je bil, da smo dosegli manjše obremenitve pri obdelavi, boljše obdelane površine ter bistveno skrajšanje časa izdelave iz 45 minut na 8 minut.



Slika 6: Dvokomponentna rezkalna glava

Pri veliko serijskih proizvodnjah se pogosto srečujemo s problematiko stabilnosti in lastnosti materialov, ki posledično vplivajo na kvaliteto obdelave. Materiali in odlitki pogosto odstopajo od sarže do sarže, čeprav imajo enako specifikacijo. Ta odstopanja lahko vplivajo na doseganje zahtevanih toleranc. Posledično je potrebno uporabljati korekcije orodja. V ta namen smo razvili namensko orodje pri katerem so grobe obdelave fiksne in fine obdelave nastavljive na istem orodju. S tem smo uspešno rešili problematiko nestabilnosti sarž materialov.



Slika7 Namensko orodje s fino nastavitvijo

8. ORODJA IZ CERMETA

Novost pri namenskih orodjih so rezilna orodja pri katerih uporabljamo cermet. Ker imajo cermeti visoko trdoto in odpornost proti obrabi, so zaradi tega primerni za hitro obdelavo. Orodja imajo daljšo življenjsko dobo v primerjavi z drugimi orodji. Zaradi svoje robustnosti in visoke odpornosti proti trenju imajo zelo dolgo obstojnost. Zato jih lahko uporabljamo pri visokih rezalnih hitrostih, kar bistveno skrajša čas obdelave. Z orodji iz cermeta tudi zagotavljamo natančno in odlično končno obdelavo površine obdelovanca. Zaradi teh lastnosti orodij zmanjšamo potrebo po pogostosti menjave orodij, kar prihrani čas in poveča produktivnost. Orodja lahko tudi obnavljamo.

9. DODELAVA REZILNEGA ORODJA

Stalen razvoj izdelkov in vse večje zahteve kupcev po hitri odzivnosti na tehničnih spremembah izdelkov nas vodijo k iskanju novih rešitev na področju obdelav. Med te rešitve spada tudi dodelava orodja. Včasih potrebujemo enostavme dodelave kot so sprostitev določenih površin, včasih je potrebno dodelati posamezen detajl ali samo popraviti določeno dimenzijo orodja. Pošiljanje orodja na dodelavo je lahko zelo zamudno saj je v večini primerov čas dodelave orodja iz karbidne trdine bistveno krajši od same logistike pošiljanja. V veliko primerih, ko je

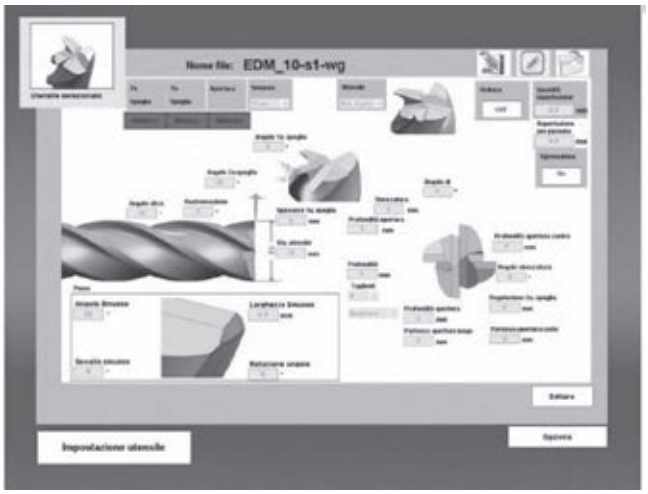
potrebno na primer samo sprostiti steblo orodja se poslužujemo ročne dodelave na klasičnih brusilnih strojih. Res je, da smo s tem, ko smo ročno sprostili steblo rešili težavo, vendar smo s tem tudi posledično povzročili debalans orodja. S tem pa smo povzročili vibracije pri delu na večjih obdelovalnih hitrostih, kar vpliva na kvaliteto obdelave, življenjsko dobo rezilnega orodja in posledično tudi življenjsko dobo vretena.

10. REŠITEV Z UPORABO STROJA MAC

Storitve brušenja in nanosa prevleke navadno trajajo teden dni ali več. Prav tako, pri veliki porabi rezilnega orodja predstavljajo velike stroške. Z uporabo brusilnega stroja se lahko temu izognemo. S strojem lahko hitro in natančno nabrusimo orodje, mu spremenimo geometrijo in ga optimiziramo za boljše delovanje ter prilagodimo potrebam aplikacije. Stroj Italijanskega proizvajalca Cuoghi serije MAC26 ima 4 osi. Dve osi se premikata linearno in sicer X ter Y. X os predstavlja premik motorja, Y os predstavlja pomik brusa. Rotirajoči osi sta os C in A. Os C obrača celoten motor, os A pa se vrti neskončno in predstavlja rotacijo samega rezalnega orodja. Delovno območje brusilnega stroja omogoča brušenje rezalnega orodja do premera 26 mm in dolžine 250 mm.

Slika 8. Brusilni stroj MAC

Stroj je s svojim programskim paketom zelo enostaven za uporabo. Programski paket stroja s 3D prikazom ponuja standardne programe vseh najbolj razširjenih geometrij rezalnih orodij. Med te spadajo svedri, frezala, grezila, povrtala, navojno orodje, stopničasti svedri, itd. Za brušenje orodja ni potrebno neko ročno programiranje stroja. Potrebno je le znanje operaterja o geometriji rezalnega orodja. Če želimo neko orodje nabrusiti je sprva potrebno izbrati pravo geometrijo. Le to lahko operater izbere sam, glede na operacijo oziroma glede na originalno geometrijo orodja. Z izbiro prave geometrije in vnosa pravega premera orodja bo stroj samostojno nabrusil orodje do prave oblike. To omogoča zelo precizno električno tipalo, ki pred brušenjem določi pozicijo orodja. S tipalom stroj avtomatično predhodno določi geometrijo in pozicijo orodja npr. dolžino izpetja, premer orodja, pozicijo rezalnega robu, kot spirale, oplet orodja, itd. Na podlagi predhodno izmerjenih pozicij, stroj v obdelovalnem območju prepozna orodje in točko za pričetek in konec operacije. Vse izmere na tipalu so zelo pomembne, saj stroj omogoča natančnost do +/- 0,005 mm. Stroj tega tipa vsebuje programsko opremo z najbolj razširjenimi profili svedrov na trgu. Z izbiro pravega profila orodja je programska koda na stroju že določena.



Slika 9. Programiranje brušenja frezala

11. VPLIV BALANSIRANJA NAMENSKEGA ORODJA NA OBDELAVE

Mirno in uravnoteženo delovanje orodij in drugih rotacijskih teles zelo pomembno vpliva na obdelavo. Nepogrešljivi so tudi inteligentni

sistemi za uravnoteženje. Balansiranje je kompenziranje neenakomerno razporejene mase na vrtečem se kosu. Debalans povzroča centrifugalno silo, ki vpliva na:

- Življenjsko dobo vretena stroja (povečana obremenitev ležajev)
- Oplet orodja, kar pomeni preobremenitev določenih rezalnih robov. Na primer pri precizni obdelavi obdelava s predpisanim pomikom 0,02 mm/vrt in z debalansom 0,01 mm lahko povzroči dvojni pomik na rezilnem robu.
- Oplet orodja, kar pomeni slabšo obdelavo
- Zmanjševanje predpisanih parametrov

Balansirati je potrebno vedno, ko se pojavi ena od teh situacij:

- Pri delovnih hitrostih nad 8000 min^{-1}
- Za nesimetrične rotorje
- Pri uporabi trdih rezalnih ploščic (npr. keramika, CBN, PKD)
- Za stroje s keramičnimi ali hibridnimi ležaji

Na balansirnih napravah balansiramo sestav vpenjalnih trnov (z vlečnimi vijaki) in rezilnega orodja.

Balansiranje lahko izvajamo na več načinov:

- z dodajanjem materiala
- z odvzemanjem materiala
- s spreminjanjem težišča (z balansirnimi obroči)

12. ZAKLJUČEK

Vse večja konkurenca in zahteve naročnikov spodbujajo neprestan razvoj in iskanje rešitev na področju skrajševanja časov izdelave izdelkov in vzorčnih serij. S pravilno izbiro tehnologije izdelave in s pravilno izbiro rezilnega orodja dosežemo zelo kvalitetno obdelavo ter zelo ugodno razmerje med kvaliteto obdelave in ceno orodja. S pomočjo specialnega rezilnega orodja izdelanega po meri lahko več obdelovalnih operacij obdelamo z enim orodjem. S tem povečamo produktivnost, izboljšamo kakovost obdelave in posledično zmanjšamo stroške obdelave. Orodja izdelana po meri so nepogrešljiva pri serijski proizvodnji npr. v avtomobilski industriji, kjer je cilj znižati strošek orodja na kos ali skrajšati časa cikla. Skrajšanje časa obdelave oz. strojnih ur prinaša največji skupni prihranek. Ko gre za iskanje pravega orodja za posebne potrebe smo skupaj z našimi poslovnimi partnerji in dobavitelji nedvomno strokovnjaki, ki s širokim strokovnim znanjem o orodjih postavljamo trende na trgu. Naš moto je: največja zmogljivost z optimalno stroškovno učinkovitostjo, celostni pristop, tehnično znanje in dosledna usmerjenost k strankam.

Viri:

Interno gradivo
https://www.bts-company.com/

OPTIMIZACIJA HITRE IZDELAVE ORODIJ ZA BRIZGANJE

Blaž NARDIN, Marko VERČKOVNIK, Silvester BOLKA
Fakulteta za tehnologijo polimerov

IZVLEČEK

V prispevku bomo predstavili evolucijo orodij za brizganje natisnjenih s tehnologijo selektivnega laserskega sintranja poliamida 12. Na Fakulteti za tehnologijo polimerov za brizganje prototipov in demonstratorjev uporabljamo 3D natisnjene orodne vložke s tehnologijo SLS. Glavna prednost takšne izdelave orodnih vložkov je kratek čas izdelave in praktično brez potrebne dodelave, kar je pogosto potreben korak pri kovinskih orodnih vložkih. Tako kot ostale tehnologije izdelave orodnih vložkov, ima tudi SLS tehnologija svoje slabosti. Glavna slabost je velik delež materiala, ki ostane po SLS tiskanju. Na FTPO smo ta problem rešili tako, da za SLS tisk uporabljamo izključno recikliran PA12 material. Naslednje slabosti so, da brizganje v orodne vložke izdelane s SLS tehnologijo zahteva zelo dolge čase hlajenja, da je velika abrazija orodnega vložka predvsem v področju dolivka in da smo močno omejeni s temperaturno obstojnostjo takšnega orodnega vložka. Odločili smo se, za postopno odpravljanje slabosti in sicer smo najprej rešili problem dolgega časa hlajenja z uporabo kovinskega inserta na spodnji strani orodnega vložka. Naslednji korak je bil uporaba orodnega vložka v področju dolivka, s katerim smo drastično podaljšali življenjsko dobo orodnega vložka. Za dvig temperaturne obstojnosti pa trenutno izvajamo teste s kompozitnim materialom, ki ga razvijamo skupaj z dobaviteljem recikliranega PA12 materiala.

1 UVOD

Postopek 3D tiskanja je pridobil veliko pozornosti zaradi svoje zmožnosti izdelave zapletenih geometrij in hkrati možnosti uporabe recikliranih termoplastov. Kombinacija recikliranih termoplastov in polnil ima potencial za kreiranje izdelkov z visoko trdnostjo ki so manj obremenjujoči za naše okolje [1]. Slabost 3D natisnjenih orodnih vložkov iz zamreženih duroplastov je njihova krhkost, prednost pa je njihova visoka trdnost. Zaradi cikličnih toplotnih obremenitev je življenjska doba takšnih orodnih vložkov močno omejena [2]. Na FTPO smo se odločili, da bomo orodne vložke natisnili s SLS 3D tiskalnikom, najprej optimirali konstrukcijo takšnega orodnega vložka, potem pa nadaljevali v smeri modifikacije PA12 prahu za SLS 3D tiskanje v smeri višje togosti in temperaturne obstojnosti. Pri tej modifikaciji ohranjamo pristop krožnega gospodarstva, saj že sedaj uporabljamo recikliran PA12 prah, katerega nam dobavlja podjetje GS-PRO GmbH iz Nemčije in ga bomo v prihodnosti z njihovo pomočjo modificirali z odpadnimi materiali (papir, duroplasti, aluminij), da bomo dosegli višjo togost in temperatuno obstojnost.

2 EKSPERIMENTALNI DEL

2.1 Uporabljeni materiali

Recikliran poliamid 12 (rPA12) nam je dobavilo podjetje GS-PRO GmbH iz Nemčije. Iz tega materiala sta bila natisnjena orodna vložka prve in druge FTPO generacije, tretja FTPO generacija orodnega vložka je bila natisnjena z materialom PA12 dobavitelja EOS iz Nemčije. Pri drugi FTPO generaciji orodnega vložka nam je kovinski insert izdelalo podjetje Alba iz Slovenj Gradca. Pri tretji FTPO generaciji orodnega vložka je bil celoten orodni vložek izdelan v podjetju RTCZ iz Hrastnika, kovinski del so izdelali na Srednji tehniški in poklicni šoli (STPŠ) v Trbovljah. Odpadni papir nam je dobavilo podjetje Papirnica Vevče. Kompatibilizator polipropilen graftiran z maleinanhidridom (PP-g-MA) nam je dobavilo podjetje Exxon Mobil iz Belgije. Antioksidant nam je dobavilo podjetje Amik iz Italije.

Za brizganje izdelkov smo pri prvi FTPO generaciji uporabili recikliran polipropilen (rPP) z dodanimi 15 % odpadnega papirja. Pri drugi FTPO generaciji smo uporabili recikliran polipropilen (rPP) iz zamaškov plastenk z dodanimi 5 % odpadnega papirja. Material so zbrali dijaki Gimnazije Slovenj Gradec. Pri tretji FTPO generaciji smo uporabili recikliran polipropilen (rPP) iz zamaškov plastenk, ki so jih zbrali dijaki STPŠ z dodanimi 5 % odpadnega papirja. V vse tri izvedbe rPP kompozitov smo dodali 2 % kompatibilizatorja PP-g-MA in 0,5 % antioksidanta, da smo preprečili degradacijo med kompavndiranjem in brizganjem.

2.2 Priprava vzorcev

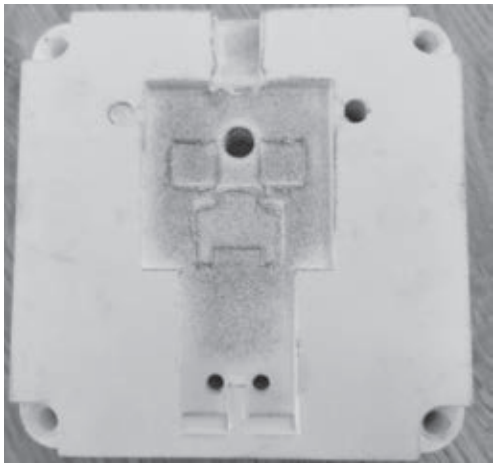
Izdelali smo tri FTPO generacije orodnih vložkov, katere smo uporabili za brizganje. Orodne vložke smo natisnili na 3D SLS tiskalniku sPRO 60 HD proizvajalca 3D Systems. Temperatura je bila nastavljena na 177 °C, debelina sloja 0,1 mm, moč laserja 19 W. Orodne vložke smo po 3D tisku odprašili in peskali in brez dodatne obdelave zmontirali v ohišje brizgalnega orodja. Pri prvi FTPO generaciji orodnega vložka smo uporabili izmetalne kote, ki so bili že uporabljeni pri kovinskem orodnem vložku, namreč 2,5°. Pri drugi FTPO generaciji orodnega vložka smo izmetalne kote povečali na 5°, pri tretji FTPO generaciji orodnega vložka pa ohranili izmetalne kote 5°.

Za vsako FTPO generacijo orodnega vložka smo pripravili termoplastični kompozit z reciklirano PP matrico ojačano z odpadnim papirjem. Vse materiale smo ločeno zmešali in ekstrudirani na dvopolžnem ekstruderju Labtech LTE 20-44. Premer polžev je bil 20 mm, razmerje L/D 44:1, obrati 600 vrtljajev na minuto, temperaturni profil je naraščal od lijaka (150 °C) do šobe (190 °C). Po kompavndiranju sta bila oba proizvedena filamenta ohlajena v vodni kopeli in narezana na granule dolžine približno 5 mm in premera 3 mm.

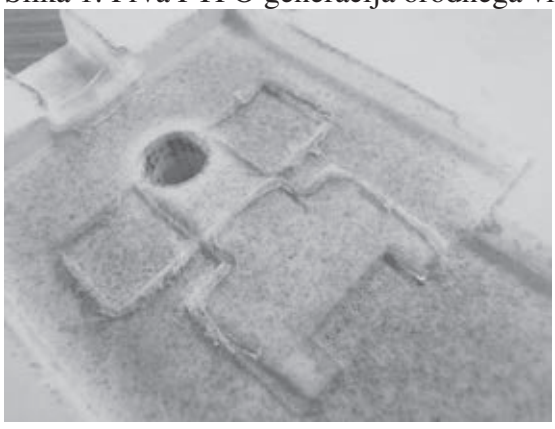
Brizganje je potekalo na stroju Krauss Maffei 50-180 CX s premerom polža 30 mm. Temperaturni profil je naraščal od lijaka (170 °C) do šobe (190 °C). Temperatura orodja je bila nastavljena na 25 °C. Protitlak je bil nastavljen na 15 barov, obrati polža pa na 60 vrtljajev na minuto. Hitrost brizganja je bila nastavljena na 50 mm/s, za zadnja 2 mm pa na 20 mm/s. Čas hlajenja je bil pri prvi FTPO generaciji orodnih vložkov 300 s, pri drugi FTPO generaciji orodnih vložkov na 150 s in pri tretji FTPO generaciji orodnih vložkov na 15 s.

3 REZULTATI

Pri prvi FTPO generaciji orodnega vložka (Slika 1) je bil le ta v celoti natisnjen na SLS tiskalniku, brez kombinacije drugih materiala oz. potrebne dodelave. Tudi luknje za izmetače in pritrditev orodnega vložka na ogrodje brizgalnega orodja smo natisnili in jih ni bilo potrebno popravljati. Omejitev pri SLS 3D tisku je le hrapavost površine, ki se odraža potem na površini brizganih kosov. Pri prvi FTPO generaciji orodnega vložka smo brez problema nabrizgali 100 kosov, potem so se na površinah, vzporednih s smerjo izmetavanja začele pojavljati nitkaste sledi zaradi premajhnega izmetalnega kota (Slika 2).

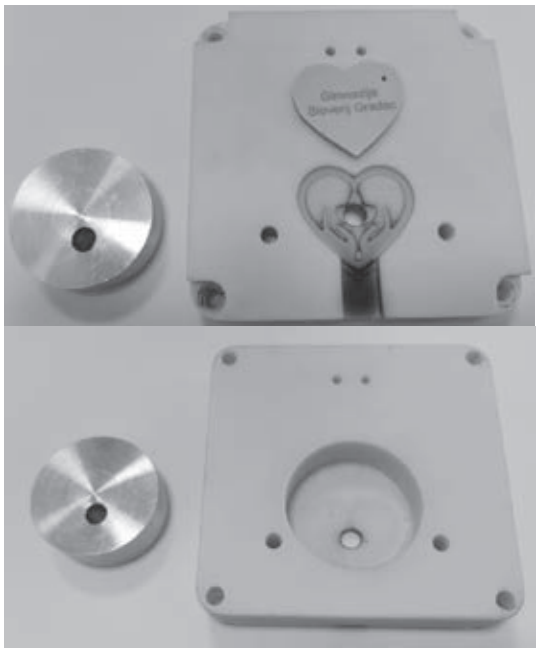


Slika 1: Prva FTPO generacija orodnega vložka



Slika 2: Poškodbe na prvi FTPO generaciji orodnega vložka

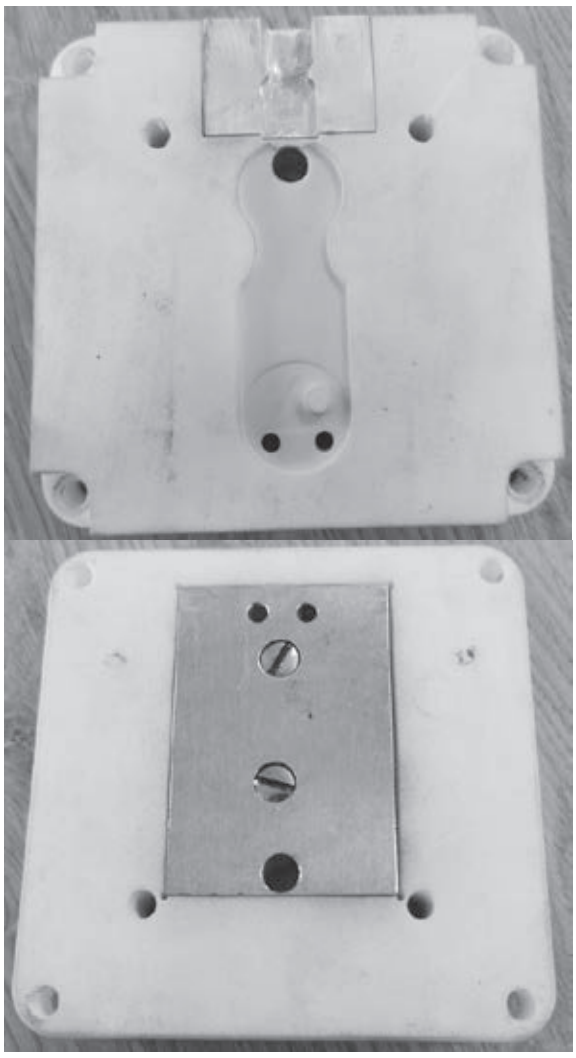
Pri drugi FTPO generaciji orodnega vložka (Slika 3) je bil le ta natisnjen na SLS tiskalniku z izpraznitvijo na spodnji strani za gravuro (spodnja Slika 3). Za izpraznitev pa je podjetje Alba izdelalo aluminijasti vložek, ki je imel tudi izpraznitev za izmetač. Da bi se izognili poškodbam kot posledica izmetavanja, smo vse izmetalne kote pri tem orodnem vložku zvišali na 5°. Pri drugi FTPO generaciji orodnega vložka smo nabrizgali 250 kosov. Poškodbe na površinah, ki so vzporedne smeri izmetavanja se niso pojavile. Pojavil pa se je drugi problem. Ker smo zaradi kovinskega inserta pod gravuro lahko skrajšali čas hlajenja, je bil dolivek, ki je bil brez kovinskega vložka, zelo vroč. Orodni vložek druge FTPO generacije se je na mestu dolivka močno pregreval. Posledično se je material temno obarval in pričela se je taliti tudi gravura (Slika 4) iz rPA12 v območju dolivka.



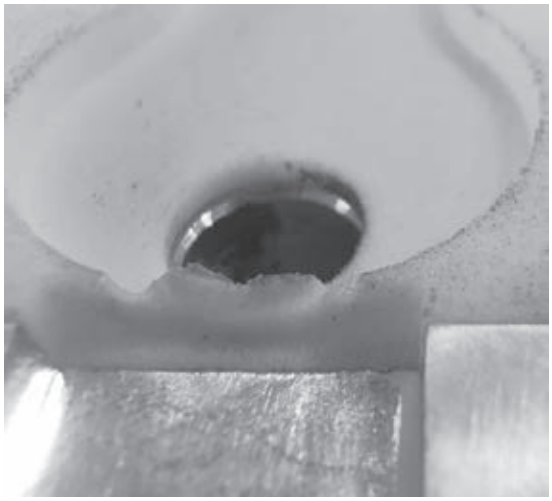
Slika 3: Druga FTPO generacija orodnega vložka

Slika 4: Poškodbe na drugi FTPO generaciji orodnega vložka

Pri tretji FTPO generaciji orodnega vložka (Slika 5) je bil le ta natisnjen na SLS tiskalniku z izpraznitvijo na spodnji strani za gravuro (spodnja Slika 5) in kovinski insert v območju dolivka. Aluminijasti vložek pri dolivnem mestu je imel gravuro dolivka, aluminijasti vložek pod gravuro je imel tudi izpraznitve za izmetače in je bil pritrjen z dvema vijakoma na SLS natisnjen orodni vložek. Ker se poškodbe kot posledica izmetavanja pri drugi FTPO generaciji orodnih vložkov niso pojavili, smo izmetalne kote pustili pri 5°. Pri tretji FTPO generaciji orodnega vložka smo nabrizgali 250 kosov. Poškodbe na površinah, ki so vzporedne smeri izmetavanja se niso pojavile, tudi v območju dolivka se orodni vložek ni obarval. Pojavil se je le problem preoblikovanja tanke stene gravure pri dolivku (Slika 6), ki je bil mehansko preveč obremenjen in se je preoblikoval.



Slika 5: Tretja FTPO generacija orodnega vložka



Slika 6: Poškodbe na tretji FTPO generaciji orodnega vložka

4 SKLEP

Preučevali smo možnosti hitre izdelave orodnih vložkov s tehnologijami, ki jih imamo na razpolago na FTPO. Brizgani izdelki iz vseh treh FTPO generacij orodnih vložkov natisnjeni s SLS tehnologijo so prikazani na Slikah 7-9.

Slika 7: Brizgan kos iz 3D SLS natisnjenega iz orodnega vložka prve FTPO generacije

Z uvedenimi spremembami pri konstrukciji orodnih vložkov smo bili uspešni pri izboljšavi funkcionalnosti vsake naslednje FTPO generacije orodnih vložkov, ki so natisnjeni z SLS tehnologijo. Z raziskavami nadaljujemo v smeri modifikacije PA12 materiala za SLS 3D tisk, da bi dosegli višjo toplotno obstojnost in hkrati tudi višjo togost in trdnost. Modifikacijo PA12 praha za SLS tiskalnik izvajamo z odpadnim duroplastičnim prahom, odpadnim papirjem in odpadnim aluminijem, tako da tudi pri modifikaciji materiala skrbimo za krožno gospodarstvo pri hitri izdelavi orodnih vložkov.

Slika 8: Brizgan kos iz 3D SLS natisnjenega iz orodnega vložka druge FTPO generacije

Slika 9: Brizgan kos iz 3D SLS natisnjenega iz orodnega vložka tretje FTPO generacije

[1] S. P. Kautilya, B. S. Dhaval, J. J. Shashikant, M. P. Kaushik, (2023), Developments in 3D printing of carbon fiber reinforced polymer containing recycled plastic waste: A review, Cleaner Materials, 9, 100207, 1-29.

[2] S. Krizsma, N. K. KOvacs, J. G. Kovacs, A. Suplicz, (2021), In-situ monitoring of deformation in rapid prototyped injection molds, Additive Manufacturing, 42, 102001, 1-8.

RAZVOJNE AKTIVNOSTI ZA ZAGOTAVLJANJE MEROSLOVNE SLEDLJIVOSTI PRECIZNIH MERITEV DOLŽIN V INDUSTRIJI

Rok KLOBUČAR, Luka ČAS, Bojan AČKO
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo,
Laboratorij za tehnološke meritve

IZVLEČEK

Naraščajoče zahteve kupcev in potrebe podjetij po izboljšanju konkurenčnosti ter doseganju večjega dobička so le ene izmed gonilnih sil, ki spodbujajo gospodarstvo k stalnemu izboljševanju kakovosti proizvodnih procesov. Pomembno vlogo pri zagotavljanju le-te imajo zanesljive in točne meritve, ki se izvajajo tako med samim proizvodnim procesom kot tudi pri procesu nadzora. Zaradi dejstva, da lahko z razvojem sodobnih tehnologij preciznega obdelovanja zahteve po točnosti obdelave določenih delov dosežejo tudi submikrometrsko raven, narašča potreba po visokokakovostnih senzorjih in merilnih instrumentih. Ob upoštevanju dejstva, da senzorji kot merilna osnova neposredno odražajo spremembe merjenih komponent, predstavlja senzorski signal enega izmed glavnih virov merilnega pogreška. V ta namen je za doseganje sledljivih meritev, ki jih je mogoče povezati na enoto SI (meter), potrebno senzorje umerjati z etaloni, ki imajo merilno negotovost vsaj pet do deset krat nižjo od dovoljenega pogreška senzorja, ki je predmet umerjanja. V Laboratoriju za tehnološke meritve Univerze v Mariboru kot nosilci državnega etalona za dolžino zagotavljamo sledljivost dolžinskih meritev na najvišji ravni v državi. Vsebina razvojnega in raziskovalnega dela temelji na rezultatih analiz meroslovnih potreb v industriji, raziskovanju in ostalih panogah. V prispevku so predstavljene najpreciznejše metode in postopki umerjanja, ki jih v razvijamo v laboratoriju za potrebe slovenske industrije in akreditiranih kalibracijskih laboratorijev. Poseben poudarek je na najnovejši metodi umerjanja preciznih senzorjev pomika, ki jo trenutno razvijamo v laboratoriju.

1 UVOD

Neprestano izboljševanje kakovosti proizvodnih procesov je ključno za ohranjanje in izboljševanje konkurenčnosti ter dobičkonosnosti podjetij. Pomembno vlogo pri doseganju tega cilja imajo točne in zanesljive meritve, ki se izvajajo tako med samim proizvodnim procesom kot tudi pri procesu nadzora kakovosti. Za dosego le-teh je potrebno zagotoviti meroslovno sledljivost merilnih instrumentov na definicijo enote meroslovne veličine.

Slednjo zagotavljamo z neprekinjeno verigo primerjav oz. umerjanj, s katerimi ugotavljamo meroslovne karakteristike merilnega instrumenta oz. etalona z referenco na višji ravni [1]. Države, ki so članice globalnega meroslovnega sistema, meroslovno sledljivost zagotavljajo preko nacionalnih inštitutov in akreditiranih laboratorijev. Kot nosilec nacionalnega etalona za veličino dolžina, Laboratorij za tehnološke meritve zagotavlja sledljivost meritev na najvišji ravni v Republiki Sloveniji.

V nadaljevanju prispevka je predstavljen omenjen laboratorij in oprema, ki jo posedujemo. Prav tako so predstavljene najpreciznejše metode in postopki umerjanja, ki jih razvijamo v laboratoriju za potrebe slovenske industrije in akreditiranih kalibracijskih laboratorijev. V zaključku je predstavljen trenutni projekt laboratorija, v katerem razvijamo najnovejšo metodo umerjanja preciznih senzorjev pomika.

2 PREDSTAVITEV LABORATORIJA

V okviru Univerze v Mariboru na Fakulteti za strojništvo že od leta 1998 deluje Laboratorij za tehnološke meritve, v nadaljevanju LTM. Laboratorij deluje v okviru slovenskega distribuiranega meroslovnega sistema v koordinaciji Urada za meroslovje RS (MIRS) in je nosilec nacionalnega etalona za veličino dolžina.

2.1 Zgodovina LTM

LTM je prvo akreditacijsko listino za izvajanje kalibracijskih dejavnosti v skladu z EN 45001

prejel leta 1997. Akreditacija je bila istočasno podana s strani Slovenske akreditacije (SA) in nizozemskega akreditacijskega organa (RvA). Sprva je bil laboratorij akreditiran samo za kalibracijo kratkih planpararelnih končnih meril - kladic (0,5 – 100) mm in komparatorjev za končna merila (0,5 – 100) mm. Obseg akreditacije je bil skozi leta večkrat razširjen in danes obsega več kot 40 postopkov kalibracije opredmetenih mer in merilnih instrumentov (po ISO 17025) [2].

2.1 Aktivnosti LTM

Na področju znanstvenega in industrijskega meroslovja je primarna naloga laboratorija vzdrževanje nacionalnega etalona za dolžino in zagotavljanje sledljivosti meritev v slovenski industriji. Delo LTM je usmerjeno v razvoj novih kalibracijskih metod in postopkov, raziskave merilne negotovosti, razvoj novih merilnih naprav ter razvoj programske podpore za izvedbo merjenj in preračunov merilnih podatkov.

Laboratorij opravlja tudi storitveno dejavnost na področjih industrijskega in znanstvenega meroslovja ter sistemov vodenja kakovosti, ki obsega umerjanje in strokovno usposabljanje. Pomemben del laboratorijskih aktivnosti je tudi pedagoška dejavnost, kjer v okviru Fakultete za strojništvo izobražujemo študente na diplomskih in podiplomskih študijskih programih [2].

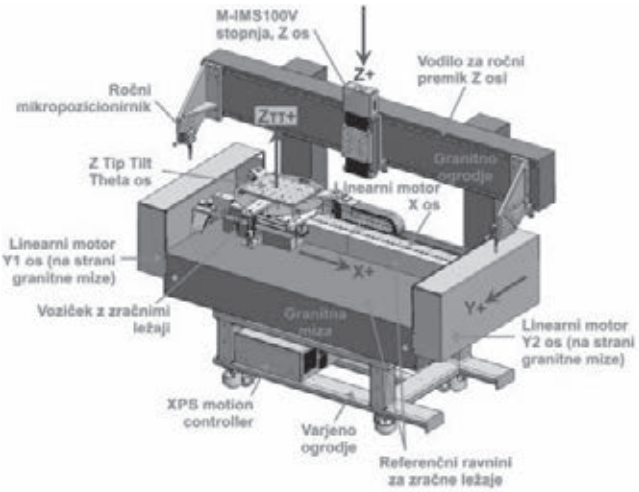
V okviru EURAMET (Evropskega združenja meroslovnih institucij) in EA (Evropske akreditacije) LTM sodeluje v mednarodnih laboratorijskih primerjavah (interkomparacijah), ki so namenjene primerjavi merilnih zmogljivosti za določeno veličino z drugimi laboratoriji na mednarodni ravni [2].

2.1 Najpomembnejša delovna oprema LTM

Pomembne prispevke k merilni negotovosti pri merjenju dolžine predstavljajo parametri okolice kot so temperatura, tlak in vlažnost. Te se v večini primerov poskuša eliminirati z nadzorovanjem okolice s pomočjo temperaturnih komor. V okviru LTM imamo dostop do takšne komore, v katerih se izvajajo vse najpreciznejše meritve. **Komora z vgrajenim sistemom za ogrevanje in hlajenje** nam omogoča nadzor temperature znotraj želenega območja (± 0,1 °C) in nadzorovanje vlažnosti prostora.

Zaradi dejstva, da komora s svojimi zmogljivostmi ne predstavlja optimalne rešitve, saj še vedno omogoča nihanje temperature zraka v določenem območju, se v večini primerov poslužujemo dodatnega merjenja temperature zraka in materiala merjenca z uporabo kontaktnih **temperaturnih senzorjev TEMP 14**. Omenjeni senzorji omogočajo temperaturno spremljanje z večjo natančnostjo ter posledično izvajanje temperaturne kompenzacije raztezkov materiala. Razširjena negotovost umerjanja teh senzorjev znaša 15 mK za materialne in 50 mK za zračne sonde [3].

Večino meritev in umerjanj v laboratoriju izvajamo na večnamenskem, večosnem, **numerično nadzorovanem manipulatorju Newport 2D** (*slika 1*), ki ga je za potrebe LTM izdelalo podjetje Newport-micro controle [4]. Manipulator omogoča premikanje v 5 oseh – 2 glavni in 3 pomožne. Njegovo jedro predstavlja granitna osnova na katero je postavljena merilna miza, ki jo je možno premikati preko dveh glavnih X in Y osi. Os X s hodom 1010 mm je gnana preko linearnega motorja, razbiranju pozicije pa služi implementiran Heidenhain LIDA 403 linearni inkramentalni dajalnik. Os Y s hodom 350 mm poganjata dva motorja, ki sta nameščena vsak na svoji strani granitne osnove in sta prav tako opremljena z Heidenhain LIDA 403 inkrementalnim dajalnikom. Manipulator nam omogoča tudi rotacijo merilne mize preko pomožnih ZTT in THETA osi, s katerima izvajamo vrtenje in določamo kot naklona merilne mize. Nad mizo stoji granitni nosilec na katerega je vpeta premična pinola, ki omogoča avtomatsko premikanje tipala v Z osi [5].



Slika 1: Newport 2D

Kot referenčni senzor za merjenje premika v LTM uporabljamo **laserski sistem HP 5528A**. Ta deluje na osnovi laserske interferometrije, ki je trenutno uveljavljena kot najbolj točna metoda za izvajanje preciznih meritev dolžin [6]. Gre za He-Ne laserski interferometer, v nadaljevanju LI, ki ga sestavljata laserska glava, namenjena generiranju žarka in interferometrska optika. Slednjo sestavlja polprepustno zrcalo in odbojna prizma, ki skupaj tvorita fiksno vejo interferometra. Pomični del, ki ga tvori druga odbojna prizma, pa se namesti na merjenec. Umerjanje opisanega LI izvajamo v LTM s primarnim etalonom (etalon frekvence), ki je priznan kot nacionalni etalon dolžine v RS [3][5].

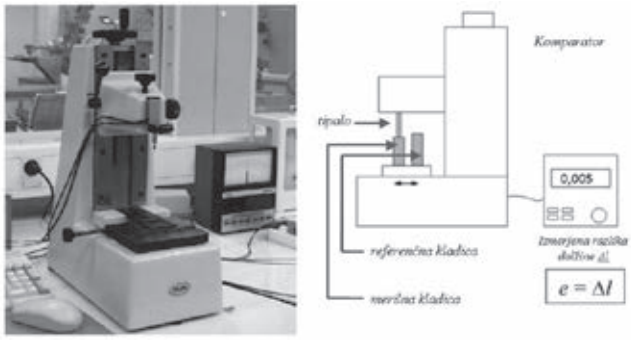
3 KALIBRACIJSKE METODE/POSTOPKI

V nadaljevanju so predstavljene najpreciznejše metode in postopki umerjanja, ki jih v LTM razvijamo za potrebe slovenske industrije in akreditiranih kalibracijskih laboratorijev.

3.1 Kalibracija merilnih kladic

Končna merila oz. merilne kladice predstavljajo opredmeteno mero dolžine med dvema vzporednima merilnima ploskvama in veljajo za osnovni dolžinski etalon v večini industrijskih podjetij. V praksi so najbolj razširjene kladice iz jekla in keramike, obstajajo pa tudi kladice iz karbidne trdnine.

Kladice z merilnim območjem (0,5 – 100) mm kalibriramo z dolžinskim komparatorjem Mahr 826 (*Slika 2*) po metodi mehanske primerjave. Z induktivnim merilnim tipalom merimo razliko med referenčno kladico in kladico, ki jo kalibriramo. Merilno območje induktivnega merilnega tipala znaša ± 2 μm, ločljivost pa 0,01 μm**.** Pred začetkom vsake kalibracije izvedemo tudi kontrolo ravnosti površin s pomočjo planparalelnega steklenega valja.



Slika 2: Naprava za primerjalno umerjanje kladic

Kalibracijo večjih kladic z merilnim območjem (125 – 1000) mm izvajamo po podobnem principu, vendar z uporabo komparatorja ULM 3000. Tako kot pri krajših kladicah tudi tukaj najprej izvedemo kontrolo ravnosti površin. Referenčno in kalibrirano kladico vstavimo v komparator, opravimo vertikalno in horizontalno izravnavo glede na obračalno točko, nato pa preko induktivnega tipala izvedemo primerjavo. Med meritvijo izvajamo sprotno meritev temperatur na vsakem koncu obeh kladic. V primeru, da temperaturna razlika med etalonoma preseže mejo 0,1 K, kalibracijo ovrednotimo kot neveljavno.

3.2 Kalibracija enokoordinatnih merilnih naprav

Enokoordinatne merilne naprave so vse vrste stacionarnih (nepremičnih) merilnih naprav (strojev) za merjenje v eni koordinati.

Kalibracijo takšnih naprav do dolžine 30 m izvajamo z laserskim interferometrom, do dolžine 1 m pa z merilnimi kladicami. Te kalibracije izvajamo praktično vedno pri uporabniku, le izjemoma kalibriramo manjše naprave tudi v laboratoriju. Razlika se pojavi pri temperaturni stabilizaciji, ki je na terenu ne moremo zagotoviti. Kalibracija se tako izvaja pri trenutnih pogojih

(temperatura, tlak), merilni rezultat pa korigira na 20 °C.

Kalibracija poteka po principu absolutne metode, kjer izmerjeno pozicijo premičnega dela primerjamo z razdaljo, ki jo pokaže laserski interferometer. Najboljša razširjena merilna negotovost (CMC) z laserskim interferometrom znaša:

$$U = \sqrt{(0{,}03\ \mu\text{m})^2 + (3{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot L)^2} \qquad (1)$$

Z merilnimi kladicami pa:

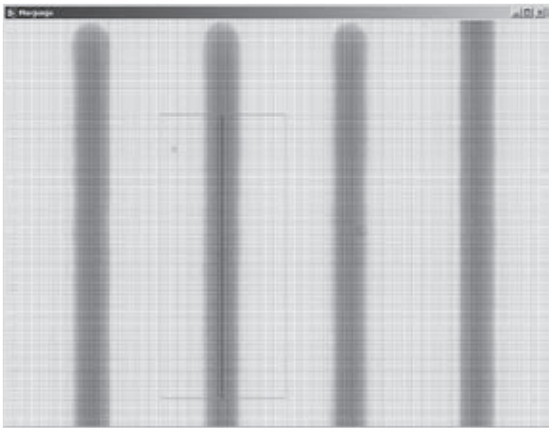
$$U_c = \sqrt{(0{,}16\ \mu\text{m})^2 + (4 \cdot 10^{-6} \cdot L)^2} \qquad (2)$$

3.3 Kalibracija črtnih meril

Črtna merila so pomembna opredmetena mera, ki se uporablja za natančno pozicioniranje ali merjenje, ali pa kot etalon za umerjanje optičnih merilnih naprav. Gre za merila iz stekla, jekla ali drugega materiala, na katerih so označene dolžine s črtnimi oznakami.

V industriji in raziskovalnih laboratorijih se jih najpogosteje uporablja kot kalibracijski etalon za zagotavljanje sledljivosti optične merilne opreme, kot so mikroskopi, profilni projektorji in digitalni 2D merilni sistemi [7]. Za namene umerjanja črtnih meril je bil v LTM razvit postopek z video tipalnim sistemom nameščenim na napravi Newport 2D, ki je namenjen kalibraciji preciznih meril do dolžin 500 mm.

Potek kalibracije poteka tako, da črtno merilo postavimo na merilno mizo manipulatorja Newport 2D. Slednji ima na Z osi postavljano monokromatsko industrijsko kamero, ki jo je potrebno predhodno fokusirati glede na črtne oznake črtnega merila, kar naredimo s premikanjem merilne mize. Pravokotno na kamero je vzporedno in soosno s črtnim merilom postavljen LI, ki stoji samostojno in služi kot referenca. Merilni cilj je določiti odstopanje med sredino črtne oznake in referenčno linijo, ki jo generiramo glede na podatke interferometra. Slednjo določimo s pomočjo vrednosti LI, sredino črtne oznake pa iščemo s pomočjo kamere (*slika 3*) in programskega algoritma kreiranega v okolju LabVIEW.



Slika 3: Prikaz zaznavanja položaja črtne oznake

Najboljša razširjena merilna negotovost (CMC) znaša:

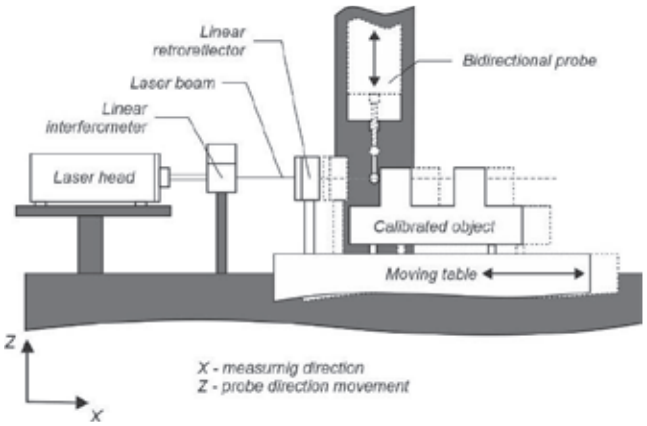
$$U_c = \sqrt{(90\ \text{nm})^2 + (1{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot L)^2} \qquad (3)$$

3.4 Kalibracija stopničastih meril

Stopničasta merila veljajo za opredmeteno mero, ki se uporablja za umerjanje koordinatnih merilnih naprav (KMN). Gre za velike artefakte iz keramike, jekla ali drugega materiala, ki vsebujejo mnogo merilnih površin. Ker lahko moderne KMN dosegajo negotovosti, ki so manjše od 1 µm, je potrebno stopničasta merila umerjati z negotovostjo, ki je vsaj pet do deset krat nižja od pričakovane merilne negotovosti KMN [3].

V LTM izvajamo kalibracijo stopničastih meril z uporabo dvostranskega induktivnega tipala Mahr 1320, ki je vpeto na Z os manipulatorja Newport 2D. Postopek kalibracije začnemo s postavitvijo (*slika 4*) in poravnavo stopničastega merila na delovno mizo Newport-a. Temu sledi postavitev optike interferometra in poravnava laserskega žarka. Kalibracijo začnemo s premikom mize, ki zapelje prvo ploskev stopničastega merila pod induktivno tipalo. Slednje se spusti do površine ploskve, nato pa z inkrementalnimi premiki mize (50 um) doseže stik s ploskvijo. Ob stiku se zabeležijo vrednosti interferometra in tipala, postopek pa ponovimo za vsako ploskev stopničastega merila. Opisana procedura je popolnoma avtomatizirana, vodenje in zajem

podatkov pa se izvaja s pomočjo programskega okolja LabVIEW.



Slika 4: Merilna postavitev za kalibracijo stopičastih meril

Posebnost pri kalibraciji stopničastih meril je sprotno izvajanje kompenzacije temperaturnih raztezkov materiala. To izvajamo s pomočjo dodatnih temperaturnih senzorjev, ki jih namestimo na merilo, nato pa preko razvitega matematičnega modela in izmerjenih temperatur izračunamo temperaturni raztezek.

Najboljša razširjena merilna negotovost (CMC) znaša:

$$U_c = \sqrt{(0,1\ \mu m)^2 + (0,5 \cdot 10^{-6} \cdot L)^2} \qquad (4)$$

4 TRENUTNI PROJEKT RAZVOJA MERILNE METODE IN INSTRUMENTA ZA UMERJANJE PRECIZNIH SENZORJEV POMIKA

V industrijski proizvodnji je moč opaziti vedno širšo uporabo preciznih senzorjev pomika, ki predstavljajo pomembno vlogo v vseh vidikih dimenzionalnega meroslovja. Gre za induktivne, kapacitivne in inkrementalne senzorje, ki se v veliki meri uporabljajo v različnih panogah proizvodnje industrije. Uporabljajo se lahko posamično kot senzorji pomika ali pa so integrirani v merilne sisteme namenjene merjenju različnih dimenzijskih značilnosti izdelkov [8].

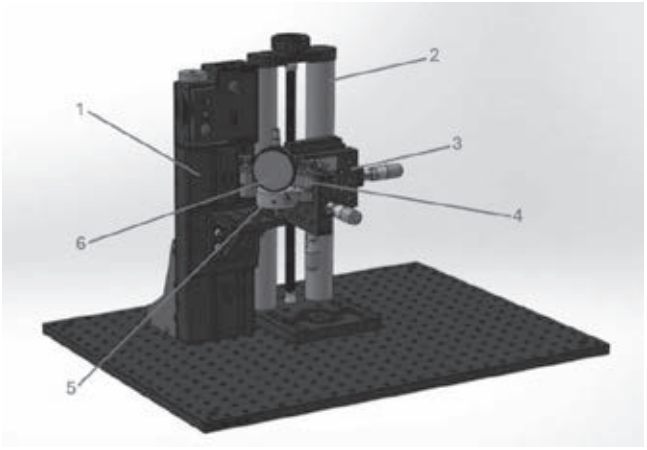
Izhodišče za raziskavo predstavlja potreba slovenske industrije in predvsem slovenskih akreditiranih kalibracijskih laboratorijev po zelo preciznem umerjanju elektronskih senzorjev pomika za merjenje dolžin do 150 mm.

V LTM smo že akreditirani za izvajanje kalibracij preciznih senzorjev pomika, vendar smo se zaradi problemov, s katerimi se soočamo pri trenutni zasnovi merilnega instrumenta odločili za izdelavo novega instrumenta in razvoj nove procedure.

Eden izmed glavnih problemov je izvedba trenutne kalibracijske procedure na večnamenski napravi Newport, ki se jo mora konstrukcijsko vsakič znova posebej prilagoditi, prav tako pa je Newport v tem času nedostopen za izvajanje drugih meritev. Poleg časovne potratnosti, ki jo zahteva takšen pristop, se soočamo tudi s slabimi možnostmi manipulacije konstrukcije, ki je potrebna za izvedbo poravnav pred meritvijo. Trenutna zasnova prav tako ni avtomatizirana, zato od izvajalca zahteva ročno vodenje in vpis rezultatov za vsako kalibracijsko točko posebej. Soočamo se tudi s problemom vibracij motorja, zaradi česar je potrebno motor izklapljati za vsako meritev posebej.

Zaradi naštetih razlogov se podajamo v razvoj samostojnega namenskega merilnega sistema. Zamislili smo si zasnovo konstrukcije merilnega sistema, ki je prikazana na *sliki 5*. Osnovo predstavlja linearno pomična mikrometrska postaja s koračnim motorjem (1), ki je vertikalno vpeta na osnovno ploščo. Vzporedno s postajo je postavljen vertikalni translacijski nosilec (2), na katerega je vpet mikropozicionirnik (3), ki omogoča mikrometrsko translacijsko premikanje v treh oseh. Na slednjega je vpeto prijemalo (4), namenjeno izvajanju rotacije tipala v treh oseh (± 5°). Vanj je vpet nosilec valjaste oblike (5) s skoznjo luknjo, v katerega s pomočjo pritrdilnega vijaka vpnemo tipalo (6), ki predstavlja predmet kalibracije.

Zamišljena procedura deluje tako, da senzor, ki ga želimo umeriti pritrdimo na umeritveno platformo, ki jo je preko pogonskega mehanizma (1) mogoče premikati v želenem območju umerjanja. Ko je senzor premaknjen, se zabeleži zaznan premik, istočasno pa se odčita vrednost referenčnega senzorja.



Slika 5: CAD model zamišljene konstrukcije

Ker je velika večina preciznih tipal (predvsem tista z večjim merilnim območjem) namenjena merjenju v vertikalni poziciji, je sistem zasnovan tako, da so tipala vpeta vertikalno. Z umerjanjem v vertikalni poziciji eliminiramo vpliv povesa tipala na merilni rezultat in merilno negotovost pri kalibraciji.

Kot referenčni senzor bomo uporabili tri-kanalni diodni laserski interferometer proizvajalca SmarAct, ki temelji na infrardeči svetlobi (1545 ± 15) nm in smo ga v LTM pridobili v okviru projekta RIUM. Gre za nov, kompaktnejši in bolj praktičen sistem napram He-Ne laserjem, ki jih trenutno uporabljamo v laboratoriju in veljajo za nekakšen zlati standard na področju dimenzionalnega meroslovja. Ključna prednost uporabljenega laserskega sistema je njegova sposobnost sočasnega merjenja v treh oseh ter hitro zajemanje podatkov. Pomembno prednost predstavlja tudi že implementirana interferometrična optika. To pomeni, da le-te ni potrebno ločeno postavljati, s čimer se izognemo potencialnim napakam, ki se lahko pojavijo pri postavljanju takega sistema.

Prav tako je potrebno omeniti, da gre za novo, še neuveljavljeno tehnologijo za katero »še« ni možno zagotoviti sledljivosti na primarni etalon s frekvenčnim umerjanjem. Zaradi cilja, da laser v merilnem sistemu predstavlja referenčni etalon, se bomo lotili raziskave, v kateri se bomo osredotočili na zagotavljanje sledljivosti preko primerjalne metode.

Pomemben del raziskave bosta predstavljala tudi razvoj sistema za zmanjšanje in validacijo kosinusnega pogreška tipala ter eksperimentalno ovrednotenje prispevkov k merilni negotovosti.

5 SKLEP

V članku so predstavljene razvojne aktivnosti Laboratorija za tehnološke meritve Univerze v Mariboru kot nosilcu državnega etalona za dolžino za zagotavljanje meroslovne sledljivosti preciznih meritev dolžin v industriji. Predstavljene so samo najpreciznejše metode in postopki umerjanja, ki jih v razvijamo v laboratoriju za potrebe slovenske industrije in akreditiranih kalibracijskih laboratorijev. Poseben poudarek je na najnovejši metodi umerjanja preciznih senzorjev pomika, ki jo trenutno razvijamo v laboratoriju. V postopek je integrirana najsodobnejša merilna oprema, ki je bila pridobljena v okviru nadgradnje nacionalnih raziskovalnih infrastruktur – RIUM.

Viri:

[1] Ačko, B.: *Meroslovje in kakovost*, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2011.
[2] FS LTM, https://ltm.fs.um.si/.
[3] Šafarič, J.: *Razvoj metod in avtomatizacija postopkov umerjanja stopničastih meril ter etalonskih obročev in trnov*, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2022.
[4] Newport Corporation, Air Bearing Solution Guide, https://www.newport.com/g/air-bearing-solution-selection-guide.
[5] Klobučar, R, Ačko B.: Automatic high resolution measurement set-up for calibrating precise line scales, *Advances in Production Engineering & Management*, 2017.
[6] Lagozzino, S, Simic, M, Dudkiewicz, D.: Development of a novel system for linear displacement sensor calibration, *Energy Procedia,* Vol. 160, 2018, str. 519–525, 2019.
[7] Klobučar, R, Ačko, B.: Experimental evaluation of ball bar standard thermal properties by simulating real shop floor conditions, *International journal of simulation modelling*, Vol. 15, No. 3, str. 511-521, 2016.
[8] Hermann, G, Rudas, I.: Calibration system for tactile measuring probes, *SISY 2015 - IEEE 13th Int. Symp. Intell. Syst. Informatics*, Proc., pp. 145–148, 2015.

TERMOPLASTIČNI KOMPOZITI PRIPRAVLJENI IZ RECIKLIRANE MATRICE IN RECIKLIRANIH TERMOPLASTIČNIH VLAKEN

Blaž NARDIN[1], Boštjan ŽAGAR[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov
[2]CAP – center za aplikativne polimere d.o.o.

IZVLEČEK

V prispevku bomo predstavili uporabo industrijskega odpada poliestrskega filca v podjetju CAP v kombinaciji s termoplastično matrico. Od ideje do končne rešitve sta sodelovala podjetje CAP in Fakulteta za tehnologijo polimerov iz Slovenj Gradca. Uporabili smo reciklirani termoplastični matrici z nižjim tališčem kot je tališče poliestrskega filca. Tak pristop smo izbrali, da smo dobili termoplastični kompozit, kjer so vlakna poliestrskega filca delovala kot ojačevalo za termoplastično matrico. Termoplastični matrici sta bili polietilen in reciklat termoplastičnega elastomera. Da smo dosegli dobre medfazne interakcije med termoplastičnima matricama in vlakni poliestrskega filca smo dodali 2 % kompatibilizatorja. S tem smo dosegli ojačevalni učinek vlaken v termoplastičnih matricah in hkrati homogeno razporeditev vlaken poliestrskega filca v termoplastičnih matricah. Tako pripravljena kompozita sta zaradi uporabe reciklatov okolju prijazna, hkrati pa prijazna tudi do predelovalnih strojev in orodij zaradi veliko nižje abrazije kot npr. steklena ali ogljikova vlakna. Delo je bilo izvedeno v okviru projekta DeremCo.

1 UVOD

Visokotonažni termoplasti in termoplastični elastomeri imajo omejeno togost in žilavost. Pri dvigu togosti, običajno z ojačevali ali polnili, drastično znižamo žilavost. Polnila in vlakna so običajno uporabljeni dodatki za povečanje togosti, trdnosti in dimenzijske stabilnosti [1], medtem ko lahko znatno izboljšanje udarne žilavosti do 60 kJ/m^2 dosežemo z vgradnjo elastomerov. Na žalost dodajanje elastomerov povzroči hkratno zmanjšanje togosti, kar je lahko resna pomanjkljivost za strukturne aplikacije. Da bi odpravili to pomanjkljivost, je bil nedavno uveden nov koncept s sintetičnimi polimernimi vlakni, ki se uporabljajo kot modifikatorji žilavosti. Vlakna iz poli(etilen tereftalata) (PET) se v tekstilni industriji pogosto uporabljajo in so na razpolago v obliki industrijskega odpada pri izdelavi termoformiranih izdelkov iz poliestrskega filca. Santos in Pezzin [2] sta uporabila 0–7 % recikliranih PET vlaken za pripravo PP kompozitov in poročala o zmernem zvišanju udarne žilavosti in natezne trdnosti z večjo vsebnostjo vlaken. PET vlakna so učinkovita za zvišanje žilavosti tudi v hibridnih PP kompozitih, ki vsebujejo steklena ali ogljikova vlakna ali pa naravna vlakna. Učinkovitost PET vlaken se lahko znatno poviša, če se doda kompatibilizator, ki izboljša medfazne interakcije med matrico in površino PET vlaken. Tehnološka omejitev pri PET vlaknih je dokaj nizko tališče PET in posledično zahtevana nižja temperatura pri predelavi (brizganje, ekstrudiranje) termoplastičnih kompozitov ojačenih s PET vlakni. Če pri predelavi pride do krčenja PET vlaken, se drastično znižata tako trdnost kot udarna žilavost termoplastičnih kompozitov. Do krčenja vlaken pride v primeru, da so vlakna pred predelavo amorfna, med samo predelavo pa kristalizirajo in se pri tem skrčijo. Zato je zelo pomembno, da omogočimo kristalizacijo PET vlaken pred predelavo in tako zagotovimo najboljši možni ojačevalni učinek PET vlaken tako na trdnost kot udarno žilavost termoplastičnega kompozita ojačanega s PET vlakni. Da bi zagotovili zares dobro žilavost termoplastičnih kompozitov s PET vlakni je potrebno predelovati takšne kompozite pri najnižji možni temperaturi, ki je vsaj 60 °C nižja od tališča PET, to pomeni okoli 190 °C. Pri višji predelovalni temperaturi pride do delnega taljenja kristaliničnih delov PET vlaken, kar posledično pomeni znižanje trdnosti PET vlaken in

naknadnega krčenja pri ponovni kristalizaciji PET vlaken, kar drastično zniža udarno žilavost tako predelanih termoplastičnih kompozitov s PET vlakni.

2 DEREMCO PROJEKT

Cilj projekta DeremCo je vzpostaviti sistemsko, medsektorsko rešitev krožnega gospodarstva, ki temelji na povpraševanju, ki bo omogočila stroškovno učinkovito ponovno uporabo kompozitnih materialov in komponent po uporabi v novih izdelkih z visoko dodano vrednostjo. DeremCo je projekt EU_I3, ki traja do novembra 2025 in vključuje 30 evropskih partnerjev iz Italije, Finske, Avstrije, Španije, Slovenije, Belgije in Portugalske. V projektu sodeluje tudi 7 slovenskih partnerjev: Fakulteta za tehnologijo polimerov, Veplas, OPS Breznik, Technol, Tehnos, Turnaplast in CAP. V prispevku bomo predstavili sodelovanje FTPO, kjer smo pripravili termoplastične kompozite s PET vlakni, ki nam jih je dobavilo podjetje CAP kot njihov industrijski odpad po termoformiranju.

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Uporabljeni materiali

Poliestrski filc nam je dobavilo podjetje CAP iz Medvod v obliki industrijskega odpada, ki smo ga zmleli v manjše delce na FTPO. Pripravo termoplastičnih kompozitov ojačenih s PET vlakni (rPET) smo izvedli v dveh korakih. V prvem koraku smo uporabili polietilen visoke gostote (PE-HD), kateremu smo dodali 10 % PET vlaken. Izvedli smo kompavndiranje in brizganje testnih epruvet, da smo karakterizirali toplotne in mehanske lastnosti. V drugem koraku smo PET vlakna uporabili za ojačitev reciklata termoplastičnega elastomera (rTPE), ki je bil industrijski odpad podjetja Uteksol. Iz tako pripravljenega kompozita smo brizgali dva izdelka.

Komercialno dostopen PE-HD CC2056 smo kupili od podjetja Sabic iz Nizozemske. Kompatibilizator polietilen graftiran z maleinanhidridom (PE-*g*-MA) nam je dobavilo podjetje Exxon Mobil iz Belgije. Kompatibilizator polipropilen graftiran z maleinanhidridom (PP-*g*-MA) nam je dobavilo podjetje Dow iz Švice. Sestava vzorcev je navedena v Tabeli 1.

3.2 Priprava vzorcev

Vse materiale smo ločeno zmešali in ekstrudirali na dvopolžnem ekstruderju Labtech LTE 20-44. Premer polžev je bil 20 mm, razmerje L/D 44:1, obrati 600 vrtljajev na minuto. V prvem koraku je temperaturni profil naraščal od lijaka (135 °C) do šobe (160 °C). V drugem koraku je temperaturni profil naraščal od lijaka (165 °C) do šobe (190 °C). Po kompavndiranju sta bila oba proizvedena filamenta ohlajena v vodni kopeli in narezana na pelete dolžine približno 5 mm in premera 3 mm.

Brizganje je potekalo na stroju Krauss Maffei 50-180 CX s premerom polža 30 mm. V prvem koraku je temperaturni profil naraščal od lijaka (155 °C) do šobe (170 °C). Temperatura orodja je bila nastavljena na 45 °C, čas hlajenja pa na 9 s. Protitlak je bil nastavljen na 195 barov, obrati polža pa na 175 vrtljajev na minuto. Hitrost brizganja je bila nastavljena na 50 mm/s, za zadnje 3 mm pa na 5 mm/s. V drugem koraku je temperaturni profil naraščal od lijaka (175 °C) do šobe (190 °C). Temperatura orodja je bila nastavljena na 25 °C, čas hlajenja pa na 10 s. Protitlak je bil nastavljen na 150 barov, obrati polža pa na 100 vrtljajev na minuto. Hitrost brizganja je bila nastavljena na 50 mm/s, za zadnja 2 mm pa na 20 mm/s.

Tabela 1: Sestava vzorcev za kompavndiranje

Vzorec	PE-HD (%)	rTPE (%)	PE-*g*-MA (%)	PP-*g*-MA (%)	rPET (%)
Vzorec 1	100	0	0	0	0
Vzorec 2	88	0	2	0	10
Vzorec 3	0	93	0	2	5

3.3 Laboratorijski testi

Upogibni in natezni preizkusi so bili opravljeni na napravi Shimadzu AG-X plus v skladu z ISO 178 oziroma ISO 527-1. Za vsak vzorec je bilo opravljenih pet meritev. Pri upogibnem preizkusu

Blaž NARDIN[1], Boštjan ŽAGAR[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov, [2]CAP – center za aplikativne polimere d.o.o.

smo vrednotili upogibni E modul (E_f), maksimalno upogibno trdnost (σ_{fM}) ter upogib pri maksimalni upogibni trdnosti (ε_{fM}). Pri nateznih preizkusih smo vrednotili natezni E modul (E_t), natezno trdnost (σ_m) in raztezek pri pretrgu (ε_{tb}). Termo-dinamične lastnosti smo vrednotili z napravo Perkin Elmer DMA 8000. Vzorce smo segrevali z 2 °C/min od 25 °C do 120 °C v zračni atmosferi. V načinu z dvojno prižemo smo uporabili frekvenco 1 Hz in amplitudo 20 μm. Termogravimetrične analize (TGA) smo izvedli na instrumentu Mettler Toledo TGA/DSC 3+. Vzorec smo segrevali od 40 °C do 550 °C, s hitrostjo segrevanja 10 °C/min, v dušikovi atmosferi (20 mL/min), nato pa izotermno držali pri 550 °C 20 min v kisikovi atmosferi (20 mL/min). Udarne preizkuse smo izvedli na napravi Dongguan Liyi Test Equipment, tip LY-XJJD5, v skladu s standardom ISO 179. Razdalja med podporama je bila 60 mm, za udarne preizkuse smo uporabili nihalo z energijo 5 J, za zarezne udarne preizkuse pa nihalo z energijo 1 J.

4 REZULTATI

Dodatek zmletega reciklata poliestrskega filca v PE-HD vpliva na mehanske lastnosti (Tabeli 2 in 3). Dodatek 10 % rPET zviša upogibni (+ 26%) in natezni (+12 %) E modul, upogibno (+19 %) in natezno (+4 %) trdnost ter zniža raztezek pri pretrgu (-91 %). Iz rezultatov lahko zaključimo, da rPET vlakna delujejo kot ojačevalo za PE-HD matrico in da kompatibilizator PE-*g*-MA uspešno izboljša medfazne interakcije med rPET vlakni in PE-HD matrico. To lahko zaključimo na podlagi rezultatov tako nateznega kot upogibnega preizkusa, saj sta se poleg nateznega in upogibnega E modula zvišali tudi natezna in upogibna trdnost, ki pa se zvišata le v primeru, da imamo dobre medfazne interakcije med matrico in površino rPET vlaken. Iz rezultatov lahko zaključimo, da je malein anhidrid v PE-*g*-MA ustrezen modifikator za površino rPET vlaken in zagotovi odlične medfazne interakcije med MA in površino PET vlaken.

Tabela 2: Zbrani rezultati upogibnih preizkusov

Vzorec	E_f (GPa)	σ_{fM} (MPa)	ε_{fM} (%)
Vzorec 1	0,73±0,02	18,9±0,3	7,4±0,1
Vzorec 2	0,92±0,01	22,5±0,2	7,0±0,1

Tabela 3: Zbrani rezultati nateznih preizkusov

Vzorec	E_t (GPa)	σ_m (MPa)	ε_{tb} (%)
Vzorec 1	1,02±0,12	22,5±0,3	471±85
Vzorec 2	1,14±0,07	23,5±0,2	41±9

Rezultati dinamične mehanske analize so skladni z rezultati nateznega preizkusa. Dinamični E modul za kompozit PE-HD ojačen z rPET vlakni (Tabela 4) je višji za 12 % glede na referenco pri temperaturi 30 °C. Ta razlika ostaja konstantna do območja steklastega prehoda za rPET vlakna (okoli 70 °C), potem se z višanjem temperature razlika v dinamičnih E modulih zmanjšuje. Vrh faktorja izgub je pri vzorcu 2 zamaknjen k malenkost višji temperaturi.

Tabela 4: Zbrani rezultati DMA testov

Vzorec	E´ pri 30 °C (GPa)	Vrh pri E˝ (°C) / (kPa)
Vzorec 1	1,16	56,3 / 115
Vzorec 2	1,30	57,8 / 136

Temperatura degradacije (Tabela 5) je pri vzorcu 2 nižja glede na vzorec 1, ker je temperatura degradacije PET nižja kot PE-HD. Vsebnost anorganskega ostanka po žarjenju pri vzorcu 2 lahko razložimo z anorganskimi dodatki v rPET vlaknih, ki so po vsej verjetnosti barvila.

Tabela 5: Zbrani rezultati TGA analize

Vzorec	Td1 (°C)	Razpad1 (%)	Saje (%)	Ostanek (%)
Vzorec 1	494,7	99,3	0,7	0,0
Vzorec 2	472,5	99,1	0,7	0,2

Udarna žilavost (Tabela 6) je pri vzorcu 2, tako kot pri vzorcu 1 zelo visoka, saj pri testiranju ne pride do porušitve in posledično loma. Iz rezultatov lahko zaključimo, da rPET vlakna, kljub ojačevalnemu efektu ohranijo zelo visoko udarno žilavost. To pomeni, da kompatibilizator PE-*g*-MA zagotavlja dobre medfazne interakcije med matrico in površino rPET vlaken. Pri testu

Blaž NARDIN[1], Boštjan ŽAGAR[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov, [2]CAP – center za aplikativne polimere d.o.o.

zarezne udarne žilavosti je vrednost pri vzorcu 2 zelo nizka. Razlog za takšno nizko vrednost je v usmerjenosti vlaken, ki so usmerjena prečno na zarezo in se pri testu prečno porušijo.

Tabela 6: Zbrani rezultati udarne in zarezne udarne žilavosti vzorcev

Vzorec	Udarna žilavost (kJ/m^2)	Zarezna udarna žilavost (kJ/m^2)
Vzorec 1	brez loma	brez loma
Vzorec 2	brez loma	4,5±0,2

V drugem koraku smo brizgali pripravljen kompozit z matrico iz rTPE, ki je bil ojačena z rPET vlakni. Izvedli smo brizganje tankostenskega in debelostenskega izdelka. Pri obeh izdelkih smo dosegli dobre rezultate, samo brizganje je potekalo brez problemov. Oba izdelka sta prikazana na Slikah 1 in 2.

Slika 1: Brizgan tankostenski izdelek

Slika 2: Brizgan debelostenski izdelek

5 SKLEP

Preučevali smo vpliv dodajanja industrijskega odpada poliestrskega filca v zmleti obliki v termoplastično in termoplastično elastomerno matrico. Pri PE-HD matrici smo zvišali togost in trdnost, udarna žilavost je ostala na zelo visokem nivoju, znižala se je zarezna udarna žilavost. Temperatura degradacije pričakovano pade, zviša se dinamični E modul in temperatura uporabe. S tem smo pokazali, da so PET vlakna učinkovito ojačevalo za termoplastično matrico, če je temperatura predelave maksimalno 190 °C. Brizgana izdelka, tako tankostenski kot debelostenski, kažeta na to, da je bil termoplastični kompozit ojačen s PET vlakni ustrezno pripravljen in sta izdelka brez optičnih napak ter primerna za brizganje.

Glavni cilj raziskave, ponovna uporaba industrijskega odpada poliestrskega filca, ki je sicer odrez po termoformiranju izdelkov v podjetju CAP, je bil tako izpolnjen. Rezultati testov odpirajo nove možnosti uporabe kompozitov ojačenih s PET vlakni za industrijske aplikacije.

[1] H.S. Katz, J.V. Milevski, (1978), Handbook of fillers and reinforcements for plastics. New York: Van Nostrand.
[2] E. Belmonte, M. De Monte, C. J. Hoffmann, (2017), Damage initiation and evolution in short fiber reinforced polyamide under fatigue loading: Influence of fiber volume fraction, Composite Part B, 113, 331-341.

Izjava o omejitvi odgovornosti: Ta projekt je financiral Evropski sklad za regionalni razvoj (ESRR) v okviru sporazuma o dodelitvi sredstev št. 101084037. Vendar so izražena stališča in mnenja izključno avtorjev in ne odražajo nujno stališč in mnenj Evropske unije ali Izvajalske agencije Evropskega sveta za inovacije in MSP (EISMEA). Niti Evropska unija niti organ, ki dodeljuje sredstva, zanje ne moreta biti odgovorna.

Funded by the European Union

BRIZGANJE PLASTIKE IN NADZOR VODE

Miha PUŠNIK[1], Milan PECL[2]
[1]FANUC Adria d.o.o.
[2]M Pecl d.o.o.

IZVLEČEK

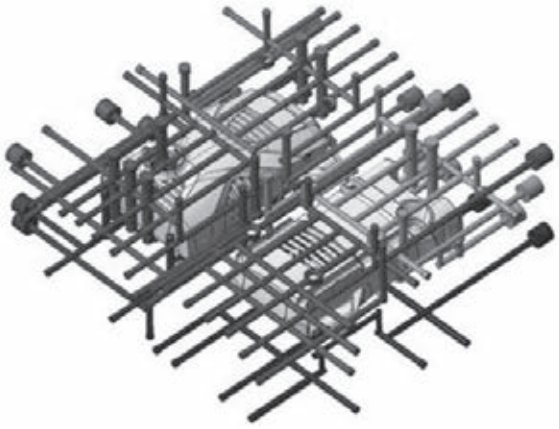
Merilnik pretoka/baterija/razdelilec – zunanja naprava za nadzor hladilnega medija
Tokokrog - posamičen krog hladilnega medija čez orodje
Temperiranje ali hlajene – zagotavljanje konstantne temperature na določeni površini orodja
Čas Hlajenja – čas zadrževanja izdelka v orodju po končanem brizganju. Največkrat za doseganje dimenzijske stabilnosti brizganih kosov.

1 UVOD

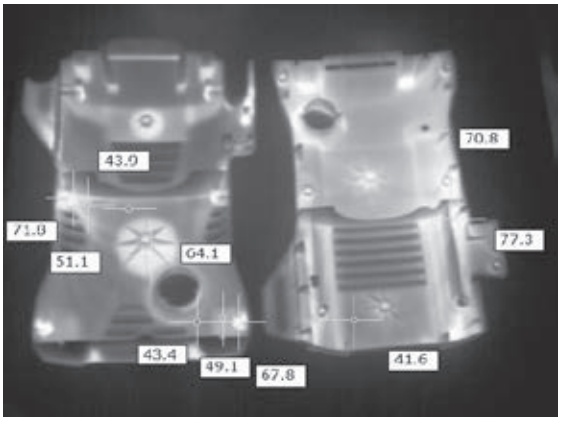
Brizganje plastike je kompleksen proces pri katerem moramo upoštevati mnogo dejavnikov oziroma parametrov. Eden izmed ključnih in časovno najdaljših dejavnikov je čas hlajenja. Čas hlajenja ni le pretečen čas, ampak tudi natančna količina hladilnega medija, ki steče skozi hladilne kanale. Natančna količina oziroma pretok definira temperaturo orodja s katerim kontroliramo kvaliteto brizganega izdelka. Glede na vedno višji nivo zahtevnosti brizganih izdelkov je nujno potrebno nadzirati hladilni medij. Dober nadzor vode oziroma hladilnega medija je torej ključ do nadzora kakovosti brizganih izdelkov.

Vsak stroj za brizganje plastike potrebuje hladilni medij, ki opravlja delo temperiranja orodja za brizganje plastike. Velika večina strojev je opremljena s klasičnimi merilniki pretoka, ki so lahko opremljeni s termometri. Takšen način spremljanja nam omogoča vizualno kontrolo, ki ni povezana z delovanjem stroja. Glede na tempo proizvodnje, menjavanje orodij in človeški faktor so v večini ti pretoki spregledani in brez posebne kontrole. Kontrola klasičnih merilnikov se tako izvede le s strani tehnologa v primeru ko je v procesu že zaznana sprememba. Z drugimi besedami to pomeni, da lahko stroj brizga slabe kose dokler tega ne prepozna interna kontrola kakovosti ali v skrajnem primeru končni kupec.

Iz naslednjih dveh slik lahko vidimo kako pomembna je pravilna razporeditev hladilnih kanalov za doseganje konstantne temperature brizganega kosa.



Slika 1: Primer hladilnih kanalov v orodju



Slika 2: Posnetek s toplotno kamero

2 RAZDELITEV NADZORA VODE

2.1 Klasični merilniki pretoka

Klasični merilnik je zasnovan za spremljanje in učinkovito razporejanje hladilnega medija preko vašega orodja. Glede na potrebo lahko ročno nastavljamo pretok za posamezni tokokrog. S klasičnim merilnikom pretoka tako razporedimo intenzivnost temperiranja na posamezne lokacije orodja.

Prednost: Zanesljiva robustna rešitev.

Slabost: Gre za samostojno enoto, ki ni povezana s procesom stroja in ne meri temperature.

Slika 3: Primer klasičnega merilnika

2.2 Klasični merilniki pretoka s termometri

Klasični merilnik s termometri je nadgradnja klasičnega merilnika z dodatnimi termometri. Glede na potrebo lahko ročno nastavljamo pretok za posamezni tokokrog in s tem uravnavamo temperaturo, ki jo enostavno odčitamo na termometru. S klasičnim merilnikom pretoka tako razporedimo intenzivnost temperiranja na posamezne lokacije orodja in dobimo povratne informacije glede učinkovitosti odvzema temperature.

Prednost: Zanesljiva robustna rešitev s kontrolo temperature.

Slabost: Gre za samostojno enoto, ki ni povezana s procesom stroja.

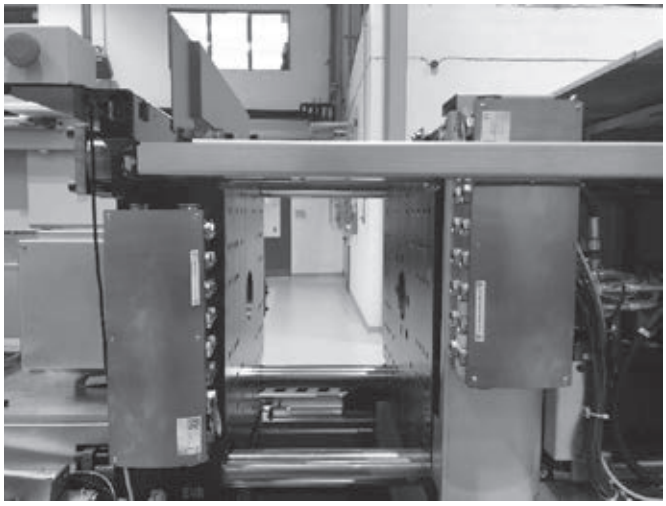
Slika 4: Primer klasičnega merilnika s termometri

2.3 Digitalizirani merilniki pretoka

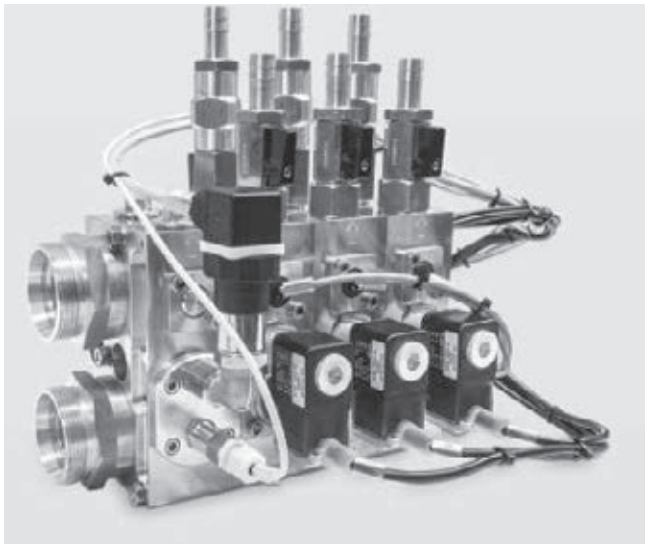
Digitalizirani merilniki pretoka so v večji meri nadgradnja klasičnih merilnikov pretoka z veliko prednostjo, da lahko z njimi zelo natančno nastavljamo naše parametre hladilnega medija. Torej nastavimo lahko limite pretoka in temperature, ki v primeru odstopanja preko digitalnih vhodov na stroju javijo napako ali alarm. Tako nas digitalizirani merilnik pretoka opozori na spremembo v procesu, kar v večini primerov pomeni ogromne prihranke v proizvodnji. S tako urejenim procesom enostavno preprečimo slabe kose in v trenutku odstopanja lahko začnemo primerno ukrepati.

Prednost: Enostavna rešitev, ki javi napako v procesu.

Slabost: Shranjevanje programov in ločen vmesnik.



Slika 5 in Slika 6. Primer digitaliziranega merilnika



Slika 7: Primer naprednega merilnika

2.4 Napredni merilniki pretoka

Napredni merilniki pretoka spremljajo pretok vode in ga lahko po potrebi kontrolirajo. Cilj naprednega merilnika pretoka je, da zgotavlja konstantno temperaturo posameznega tokokroga. Za zagotavljanje le tega potrebuje napredni merilnik pretoka samodejno regulacijo pretoka s proporcionalnimi ventili, ki po potrebi regulirajo pretok in s tem vzdržujejo želeno temperaturo.

Takšni napredni merilniki pretoka nam samodejno prilagajajo intenzivnost hlajenja na želenih delih orodja.

Prednost: Samodejno uravnavanje pretokov in s tem temperature.

Slabost: Shranjevanje programov, ločen vmesnik in cena.

2.4 EUROMAP 82.1

Euromap 82.1 opisuje vmesnik med napravo za nadzor vode in strojem za brizganje plastike. Cilj tega vmesnika je kompatibilnost med različnimi proizvajalci strojev in različnimi proizvajalci sistemov za nadzor hladilnega medija. Euromap ne definira vmesnika stroja, ampak omogoča standardizirano količino informacij, ki jih je možno prenašati in nadzirati med strojem in zunanjimi napravami.

Prednsoti: Standardiziran komunikacijski protokol za najvišji možni nadzor.

Slabosti: Težaven in dolgotrajen prehod iz klasičnih merilnikov na EM 82.1.

Slika 8: Izbira ustrezne opreme, ki podpira EUROMAP

BRIZGANJE PLASTIKE IN NADZOR VODE

Miha PUŠNIK[1], Milan PECL[2]
[1]FANUC Adria d.o.o.
[2]M Pecl d.o.o.

ALTERNATIVNI POSTOPEK LAKIRANJA KAROSERIJSKE SVETLOBNE OPREME

Anet ROŽIČ, Matija OBOLNAR
Hella Saturnus Slovenija d.o.o.

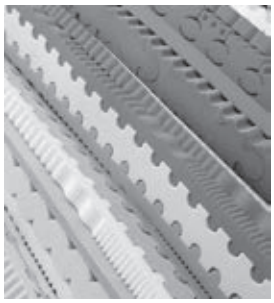
IZVLEČEK

S prihodom električnih vozil so se pojavile nove komponente avtomobila, katere zahtevajo dodatno površinsko zaščito. Površinske zaščite že uporabljene v notranjosti avtomobila so se razvile za uporabo na zunanjih komponentah in tako so nastale alternativne tehnologije površinske zaščite za karoserijsko svetlobno opremo. Za izdelavo izdelka je potrebno manj proizvodnih procesov, le-ti pa so pridobili boljše lastnosti.

1 UVOD

Kemija poliuretanov (PUR) se je začela leta 1937 v podjetju Bayer, prve komercialne poliuretane pa so začeli izdelovati v petdesetih letih prejšnjega stoletja v Nemčiji in ZDA. Poslovanje s poliuretani se je v devetdesetih letih razširilo po celem svetu in danes smo s PUR aplikacijami obkroženi v vseh vidikih našega vsakdana [1]. Podjetja neprestano razvijajo nove in izboljšane verzije poliuretanov.

Poliuretan je vsestranski in ga je mogoče najti povsod okoli nas. Ker je lahek, odporen na obrabo in vodo se iz njega izdelujejo podplati za obutev. Zaradi izolacijskih lastnosti se ga vgrajuje v hladilnike in zamrzovalnike. V gradbeništvu je poliuretan uporabljen v izolacijske namene. Poliuretanske pene so mehke, zagotavljajo pa tudi dobro oporo ter ohranjajo svojo obliko za kar so odličen material za sedežne blazine in vzmetnice. *(Slika 1)*. Zahvaljujoč lepilnim lastnostim poliuretana, ga lahko uporabljamo v gradbeni in pohištveni industriji, saj veže najrazličnejše materiale, kot so les, guma, karton in steklo [2].



Slika 1: Poliuretanska pena za ležišča [3]

2 UPORABA POLIURETANA V AVTOMOBILSKI INDUSTRIJI

Poliuretani predstavljajo pomemben del v avtomobilski industriji. Poliuretanske pene se uporabljajo za armaturne plošče, vzglavnike, volane, odbijače in številne druge aplikacije. Poliuretani se pogosto brizgajo v kalupno votlino, kot reaktivna tekoča mešanica, kjer se nato penijo ali strdijo v želeno obliko [4].

S prihodom električnih vozil so se odprle nove možnosti izdelave prednjih mask. Omejitve pri oblikovanju prednjega dela avtomobila z motorjem z notranjim izgorevanjem ni več, saj ni potrebe po hlajenju motorja. Na trg prihajajo električni avtomobili, ki za zaščito prednjih površin mask uporabljajo poliuretanski nanos *(Slika 2)*.

Slika 2: Prednja maska zaščitena s poliuretanskim nanosom [5]

3 DIREKTNO LAKIRANJE V ORODJU

Z namenom raziskave novih tehnologij predvsem DC (direct coating, direktno lakiranje v orodju), kakor tudi FIM (film insert molding) smo se v podjetju Hella Saturnus Slovenija leta 2021 odločili za izdelavo prototipnega Forvia panela *(Slika 3)*.

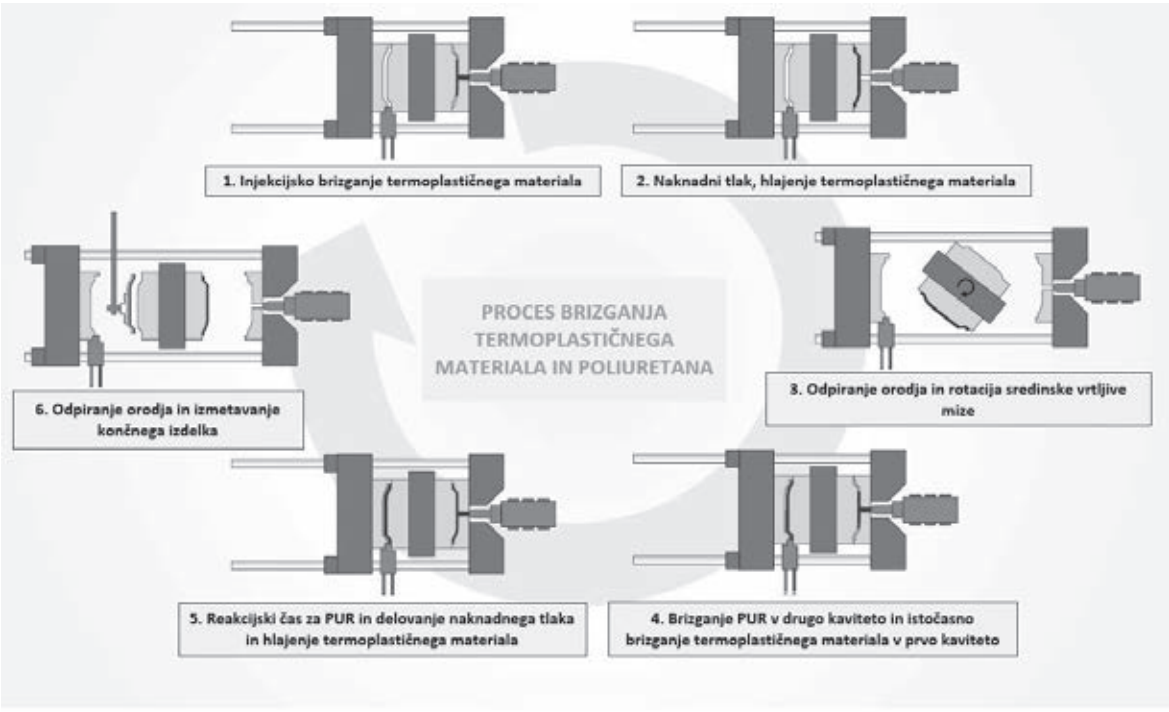
Slika 3: Prototipni Forvia paneli

V zadnjih letih je čedalje večje povpraševanje po prednjih panelih, ki imajo prednjo površino zaščiteno s poliuretanskim nanosom, za katerega se uporablja tehnologija direktnega lakiranja v orodju (DC – direct coating). V letu 2022 smo v Helli Saturnus Slovenija skupaj z evropskim prestižnim proizvajalcem avtomobilov pričeli serijski razvoj prednjih panelov za več različnih avtomobilov. V izdelavo smo tako vključili znanje direktnega lakiranja v orodju kakor drugih tehnologiji, kot sta FIM (film insert molding) ter ICM (injection compression molding).

3.1 Proces brizganja prednjih panelov s tehnologijo direktnega lakiranja v orodju

Na (*Sliki 4)* je shematičen prikaz brizganja prednjih panelov s poliuretanskim nanosom. Za injekcijsko brizganje v našem podjetju uporabljamo brizgalne stroje s sredinsko vrtljivo mizo. V prvi fazi odbrizgamo prozoren termoplastičen material (polikarbonat).

Prednji paneli v dolžino merijo tudi do 1,5m. Da bi pri taki dolžini dosegli standardne debeline, kot jih imamo na prednjih pokrivnih lečah bi potrebovali več dolivnih točk, kar je z estetskega vidika nesprejemljivo. Za zmanjšanje debelin sten izdelka smo začeli uporabljati tehnologijo injekcijskega kompresijskega brizganja. Po končanem hlajenju prve komponente se orodje odpre in sredinska vrtljiva miza se obrne. Sledi brizganje poliuretana. Po končanem brizgu se doseže stopnja zamreženosti poliuretana, ki omogoči izvzem kosa iz orodja.



Slika 4: Proces brizganja termoplastičnega materiala s poliuretanskim nanosom [6]

3.1 Postopek in oprema za direktno lakiranje v orodju

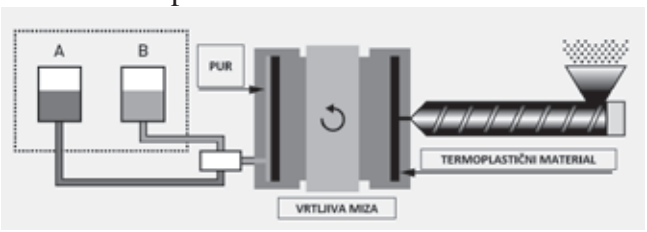
Sintezo poliuretana opišemo kot dvokomponentni postopek, pri katerem zmešamo komponenti A in B, pri čemer nastane kopolimer $(AB)_n$ [1]. Poliuretan nastane pri kemijski reakciji med izocianatom in poliolom njuno mešalno razmerje pa je določeno s strani proizvajalca materialov. Primerno viskoznost obeh komponent vzdržujemo s konstantnim mešanjem na zahtevani temperaturi. Med brizgom je temperatura obeh komponent nastavljena med 60 in 90 °C.

Shematski prikaz naprave za brizganje poliuretana je prikazan na (*Sliki 5)*. Komponenti A in B sta shranjeni v ločenem rezervoarju. Za vsako komponento je ločen tokokrog, ki vodi od rezervoarja do mešalne glave, katera je vgrajena na brizgalno orodje. Med rezervoarjem in mešalno glavo sta za vsako komponento vgrajeni dve črpalki. Prva črpalka neprestano deluje in z nižjim tlakom poganja material v ceveh. Po končani seriji cevi ne izpraznimo ampak le znižamo temperaturo, s čimer preprečimo udor zraka v cevi in s tem kristalizacijo materiala

Drugo črpalko, katera omogoča višje tlake se avtomatsko vklopi med procesom brizganja. Iz obeh rezervoarjev gresta komponenti A in B preko cevi do mešalne glave. V izhodnem kanalu v mešalni glavi se komponenti premešata.

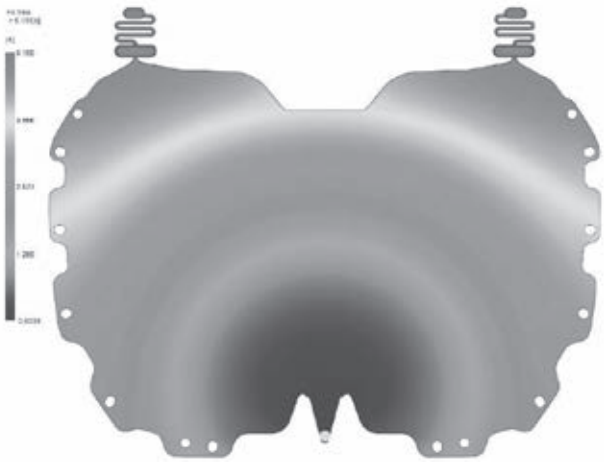
Reakcija zamreženja poteka v gravuri orodja. Zapolnitev gravure mora biti izvedena v predpisanem času preden pride do reakcije med komponento A in B. Čas preden začneta materiala reagirati je odvisen od recepture vhodnih materialov A in B.

V času cikla je stopnja zamreženja taka, da lahko rokujemo s kosom, hkrati pa se zamreženje takrat še ne konča. Za dokončno zamreženje je potrebnih še nekaj ur, ko material postane dovolj mehansko odporen.



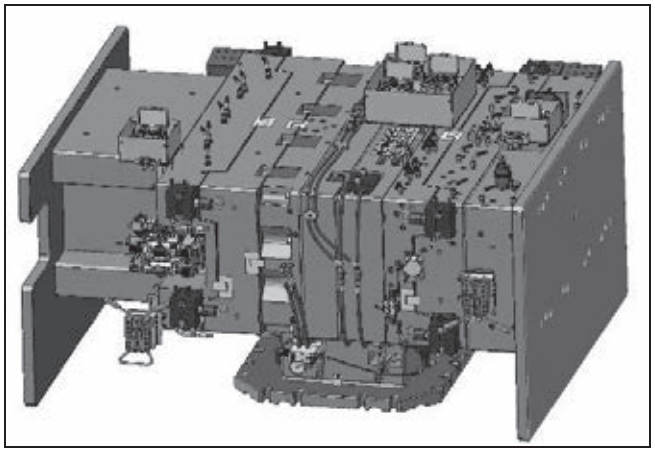
Slika 5: Shematski prikaz brizganja poliuretana [6]

Posebnost pri brizganju poliuretana je odzračevalni sistem na orodju. Pri standardnem injekcijskem brizganju termoplastov se tesnjenje izvede ob stiku jeklo na jeklo. Zaradi nizke viskoznosti poliuretana in s tem možnosti prelitja moramo jeklo tesniti na tesnili rob termoplastične komponente, pri čemer pa onemogočimo odzračevanje preko delilne ravnine. V ta namen je na koncu poti tečenja narejen poseben sistem odzračevanja, ki je prikazan na *(Sliki 6).*



Slika 6: Simulacija tečenja poliuretana in ozdračevalni kanal na koncu poti tečenja [5]

Ker ima poliuretan močno adhezijo na jeklo mora biti na površini orodja ustrezen premaz proti sprijemanju. Delovna temperature orodja je za poliuretan enaka, kot jo imamo za termoplastičen material. Primer prototipnega Forvia orodja, ki je namenjen brizganju termoplastov in poliuretana je prikazan na *(Sliki 7).*

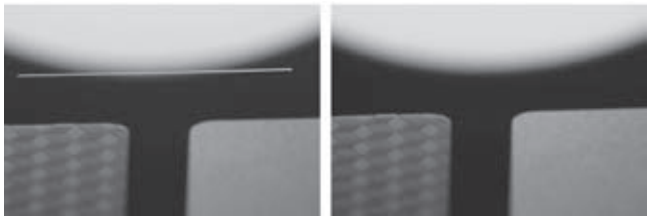


Slika 7: Prototipno Forvia orodje

4 PREDNOSTI UPORABE POLIURETANSKEGA NANOSA ZA ZAŠČITO POVRŠINE

V teoriji lahko proizvajalec materiala lastnosti poliuretana prilagaja kupčevim zahtevam. Dobavljiv je v transparentni izvedbi kakor v širokem spektru različnih barv. S poliuretanskim nanosom na površino dosežemo eleganten vizualni efekt, ki ga z lakom ni mogoče doseči.

Prednost uporabe poliuretanskega nanosa pred klasičnim »hard coat« lakiranjem je v zmožnosti samo celjenja. Manjše površinske praske se po kratkem času same zaprejo, kar pripomore k ohranjanju kakovostnega videza dekorativnih izdelkov *(Slika 8)* [5]. Sposobnost samo-celjenja površine je odvisna od lastnosti vhodnega materiala kakor tudi od debeline poliuretanskega nanosa, katera se giblje od 0,2 do 10 milimetrov.



Slika 8: Primer samo-celjenja poliuretanskega nanosa [7]

Pri standardnem postopku lakiranja prednjih pokrivnih leč velik strošek predstavlja investicija v lakirnico in čisti prostor, pri direktnem lakiranju v orodju ta strošek odpade. Večji delež izmeta pri lakiranju predstavlja kontaminacija zaradi nečistoč pri transportu leč do lakirnice in napak pri procesu lakiranja, kot je pomarančna površina ter neomočenost. V primerjavi z lakiranjem, kjer se delež laka razprši stran od površine izdelka, pri direktnem lakiranju v orodju porabimo le toliko materiala, kot ga dejansko potrebujemo.

5 SKLEP

Z novimi sistemskimi rešitvami, ki jih ponujajo proizvajalci strojev za brizganje plastike se lahko visoko dekorativne izdelke za prednje avtomobilske maske direktno lakira v orodju. Izdelek je tako narejen le v enem koraku s čimer naknadna operacija lakiranja ni več potrebna. S tem se zmanjšajo stroški investiciji v nove in večje lakirnice prav tako pa se zmanjšajo stroški izmeta, ki je posledica transporta od brizgalnih strojev do lakirnice in napak, ki nastajajo pri samem procesu lakiranja.

Tehnologija direktnega lakiranja v orodju je trenutno primerna za enostavne površine brez kompleksnih in globokih geometrij. Velika pomanjkljivost je slaba adhezija med polikarbonatom in poliuretanom. Proizvajalci razvijajo nove recepture obeh materialov, s čimer želijo zagotoviti čim boljšo oprijemljivost in obstojnost na vremenske vplive.

6 VIRI

[1] Toman, Ž: Sinteza, karakterizacija in uporaba abrazivnega poliuretanskega nanosa, Magistrsko delo, Ljubljana, 2020
[2] Področja uporabe poliuretana, (https://www.poliuretan.si/poliuretan-podrocja-uporabe.html)
[3] Plama-pur (https://www.plama-pur.si/81/pene-za-lezisca)
[4] Polyurethanes: an ainnovative application for car interiors (https://plastics-rubber.basf.com/global/en/performance_polymers/industries/pp_automotive/applications/application_automotive_interior/car-interior-ideal/2019/polyurethanes-an-innovative-application-for-car-interiors.html)
[5] Facelifting für Elektrofahrzeuge (https://www.kunststoffe.de/a/fachartikel/facelifting-fuer-elektrofahrzeuge-2743628)
[6] Lackieren direkt im Werkzeug (https://www.kraussmaffei.com/de/unsere-verfahren/colorform-technologie)
[7] Hohe Produktiviät für smarte Bauteile (https://www.kunststoffe.de/a/fachartikel/hohe-produktivitaet-fuer-smarte-bauteile-344626)

HITRA IZDELAVA BRIZGANIH IZDELKOV S POMOČJO 3D-TISKANIH ORODIJ

Andrej GLOJEK, Anton KOČAR, Matevž OGRAJENŠEK, Matej ŽNIDARŠIČ, Sebastjan KOTNIK
TECOS

IZVLEČEK

V članku je predstavljena uporaba 3D-tiskanih (SLA) vložkov v orodju za brizganje plastike. Predstavljene so prednosti uporabe 3D-tiskanih vložkov ter njihove omejitve. Hibridni proizvodni proces omogoča hitro izdelavo brizganih orodij za proizvodnjo majhnih serij termoplastičnih izdelkov. V članku je predstavljena uporaba simulacij brizganja za optimizacijo procesa in izdelka, mehanska simulacija za določitev omejitev tiskanih vložkov in optično 3D-skeniranje za potrditev izdelkov in optimizacijo izdelave vložkov.

1 UVOD

Brizganje je med vodilnimi tehnološkimi postopki za proizvodnjo plastičnih izdelkov. Uporablja se za množično proizvodnjo izdelkov z ozkimi tolerancami. Je stroškovno učinkovit in ponovljiv proces, ki proizvaja visokokakovostne izdelke velikih serij. Časi cikla se gibljejo med nekaj sekund do približno 60 sekund za standardne izdelke. To je postopek, kjer z visokim tlakom staljen plastičen material brizgnemo v orodno votlino. Zaradi ekstremnih pogojev oblikovanja so orodja tradicionalno izdelana iz kovinskih materialov, po standardnih postopkih obdelave (CNC-rezkanje, elektroerozijska obdelava (EDM), vrtanje, brušenje …). To so drage industrijske metode, ki zahtevajo vrhunske stroje in programsko opremo ter usposobljeno delovno silo. Izdelava kovinskega orodja običajno traja štiri do osem tednov. Zaradi tega je izdelava orodja po tradicionalni metodi za manjše serije (nekaj 10 do nekaj 100 izdelkov) nedostopna in prepočasna.

Vendar pa obstajajo alternative strojni obdelavi orodij iz kovine. Z izkoriščanjem 3D-tiskanja za izdelavo orodij oz. orodnih vložkov za brizganje, bistveno zmanjšamo stroške in čas izdelave manjših serij brizganih prototipov, v primerjavi s kovinskimi orodji, še vedno pa proizvajamo visokokakovostne in ponovljive izdelke.

3D-tiskanje je zmogljiva rešitev za hitro in poceni izdelavo orodnih vložkov za brizganje. Če imamo že pripravljena ogrodja orodij, kamor vstavimo 3D-tiskane vložke, lahko v nekaj dneh pridemo do brizganih izdelkov manjših serij. Razvojni inženirji lahko testirajo realne brizgane izdelke, preden investirajo v dražja kovinska orodja. Hitro se lahko testirajo različne oblike izdelkov, prav tako pa se lahko izdelajo zapletene oblike, ki jih je težko narediti na tradicionalen način. 3D-natisnjene vložke je mogoče enostavno zamenjati v primeru okvare oz., ko se menja oblika izdelka.

Poleg prednosti 3D-tiskanih vložkov, obstaja še nekaj omejitev. 3D-tiskani plastični vložki niso tako zmogljivi kot kovinski. Kritične dimenzije je težje doseči, čas ohlajanja je daljši, ker je plastika izolator, tiskani vložki pa se zlahka zlomijo pri obremenitvi med procesom brizganja – tlak in temperatura.

Kljub omejitvam se 3D-tiskani vložki uporabljajo za brizganje manjših serij (za pilotno proizvodnjo ali končno uporabo), funkcionalnih prototipov, narejenih iz zahtevanega plastičnega materiala.

3D-tiskanje gravurnih vložkov je stroškovno učinkovit in hiter način za proizvodnjo plastičnih delov v omejenih količinah.

2 HITRA IZDELAVA VLOŽKOV ORODJA ZA BRIZGANJE MANJŠIH SERIJ

Tehnologija 3D-tiskanja – stereolitografija (SLA) je odlična izbira za izdelavo vložkov orodja za brizganje. Zanjo je značilna visoka

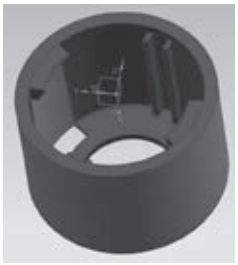
natančnost in gladka površina, ki jo bo vložek prenesel na končni brizgan del, kar olajša tudi razkalupljanje (odpiranje in izmetavanje). SLA 3D-tiski, so kemično vezani (zamreženi), tako da so popolnoma gosti in imajo izotropne lastnosti.

Na trgu je več industrijskih fotopolimerov z visoko vsebnostjo stekla, ki so primerni za najrazličnejše geometrije in pogoje procesa brizganja.

Smola ima lahko temp. držanja oblike (HDT) 218 °C–238 °C pri 0,45 MPa in modul elastičnosti do 10.000 MPa. Material za oblikovanje vložkov je močan, izjemno tog in toplotno stabilen, pri čemer ohranja svojo obliko pod tlakom in temperaturo.

3 PRIMER UPORABE SLA-VLOŽKOV V ORODJU ZA BRIZGANJE

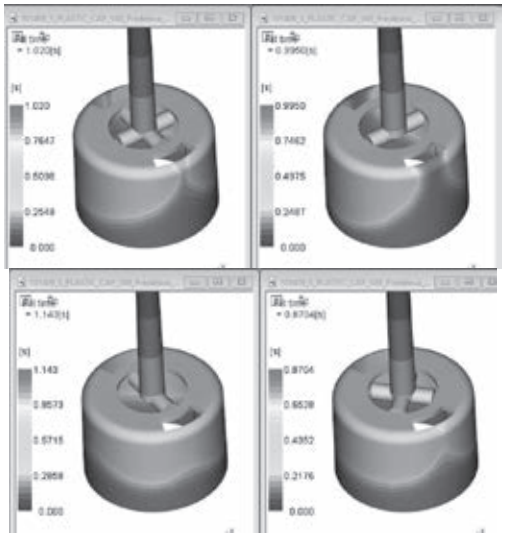
Za relativno enostaven izdelek (pokrov) smo se odločili, da testiramo uporabo SLA-vložkov v orodju za brizganje. Zahtevan material izdelka je bil PA6 30GF, kar zmanjšuje življenjsko dobo orodja, zaradi vsebnosti steklenih vlaken v materialu in visoke temperature brizganja. Izdelek nima previsnih mest, ima pa tanka rebra, ki otežujejo izmet in dva zaskoka, kjer je v orodju zahtevan dodaten vložek zaradi razkalupljenja, kar pa zmanjšuje življenjsko dobo tiskanih vložkov.



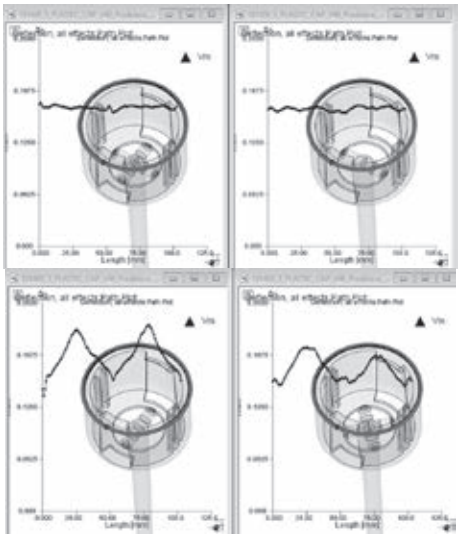
Slika 1: Izdelek

Ker smo se projekta lotili celostno, smo najprej s pomočjo simulacij brizganja določili najprimernejši dolivni sistem in skrček orodja.

Testirali smo različna pripetja dolivov in se na osnovi tlaka, obremenitve orodja, delovanja naknadnega tlaka, linij spoja, deformacij … odločili za dva stranska doliva (slika dva spodaj).

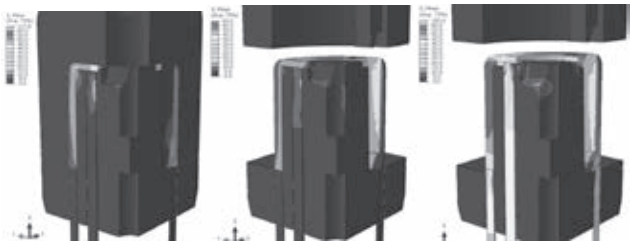


Slika 2: Različna pripetja stranskih dolivov (čas polnjenja)

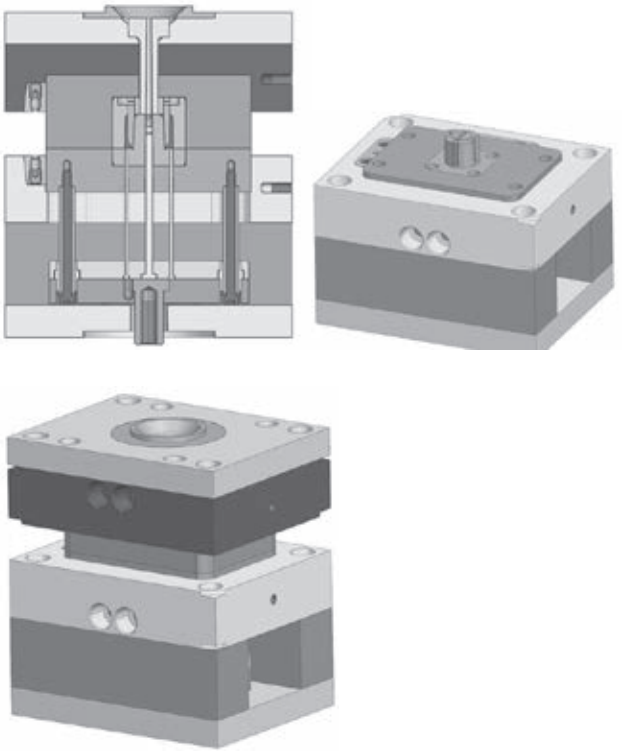


Slika 3: Okroglost spodnjega roba izdelka

Skonstruirali smo osnovno enognezdno orodje s hladnim stranskim dolivom. Vložke orodja smo vstavili v obstoječe ogrodje orodja. SLA-tiskane vložke smo skonstruirali tako, da so bili karseda majhni (manjša poraba materiala) in so trdnostno odgovarjali obremenitvam orodja med brizganjem in pri izmetu izdelka iz orodja. Togost orodja smo mehansko preverili z mehansko simulacijo s programom Abaqus. Z mehansko simulacijo smo simulirali krčenje izdelka na vložek med ohlajanjem kosa, odpiranje orodja in izmet le-tega z orodja, ob upoštevanju trenja.
Simulacija ni pokazala problemov – odpovedi vložka.

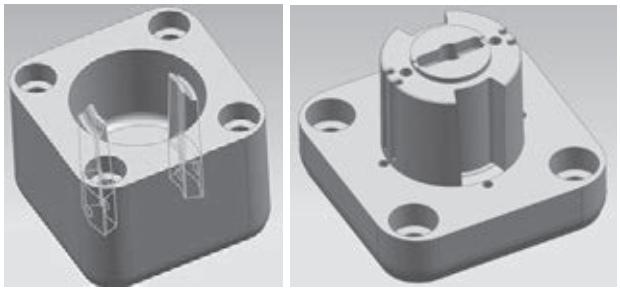


Slika 4: Mehanska simulacija orodja (nakrčevanje izdelka/odpiranje orodja/izmet izdelka)

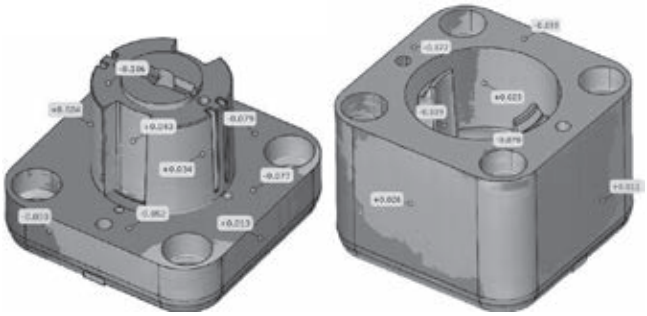


Slika 5: Prototipno orodja, 3D-konstrukcija orodja

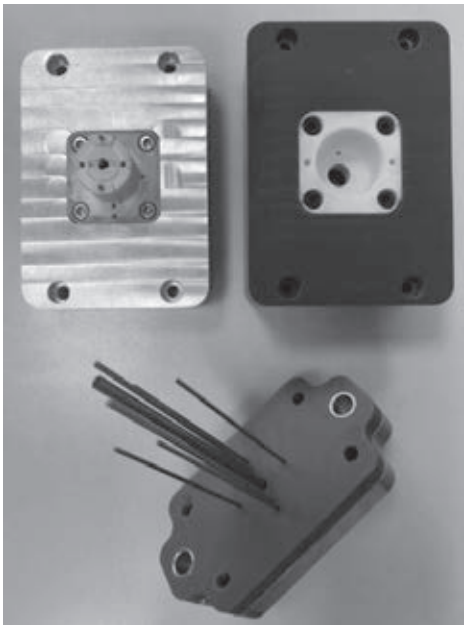
S SLA-tiskanjem smo izdelali brizgalni in izmetalni vložek. Pri izdelavi smo korigirali velikost vložka na osnovi simulacije (skrčka pri simulacije) in validacije tiskanja (napake tiska).



Slika 6: Model vložkov za print



Slika 7: 3D-sken vložka za validacijo dimenzij



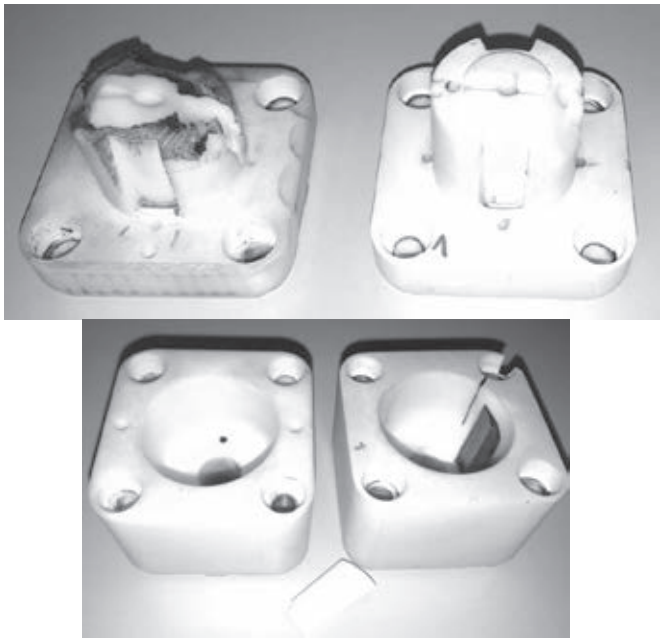
Slika 8: Primer tiskanih vložkov v vložkih orodja

Tiskane vložke smo vstavili v predpripravljene vložke orodja, ki smo jih izdelali iz plastike oz. aluminija s postopkom CNC-rezkanja. V SLA-tiskanem izmetalnem vložku smo povrtali izvrtine za izmetače, da smo dosegli zahtevan ujem. Vložke smo privili v izmenljive plastične vložke orodja in dodali izmetalni paket, ki smo ga prav tako naredili s tiskanjem.

Po sestavi orodja smo izvedli preizkus na stroju za brizganje. Prvi preizkus je pokazal omejitve tiskanih vložkov in omejitve konstrukcije orodja. Pri izmetu so se nam tiskani vložki, ki formirajo zaskok nakrčili na izdelek tako, da jih nismo uspeli dobiti iz njega. Prav tako se je pri nadaljnjem brizganju pokazalo, da je treba vložke pred brizgom namazati s sredstvom za lažje odstranjevanje, drugače je sila snemanja prevelika in vložki ne zdržijo izmeta ter se

odlomijo. Slabost vložkov je natezna obremenitev.

Slika 9: Izdelka z nakrčenimi vložki



Slika 10: Poškodba vložka pri izmetu

Zaradi omenjenega problema smo se odločili, da vložke, ki formirajo zaskok, izdelamo iz kovine. Znova smo natisnili vložke orodja in jih montirali v orodje. Preizkus orodja je pokazal probleme snemanja izdelka. Izdelek se je preveč nakrčil na mestu reber, kar je povzročilo veliko obremenitev izmetalnega vložka pri izmetu. Orodje je odpovedalo po nekaj brizgih.
Z orodjem nam je uspelo narediti samo nekaj dobrih izdelkov.

4 NADALJNJE DELO

Kljub enostavnemu izdelku se je pokazala omejitev tiskanih vložkov – slaba natezna trdnost, ki je na žalost nismo zaznali pri mehanskem preračunu, kjer smo uporabili materialne podatke proizvajalca materiala. Zaradi tega bomo v prihodnje analizirali vpliv smeri tiskanja vložkov in vpliv časa in temperature utrjevanja tiskanega materiala. Pripravili smo si več epruvetk, ki so bile izdelane z različnimi parametri. Rezultate nateznih preizkusov bomo znova uporabili v mehanski simulaciji in validirali rezultate, da bomo naslednjič že na osnovi mehanskega preračuna ocenili smotrnost izdelave tiskanih vložkov SLA.

Slika 11: Natisnjene epruvetke za natezni preizkus

5 POVZETEK

SLA tisk vložkov orodja omogoča hitro in cenovno ugodno izdelavo prototipnega orodja za brizg manjših serij. Kakovost tiskanih vložkov je zadovoljiva za večino plastičnih prototipnih izdelkov, možna je še mehanska dodelava. Pri brizganju je treba vložke obvezno mazati s sredstvom za ločevanje, drugače je sila snemanja prevelika, kar pa lahko povzroči odpoved orodnega vložka pri izmetu. Tiskane vložke SLA smo uporabili še za druge projekte, pri katerih so se izkazali za odlično izbiro.

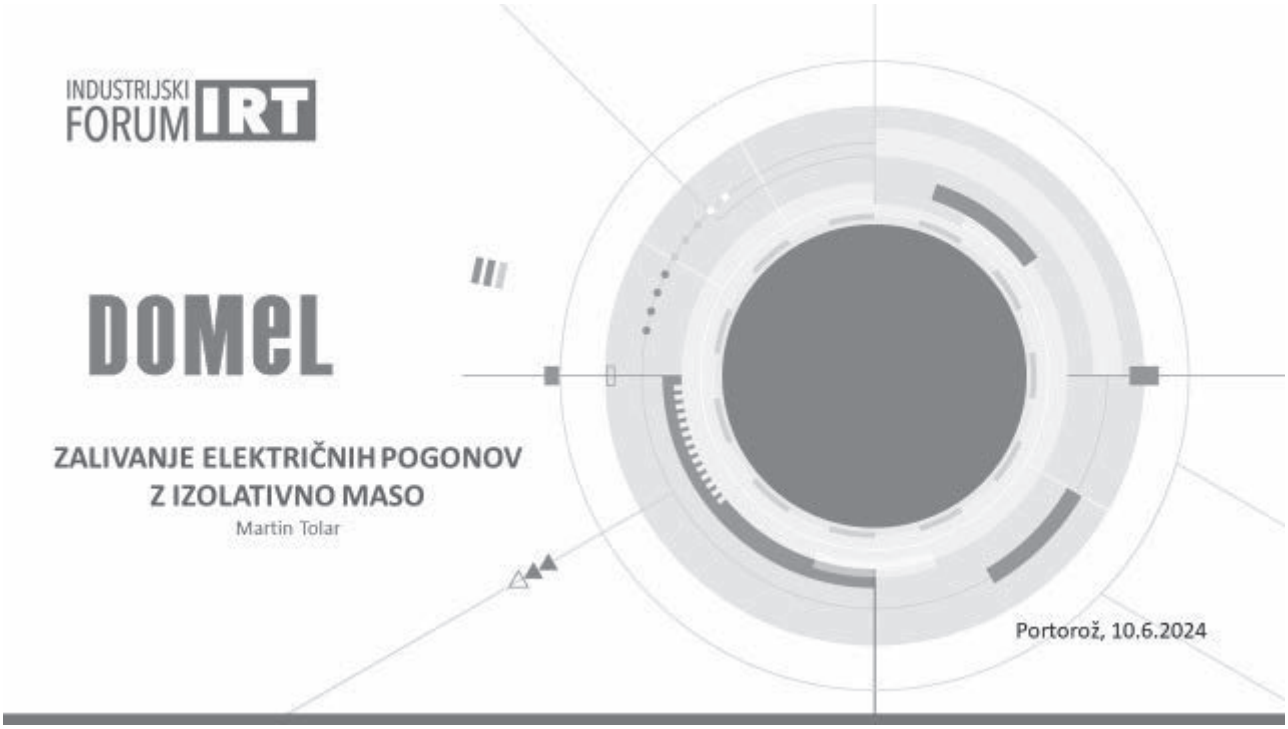
ZALIVANJE ELEKTRIČNEGA POGONA Z ZALIVNO MASO

Martin TOLAR
Domel

IZVLEČEK

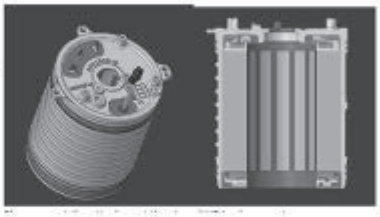
Cilji zalivanja:
- zmanjšanje teže
- zmanjšanje vibracij in hrupa
- zmanjšanje velikosti ob istočasnem povečanju zmogljivosti pogona
- odpornost na temperaturne šoke in povečanje temperature delovanja
- delovanje pri višjih napetostnih obremenitvah

V prispevku je prikazana praktična rešitev zalitja električnega pogona z zalivno maso. S tem postopkom so se zmanjšale vibracije in hrup, ki je eden od ključnih karakteristik E-pogonov.

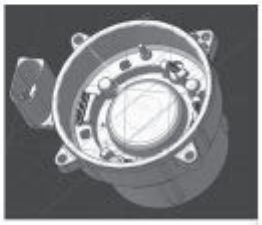


DOMEL Zalivanje električnih pogonov INDUSTRIJSKI FORUM IRT

1. **Cilji zalivanja**
- zmanjšanje teže
- zmanjšanje vibracij in hrupa
- zmanjšanje velikosti ob istočasnem povečanju zmogljivosti pogona
- odpornost na temperaturne šoke in povečanje temperature delovanja
- delovanje pri višjih napetostnih obremenitvah



2. Izbira primernega materiala
- odpornost na kemikalije, vlago
- nizka viskoznost in dobra prekrivanje
- odpornost na temperaturne šoke
- ni veliko odpadkov
- negorljivost
- zmanjšanje vibracij in hrupa
- visoka toplotna prevodnost
- visoka temperatura delovanja
- električna izolativnost



DOMEL Zalivanje električnih pogonov INDUSTRIJSKI FORUM IRT

1. 3. **Tehnike zalivanja električnih pogonov**

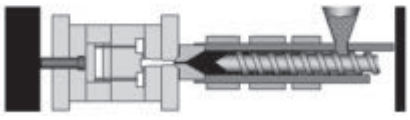
3.1 injekcijsko brizganje s termoplastičnim materialom

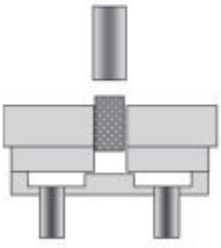
3.2.injekcijsko brizganje s duroplastičnih materialom (BMC masa, fenolne masa , epoxy masa)

3. 3 zalivanje z izolativno maso v vakuumu

3.4 zalivanje z izolativno maso v atmosferi

3.5.tlačno zalivanje duroplastičnih materialov (BMC masa, epoxy masa)



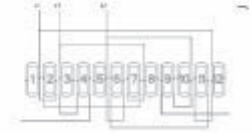


DOMEL

Projekt električnega pogona za E-kolo

INDUSTRIJSKI FORUM IRT

4. Karakteristika pogona
Moč: 500W
Število: vrtljajev: do 6000vrt/min-1
Število obratovalnih ur: 2000
Pogoji delovanja: do 80°C



DOMEL

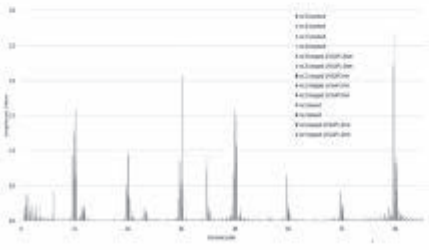
Projekt električnega pogona za E-kolo

INDUSTRIJSKI FORUM IRT

6. Aktivnosti za zmanjšanje hrupa

6.1 oblika statorskega pola
6.2 dodatna utrditev statorja na ohišje električnega pogona

Rezultat: zmanjšanje velikosti momenta iz 2,7Ncm na 1Ncm za 84 harmonik



DOMEL

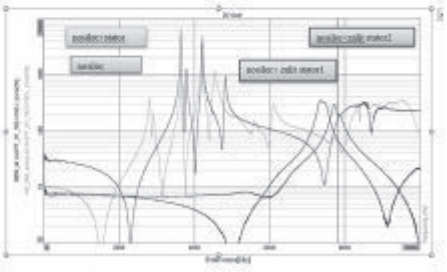
Projekt električnega pogona za E-kolo

INDUSTRIJSKI FORUM IRT

7. Aktivnosti za zmanjšanje hrupa

- zalitje električnega pogona z izolativno maso rezultat je povečanje lastne frekvence

MC62 MC5740 MC622

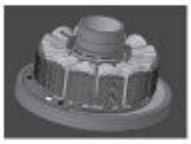


DOMEL

Projekt električnega pogona za E-kolo

INDUSTRIJSKI FORUM IRT

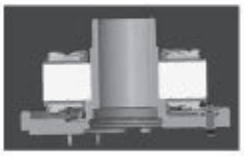
9. Vzorci in testi
Izbira vrste materiala in kriteriji za izbiro:
-tehnološki kriterij
-mehansko, korični kriterij
-cena

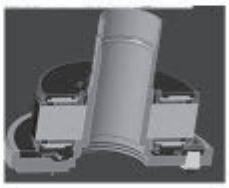


12. Predstavitev zalivanja

Preoblikovanje električnega pogona

Stroj in oprema za zalivanje





Material za zalivanje:
Elan-tronMC5470
Viskoznost: 2200-3200
Maximalna temperatura delovanja:150°C
Tg- 90°C-100°C
Dve komponenti
Majhen skrček
Dobra toplotna prevodnost

AVTOMATIZACIJA VARJENJA PLASTIČNE POSODE ODTOKA Z UPORABO GRELNIH PLOŠČ

Matej VRČKOVNIK[1], Vid ZABRET[2], Albert GRGIĆ[2]
[1]GORENJE IPC, d. o. o.
[2]FLEXIDO, d. o. o.

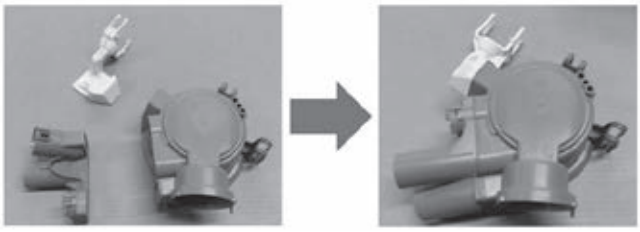
IZVLEČEK

V podjetju Gorenje IPC d.o.o. izdelujemo plastične posode odtoka za nove pomivalne stroje serije DW50/60.
V tej posodi je kasneje nameščena črpalka za umazano vodo, ki je rezultat pranja posode. Posoda je sestavljena iz treh glavnih komponent, ki pa so med sabo zavarjene s postopkom taljenja, z uporabo grelnih plošč. Modifikacija varjenja se je izvedla iz naslova povišanja kapacitet na montažni liniji, torej zaradi višjega proizvodnega plana. Če smo hoteli na obstoječi, iztrošeni in ročno vodeni napravi zagotavljati zadostno količino kosov na izmeno, sta morala na obstoječem stroju delati dva delavca na izmeno. Največje možno število izdelanih kosov na izmeno je bilo 650, kar pa ni zadostovalo za dnevno potrebo 2200 kosov odjema pri finalistu.
Zadali smo si cilj, da avtomatiziramo obstoječ postopek, ki temelji na ročnem vstavljanju v vse tri delovne postaje, ki jih vsebuje proces (varjenje 1, varjenje 2, testiranje), ter da z novo avtomatizirano celico izdelamo vsaj 780 kosov na izmeno z enim delavcem. Skupni prihranek je zmanjšanje števila potrebnih delavcev iz dveh na enega, ter zvišanje kapacitet. Vse ob pogoju, da tehnologija varjenja ostane enaka.
Rezultat posodobitve je, da lahko izdelamo do 820 kosov na izmeno z enim delavcem. Rešitev je izvedlo podjetje Flexido d.o.o.

1 UVOD

V podjetju Gorenje IPC d.o.o., obrat Plastika izdelujemo med drugim tudi plastično varjeno posodo odtoka, ki je vgrajena v pomivalne stroje. Služi kot ohišje, v katerega je nameščena črpalka za odpadno vodo, ki nastane po končanem ciklu pranja. Posoda je sestavljena iz treh sestavnih delov, material PP *(slika 1)*:

- posode odtoka
- cevne povezave
- pokrova senzorja.



Slika 1: sestavni deli posode odtoka

Vsi sestavni deli so med sabo zavarjeni s postopkom termo varjenja, torej z uporabo grelnih plošč. Iz vidika kakovosti je varjena posoda odtoka kritična komponenta, saj morajo zvari 100% tesniti, da pri uporabi ne pride do puščanja vode. Proces varjenja je sestavljen iz treh glavnih postaj oz. operacij, ki si sledijo v zaporedju:

- varjenje cevne povezave na posodo odtoka
- varjenje pokrova senzorja na posodo odtoka
- testiranje tesnosti z nadtlakom

Obstoječa celica za proizvodnjo je sestavljena iz treh postaj, v katere delavec ročno vlaga kose za varjenje, ter jih med fazami tudi ročno prestavlja. Torej, po vsaki končani operaciji na dotični postaji, prevzame kos, ter ga prenese na naslednjo postajo, obstoječo prazno postajo pa zasede z novim kosom. Tako vzpostavi cikličen proces varjenja.

Sam proces bazira na ročni manipulaciji kosov med operacijami oz. postajami, ki so vsaka zase neodvisno varovana z dvižnimi vrati ter dvoročnim vklopom. Posledično izgubimo veliko časa za manipulacijo, zato lahko v osmih urah zvarimo največ 650 kosov s posluževanjem z dvema delavcema.

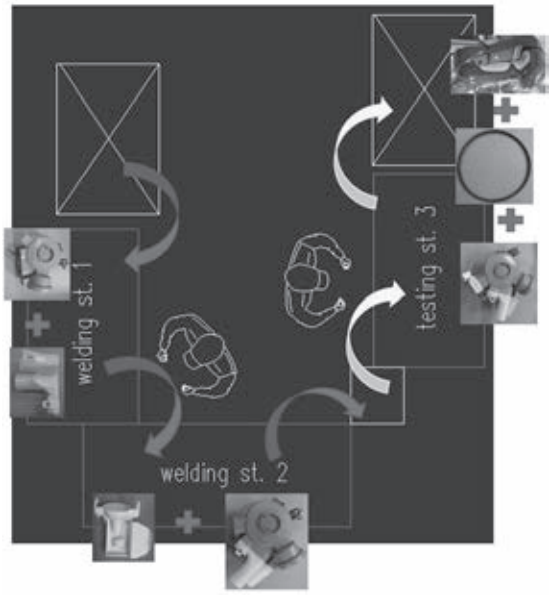
Matej VRČKOVNIK[1], Vid ZABRET[2], Albert GRGIĆ[2]
[1]GORENJE IPC, d. o. o.
[2]FLEXIDO, d. o. o.

Ker smo interni dobavitelj naši tovarni pomivalnih strojev, lahko naredimo največ 2.010 kosov na dan (delo na 3 izmene). Glede na to, da montažna linija potrebuje v povprečju 2.200 kosov na dan, je bilo potrebno proces varjenja optimirati v smeri višje produktivnosti in učinkovitosti.

Posledično smo pričeli z zbiranjem idej in predlogov, kako bi lahko proces v največji možni meri avtomatizirali, upoštevajoč predpostavko, da ostane postopek varjenja enak, torej z uporabo grelnih plošč. Osnovna ideja je temeljila na uporabi robota v zaprti celici, v kateri so nameščene vse tri postaje za izdelavo končnega izdelka. Delavčeva naloga bi bila, da vse tri kose naloži na mizo oz. namenska gnezda, katere kasneje robot prevzame v notranjosti celice in jih po tehnološkem redu nalaga in odlaga od prvega varjenja do končane zavarjene in označene kompletne posode odtoka. Cilj oz. rezultat avtomatizacije je bil tudi dvig produktivnosti, ter posledično zmanjšanje števila delavcev na tem delovnem mestu.

2 OBSTOJEČA NAPRAVA ZA TERMO VARJENJE Z UPORABO GRELNIH PLOŠČ

Naprava je sestavljena iz treh baznih postaj, na katerih izmed prvih dveh varimo kose, na tretji pa se izvaja testiranje tesnosti. Stroj poslužujeta dva delavca na izmeno, dosežena proizvodnja količina je 650 kosov (slika 2).

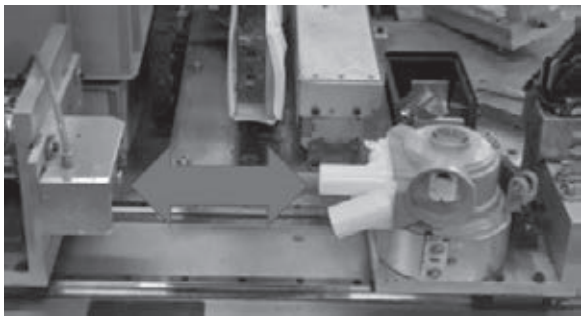


Slika 2: Postopek dela na celici

Na prvi postaji vložimo dve komponenti, kateri med sabo varimo, na drugo postajo vložimo varjeni kos iz prve postaje ter tretji kos za varjenje, katerega predhodno namestimo na namenski printer, ki natisne QR kodo za sledljivost. Po končanem drugem varjenju in tiskanju, kos prestavimo na tretjo, zadnjo postajo, kjer se izvede test tesnosti. Po uspešno končanem testu, se posoda fizično označi, na koncu še delavec doda gumijasto tesnilo in ročno skenira črtno kodo.

2.1. Varilna postaja 1

Na tej varilno postaji zavarimo cevno povezavo na glavno posodo. Oba kosa se ročno vstavita v namenska jedra, delavec pa z dvoročnim vklopom aktivira zaščitna spustna vrata. Ko se vrata zaprejo, se prične postopek topljenja obeh kosov tako, da se kosa s pomočjo pnevmatskih cilindrov pomakneta do grelca, le ta pa se preko aksialnega vodila pomakne med oba kosa *(slika 3).*


Slika 3: Varjenje cevne povezave

Ko preteče določen čas topljenja na temperaturi med 200 in 220 °C, se grelec odmakne, pnevmatska cilindra pa pritisneta kosa skupaj in tako zlepita stopljeni površini na obeh kosih. Po pretečenem času stiskanja, se oba jedra odmakneta v prvoten položaj, kjer delavec prevzame zavarjen kos s cevno povezavo.

2.2. Varilna postaja 2

Varilna postaja 2 je namenjena varjenju pokrova senzorja na posodo odtoka, ter označevanju posode z uporabo tiskalnika za QR kode. Postopek varjenja je enak kot na varilni postaji 1. Po prvem koraku varjenja, vstavimo kos v jedro, prav tako kot pokrov senzorja, ki se vari v tem

koraku. Pokrov senzorja je predhodno označen s printerjem QR kode, ki je nameščen v tej varilni postaji in ga je potrebno ročno namestiti na mesto tiskanja. Po končanem varjenju, dobimo kompletno posodo odtoka *(slika 3).*

Slika 3: Varjenje in tiskanje pokrova senzorja

2.3 Testna postaja 3

Zadnja postaja je namenjena izvajanju tesnosti zvarov. To je pomembno iz vidika zagotavljanja 100% kontrole tesnosti, saj zavarjeni komplet ne sme puščati, ker v nasprotnem primeru to pomeni odpoved aparata. Delavec namesti zavarjeni kos na jedro, ob katerem so nameščeni pnevmatski cilindri s tesnilnimi gumicami (slika 4).

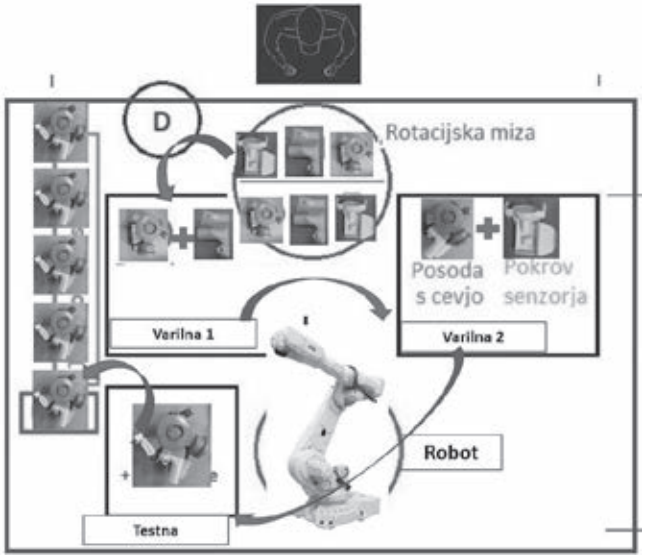
Slika 4: Varjenje in tiskanje pokrova senzorja

Ko se zaprejo varovalna vrata, se avtomatsko sproži cikel zapiranja odprtin na šestih mestih. Cilindri se zaprejo sinhrono. Ko dosežejo končno stopnjo, se v posodo načrpa nadtlak. Po doseženem končnem nadtlaku, se prične čas meritve padca tlaka, vezano na časovni interval. Če v določenem časovnem intervalu padec nadtlaka ni zaznan, se na testni napravi aktivira označevalni trn, ki fizično označi posodo, kar pomeni 100% kontrolo tesnosti.
Zatem delavec prevzame posodo iz testne postaje, doda gumijasto tesnilo in z ročnim skenerjem preveri QR kodo, če je le ta natisnjena ustrezno.

3 NOVA AVTOMATIZIRANA ROBOTSKA CELICA ZA VARJENJE Z UPORABO GRELNIH PLOŠČ

3.1. Cilj in ideja

Za doseganje zastavljenega proizvodnega plana je bilo potrebno proces avtomatizirati v največji možni meri. To je pomenilo prehod iz dveh na enega delavca ter avtomatiziran proces varjenja z uporabo robota ter linearnih vodil. Prav tako smo upoštevali ergonomski vidik na delovnem mestu, saj je na trenutni varilni postaji ergonomska obremenitev hrbtenice ter nog zaradi rotacije na delovnem mestu velika (slika 5).



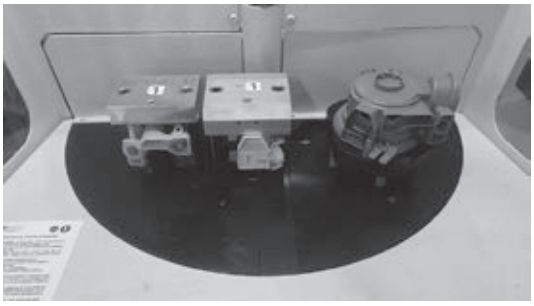
Slika 4: Idejna skica varilne celice

Za dvig produktivnosti in učinkovitosti smo postavili cilj, da z novo celico dosežemo vsaj 780 kosov na izmeno, ob predpostavki, da je delo izvedeno s strani enega delavca.

Celica je bila načrtovana v kompaktni izvedbi. To pomeni, da so se vsi postopki optimirali do te mere, da so dimenzije celice ostale znotraj 4 m².

3.2. Vstavljanje kosov / rotacijska miza

Rotacijska miza (slika 5). je namenjena transportu treh jeder, v katere vstavimo plastične kose. Rotacija se vrši iz cone vlaganja (cona je varovana z varnostno zaveso) v notranjost celice, kjer se vrši postopek varjenja in testiranja.



Slika 5: Rotacijska miza

Miza se proži preko zagonskega gumba na komandnem pultu, kjer je tudi nameščen gumb za ročni pomik transportnega traku, v primeru, ko delavec konča z varjenjem in mora sprazniti celico. Ko delavec sproži pričetek cikla, miza zarotira za 180 stopinj. Transportira surove kose za varjenje v notranjost celice, obenem pa dostavi prosta tri gnezda na izhodiščno pozicijo, kjer delavec ponovno naloži sveže kose v jedra, ter tako zagotovi nemoten proces odjema kosov za postopek varjenja

3.3. Robot

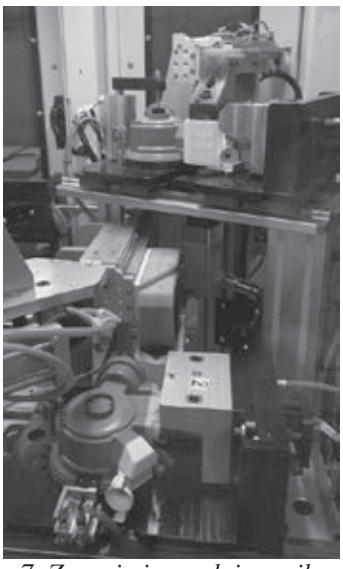
Za to aplikacijo smo izbrali industrijskega robota Yaskawa s sposobnostjo prenašanja bremen do 7 kg (slika 6).

Slika 6: Rotacijska miza

Glede na to, da imamo na oddelku vse ostale robote omenjenega podjetja, je to bila logična odločitev predvsem iz vidika strojnikov, ki že znajo upravljati s temi roboti.
Robot je namenjen manipulaciji kosov med rotacijsko mizo in obema varilnima postajama. Prijemalo na robotu je sestavljeno iz mehanskega prijemala in vakuumskega prijemala. Vsa prijemala so napajana s komprimiranim zrakom, odpiranje ventilov pa krmili brezžični sistem Festo, ki omogoča dovod samo ene cevi do glave robota.

3.4. Varilni postaji 1 in 2

Obe varilni postaji (slika 7) so posluževani s strani robota. Po rotaciji mize, ki dostavi kose v notranjost celice oz. izhodišče za prijem z robotom, robot z vakuumskim prijemalom prevzame posodo odtoka ter pokrov senzorja, ki je vstavljen v jedro. Jedra se transportirajo s pomočjo mehanskih prijemal z avtomatskim zaklepom.



Slika 7: Zgornja in spodnja varilna postaja

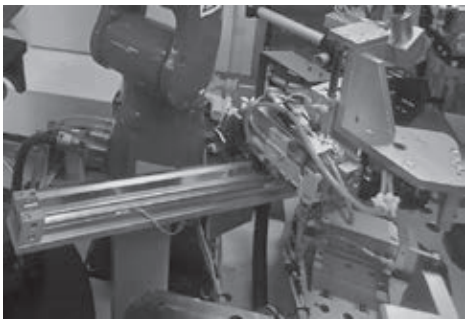
Robot prenese posodo odtoka in pokrov senzorja na zgornjo, torej prvo varilno postajo. Posodo odtoka odloži na jedro za posodo, jedro, ki vsebuje pokrov senzorja pa odloži na stransko prijemalo, ki preko mehanskih zaklepov pridrži jedro. Ko sta oba kosa nameščena, se prične proces taljenja, to pomeni, da se grelec pomakne med oba plastična kosa, koračni motor pa preko

zobate letve pritisne kosa na grelec. Po določenem času taljenja na grelcu, motor kosa odmakne, grelec se prestavi v prvotni položaj. Takoj zatem se izvrši postopek varjenja oz. stiskanja. Po določenem času stiskanja, robot pobere posodo na prvi grelni postaji in jo prestavi na drugo grelno postajo, kjer doda še jedro s cevno povezavo.

Tudi na drugi varilni postaji se najprej izvrši postopek taljenja, sledi mu postopek varjenja oz. stiskanja.

3.5. Linearna transportna naprava

Po končanem varjenju, prevzame transport linearna transportna naprava (slika 8), ki prenese zavarjeno posodo od druge varilne postaje do testne postaje.

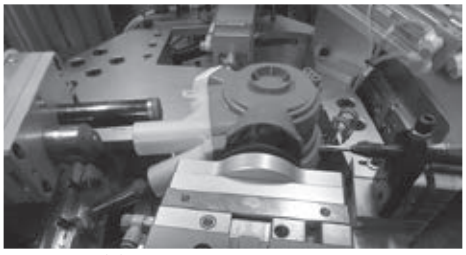


Slika 8: Linearna transportna naprava

Dvig posode se vrši preko vakuumskih prijemal, nato pa jo linearna transportna naprava odloži na sedišče testne naprave.

3.6. Testna naprava

Testna naprava (slika 9) je namenjena preverjanju tesnosti zvarov na obeh varilnih območjih.

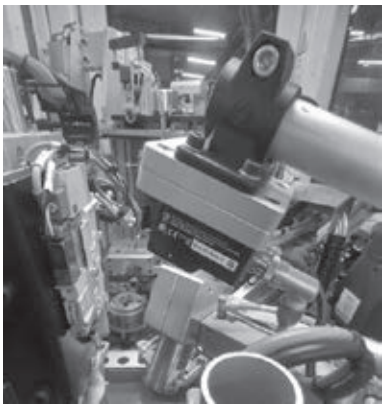


Slika 9: Testna naprava

Cikel testiranja se prične, ko linearna transportna naprava odloži posodo na testno napravo, zapiralni trni pa zaprejo vse odprtine. Zatem se v posodo načrpa nadtlak, katerega merimo z digitalnim merilcem. Uspešnost tesnjenja se preveri z zadrževanjem tlaka v določenem časovnem obdobju. V primeru, da tlak pade, posoda ne tesni in se kot slaba avtomatsko izloči v prostor za izmet.

3.7. Printer in čitalec kode

Po končanem testiranju je potrebno posodo označiti s QR kodo in tako zagotoviti sledljivost. V ta namen se uporablja brizgalni tiskalnik (slika 9), ki na pokrov senzorja nabrizga sledilno kodo, uspešnost tiska pa se takoj zatem preverja z avtomatskim čitalcem kode. Po končani označbi, linearna transportna naprava na testni postaji odloži posodo na transportni trak.



Slika 9: Linearna transportna naprava

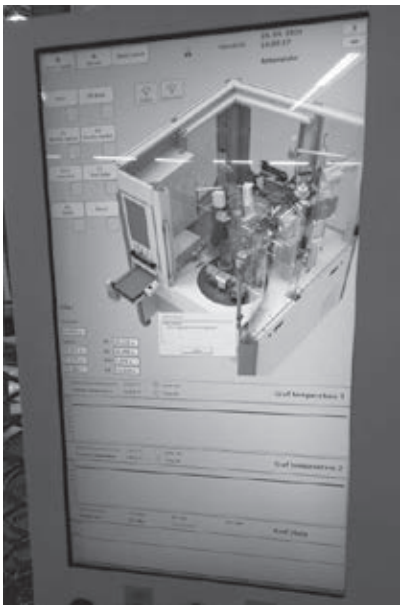
3.8. Transportni trak

Transportni trak (slika 10) ima dve funkciji. Prva je, da transportira dobre kose do delavca, ki jih prevzame , doda gumijasto tesnilo in jih odloži v paleto. Druga funkcija je, da v primeru slabega kosa spremeni smer vrtenja in odloži slab kos v posodo za izmet.

Slika 10: Transportni trak

3.9. Operacijski zaslon

Celotni delovni proces je nadzorovan iz glavnega upravljalnega panela (slika 11), ki je nameščen tik ob mizi za transport kosov. Panel je interaktiven, saj lahko delavec preko monitorja dostopa do nastavitev bodisi z premiki med meniji ali pa s pritiskom direktno na shemo stroja. Tako je omogočen hiter dostop do določenih



Slika 11: Upravljalni panel

4. SKLEP

Z integracijo avtomatizirane celice za varjenje, smo zvišali produktivnost in učinkovitost (Tabela 1). Na obstoječi celici smo na izmeno z dvema delavcema lahko dosegli največ 650 kosov na izmeno, skupna dnevna proizvodnja pa ni presegala 2000 kosov.

	prej	potem
najvišje št. kosov / izmeno	650	820
št. delavcev/izmeno	2	1
št. kosov/3 izmene	1950	2460

Tabela 1: primerjava produktivnosti

Ker je zahteva odjemalca bila 2200 kosov na dan, smo z avtomatizacijo postopka dosegli krajše takte izdelave ter omogočili izvedbo procesa s samo enim delavcem. Produktivnost smo zvišali iz 650 kosov na 820 kosov, z zvišanjem učinkovitosti procesa, pa smo prihranili enega delavca na izmeno. Sedaj lahko naredimo do 2460 kosov v teh izmenah.

TRANSFORAMCIJA AVTOMOBILSKE INDUSTRIJE – NOVE PRILOŽNOSTI ZA PROIZVAJALCE KAROSERIJSKIH DELOV

Aleš ADAMLJE
HELLA SATURNUS SLOVENIJA, d. o. o.

IZVLEČEK

S prihodom električnih vozil se spreminjajo trendi oblikovanja karoserijskih delov avtomobilov. Zaradi težnje po individualizaciji se trgu predstavljajo nove oblikovne in funkcijske rešitve za polizdelke in sestave, to pa za dobavitelje sestavnih delov in sklopov predstavlja novo priložnost.

Večja kompleksnost izdelkov prinaša nove priložnosti tudi proizvajalcem karoserijskih polizdelkov iz polimernih materialov.

V članku bo predstavljen osvetljen panel za sprednji del vozila na električni pogon, ki ima dve ključni značilnosti: možnost harmonizacije barve panela z barvo karoserije in vgradnja dodatnih funkcij.

1 UVOD

Trendi oblikovanja vozil so se s prihodom električnih vozil spremenili, saj odsotnost konvencionalnih motorjev z notranjim zgorevanjem prinaša več svobode pri oblikovanju. Poleg elektrifikacije so ključni trendi tudi: individualizacija, varnost, povezljivost in trajnostni razvoj (slika 1).

Slika 1: Trendi pri oblikovanju vozil

Individualizacija, kljub zmanjšanju števila modelov posameznih proizvajalcev in zmanjšanju števila dodatnih opcij opreme znotraj modela, prinaša možnost prilagoditve avtomobila posameznemu kupcu in vgradnjo unikatne opreme za posameznega kupca. Trendi na področju varnosti gredo v smeri povečanja tako aktivne kot pasivne varnosti. Z vgradnjo senzorjev, kamer, radarja, lidarja, ki postajajo pomemben sestavni del sestavov karoserije avtomobila se poveča tako aktivna kot pasivna varnost. Proizvajalci vedno večjo pozornost namenjajo zaščiti pešcev, kar pomembno vpliva na oblikovanje karoserijskih delov prednjega dela vozila. Zaradi trendov po avtonomni vožnji postajata povezljivost avtomobila z ostalimi udeleženci v prometu ter možnost samodejne posodobitve programske opreme na daljavo nepogrešljivi opremi sodobnih avtomobilov. Delež trajnostnih materialov za karoserijske dele avtomobilov se iz leta v leto povečuje in prinaša proizvajalcem karoserijskih delov nove izzive. Uporabi recikliranih materialov na osnovi mehanske reciklaže z uporabo industrijskih odpadkov pri kompaundiranju materiala se pridružujejo materiali pridobljeni na okolju prijazen način in materiali pridobljeni na osnovi odpadkov končnih potrošnikov.

Vsi trendi imajo pomemben vpliv na oblikovanje karoserijskih delov avtomobilov, saj le ti postajajo več funkcijski z integracijo svetlobnih in ostalih funkcij. Zmanjšanje števila karoserijskih delov in

s tem večji gabariti le teh, dodatne funkcije integrirane v polizdelke in sestave, zahteve po uporabi okolju prijaznih materialov ter vedno večja konkurenca na trgu postavljajo proizvajalce karoserijskih delov in sklopov pred nove priložnosti in izzive hkrati. Nabor konvencionalnih postopkov in tehnologij, ki so se desetletja uporabljale za izdelavo karoserijskih delov ni dovolj za ohranitev konkurenčnosti na trgu in ne zadošča novim trendom pri oblikovanju karoserijskih delov. Tradicionalna izdelava posameznih sestavov s strani specializiranih proizvajalcev (kot npr. proizvajalci odbijačev, proizvajalci svetlobne opreme, pločevinastih delov karoserije..) postaja preteklost. Posamezni dobavitelji sestavov morajo razširiti portfelj izdelkov, če želijo obstati na globalnem trgu. Novi trendi zahtevajo od proizvajalcev nenehno sledenje spremembam na trgu in osvajanje novih znanj tudi na področjih tehnologij, ki se do sedaj niso uporabljala pri izdelavi določenih polizdelkov in sklopov iz polimernih materialov. Dodaten izziv predstavljajo različne smeri razvoja in zahteve posameznih proizvajalcev, saj so koncepti izdelkov čedalje bolj diverzificirani. Primer povsem različnih smeri razvoja posameznih proizvajalcev je sprednja maska avtomobila, ki je bila v preteklosti pri večini proizvajalcev v obliki prezračevalne rešetke z integriranim emblemom, danes pa postaja eden najpomembnejših oblikovnih elementov avtomobila (slika 2).

Slika 2: Prednji del avtomobila nekoč in v prihodnosti [prirejeno po 1 in 2]

S tem se širi možen nabor konceptov prednjega dela avtomobila, glede samih konceptov pa prihaja do vedno večjih razlik med premijskimi in ostalimi proizvajalci. Nabor svetlobne opreme avtomobila, ki je bil v preteklosti vezan na osnovno funkcijo – osvetlitev vozišča, se je v zadnjih letih zelo razširil. Poleg osnovnih svetlobnih funkcij osvetljevanja prednjega in zadnjega dela avtomobila, čedalje pomembnejšo vlogo igra osvetlitev celotne karoserije avtomobila, ki na trg prinaša nove karoserijske polizdelke in zahteve po uporabi naprednih tehnologij. Sprememba regulativ je prinesla nove možnosti glede snovanja osvetljenih emblemov, panelov in ostalih osvetljenih karoserijskih delov, ki bodo postali nepogrešljiv del svetlobne opreme novih avtomobilov. Na sliki 3 je prikazan primer koncepta osvetljenega prednjega dela avtomobila pri katerem je funkcija "welcome light" integrirana v panel.

Slika 3: Prednji panel z integrirano svetlobno funkcijo "welcome light" [1]

Na sliki 4 je prikazan primer koncepta panela z integriranim zaslonom, ki omogoča prikaz različnih sporočil in interakcijo z okolico.

Slika 4: Koncept prednjega panela z integriranim zaslonom [1]

Z uvedbo različnih stopenj avtonomne vožnje postaja vedno pomembnejša tudi interakcija avtomobila z okolico. Oblikovalci uvajajo dodatne svetlobne funkcije, ki le to interakcijo omogočajo.

Na sliki 5 je prikazan primer koncepta osvetlitve boka avtomobila, ki ponazarja, da je avtomobil v načinu avtonomne vožnje.

Slika 5: Koncept osvetlitve boka avtomobila, ki ponazarja avtonomno vožnjo [1]

S spremembo regulativ so se na trgu pojavili tudi novi koncepti emblemov. Le ti so osvetljeni ali/in imajo dodatno vgrajeno funkcijo radarja (slika 6).

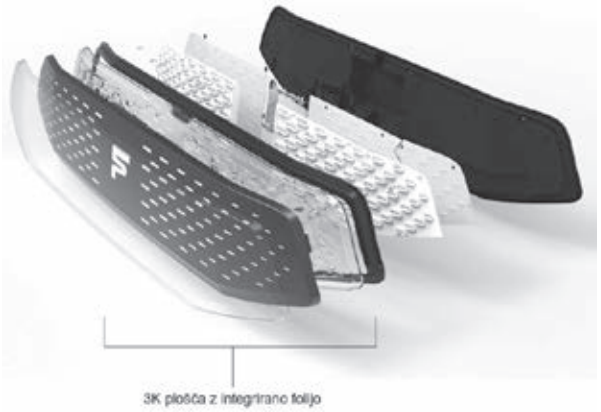
Slika 6: Koncept osvetljenega pokrova radarja (Radome) [1]

2 KONCEPTI PANELOV

Sprednji paneli postajajo pomemben oblikovni in funkcijski karoserijski del avtomobila. V zadnjih letih so bili na trgu predstavljeni različni koncepti panelov za električna vozila, ki sledijo različnim zahtevam in pričakovanjem proizvajalcev vozil. V podjetju Hella Saturnus smo industrializirali panel za premijski model vozila. Pri panelu (slika 7) je ključni poudarek na uporabi novih tehnoloških postopkov, ki so omogočili harmonizacijo barve panela z barvo karoserije avtomobila. Ključna prednost panela je v načinu izdelave. Plošča panela po brizganju in nanosu zaščitnega sloja ne zahteva dodatnih procesnih korakov. Z uporabo novih tehnologij brizganja z vstavljanjem dekorativnega filma ploščo izdelamo v barvnem odtenku harmoniziranem z barvo karoserije avtomobila. Zahteva po različnih barvah ima pomemben vpliv na tehnološki proces izdelave saj sestava filma ni enaka za vsakega od barvnih odtenkov. Pri postopku brizganja imajo različni odtenki filmov ob uporabi enakih procesnih parametrov, različen vpliv na nastanek dekorativnih in/ali funkcijskih napak na izdelku.

Slika 7: Panel v barvi harmonizirani z barvo karoserije vozila. [prirejeno po 3]

Glede na povpraševanje na globalnem trgu smo v podjetju razvili tudi prototipni pametni panel Forvia v različnih variantah. Plošča panela je zasnovana modularno in omogoča izdelavo različnih variant izdelka glede na zahteve kupca.



Slika 8: Eksplozijska risba Panela [prirejeno po 4]

Prednja plošča je izdelana s postopkom večkomponentnega brizganja z možnostjo direktnega lakiranja v orodju, ki se je v avtomobilski industriji do sedaj uporabljalo za komponente v potniški kabini avtomobila. V primeru direktnega lakiranja v orodju je plošča pripravljena za vgradnjo v končni sestav brez dodatnega lakiranja. Modularna zasnova izdelka in

orodja omogoča tako različne designe izdelka kot tudi harmonizacijo barve panela z barvo karoserije avtomobila. Z namenom preveritve različnih možnosti in variant smo izdelali in testirali različne koncepte izdelkov, ki bi zapolnili pričakovanja in zahteve kupcev premijskih znamk in znamk nižjega cenovnega razreda. Na sliki 9 so predstavljeni paneli Forvia harmonizirani z barvo vozila in različnih designov, ki so izdelani v istem orodju z uporabo različnih dekorativnih filmov. Koncept omogoča izdelavo velikega števila variant z nizkimi dodatnimi stroški za novo varianto in s tem možnost večje individualizacije.

Slika 9: Panel Forvia v barvah harmoniziranih z barvo karoserije

3 TEHNOLOŠKI IZZIVI IN PRILOŽNOSTI PRI IZDELAVI PANELOV

Nove zahteve proizvajalcev avtomobilov prinašajo proizvajalcem karoserijskih delov avtomobilov dodatne priložnosti in izzive. Zaradi novih konceptov izdelkov in dodatnih zahtev kupcev izdelava izdelkov z uporabo samo konvencionalnih tehnoloških postopkov ni možna. Preživetje na globalnem trgu je možno le z uvedbo novih tehnologij, ki nam omogočajo večjo fleksibilnost in zaradi spremembe designa izdelkov tudi izdelavo kompleksnih sestavov za sprednji del karoserije avtomobila, ki so bili v preteklosti domena specializiranih dobaviteljev. Če je bil v preteklosti prednji del avtomobila sestavljen iz večjega števila sestavov manjših gabaritov, ki so jih dobavljali posamezni dobavitelji, gredo danes trendi v smer zmanjšanja števila sklopov in povečanja gabaritov posameznih sestavnih delov in sklopov, z več funkcijami. Na sliki 10 so predstavljeni trendi glede velikosti sprednjih panelov. Paneli verzije 1 so že na trgu, za verziji 2 in 3 obstajajo študije in prvi prototipi.

Slika 10: Trendi pri oblikovanju sprednjega dela vozila in plošč sprednjega panela [prirejeno po 1]

Trend povečevanja velikosti panelov s sabo prinaša številne izzive od izbire ustreznih materialov in tehnoloških postopkov za izdelavo, novih konceptov orodij, razpoložljivosti strojne opreme do potrebnih dodatnih znanj na vseh področjih razvoja in industrializacije dekorativnih izdelkov večjih gabaritov.

4 SKLEP

Novi trendi v avtomobilski industriji zahtevajo hitro prilagajanje potrebam trga in partnersko sodelovanje s kupci in poddobavitelji že v zgodnjih fazah razvoja izdelka. Čedalje večja kompleksnost zahteva tudi tesno sodelovanje vseh oddelkov v podjetju, ki se ukvarjajo z razvojem in industrializacijo izdelka. Inovativnost, sledenjem zahtev trga in pravočasno uvajanje novih tehnologij prinaša nove priložnosti in nam hkrati omogoča konkurenčnost na globalnem trgu.

Viri:

[1] Hella Media, Pridobljeno na: https://www.hella.com/lighting/en/Media-1850/

[2] Golf 5th Generation (2003-2008) Pridobljeno na: https://www.volkswagen-newsroom.com/en/golf-5th-generation-2003-2008-17910

[3] Polestar 3 Wie ein SUV. Nur besser. Pridobljeno na: https://www.polestar.com/at/polestar-3/

[4] M.Ličen, T.Štajner. J. Kogovšek, J Helmig, R.Meisenheimer, C.Klinkenberg: Front Phygital Shield - System integrator, ISAL 2023, Proceedings, of the 15th International symposium on Automotive Lighting, 25.-27, September, Darmstadt, Prof.Dr.-Ing Habil. Tran Quoc Khanh, Laboratory of Adaptive Lighting systems and Visual procesing, TU Darmstadt, WBG Publishing services, 2023, str 179÷188

RAZVOJ IN PROIZVODNJA OHIŠIJ ZA TOČENJE GORIVA / POLNJENJE BATERIJ ICE, PHEV IN BEV VOZIL

Dejan KOZJEK
Siliko d.o.o.

IZVLEČEK

V Siliku smo, kot razvojni partner premijskim evropskim avtomobilskim proizvajalcem, pridobili in izvedli zahteven projekt razvoja, testiranja in proizvodnje ohišij za točenje goriva ICE in polnjenje baterij PHEV in BEV izvedenke nove BMW serije 7.

Tehnološko že tako zahtevnemu izdelku je dodaten izziv dodalo še dejstvo, da smo razvijali za »flagship« vozilo premijskega proizvajalca. Zahteve glede kakovosti na končnih sestavih, s strani kupca, so izjemno visoke. Višje kot pri podobnih predhodnih projektih, kar pomeni veliko vložka s strani celotne razvojne ekipe, torej ekip razvojih inženirjev, testnega laboratorija, oddelka kakovosti, merilnice, ekipe tehnologov ter seveda ostalih članov projektne ekipe. Osnovnim funkcionalnim zahtevam, kot so ustrezna togost, dimenzijska stabilnost, predpisane sile in časi odpiranja, odpornost na kemikalije in staranje, so se v omenjenem projektu pridružile še strožje zahteve po vizualnem izgledu (ravnost, struktura površine, …). Za uspešno izvedbo projekta so bile ključne tudi numerične simulacije in natančna ter kakovostna izdelava orodij in priprav.

V sklopu projekta smo izvedli lasten razvoj in izdelavo izdelkov (skupno 8), interno razvili in proizvedli proizvodna sredstva (orodja, montažna priprava, brusilna priprava) ter razvili nove procese (injekcijsko kompresijsko brizganje, avtomatsko brušenje, pol-avtomatska montaža s končno kontrolo, avtomatska kontrola površine) in jih uspešno vključili v serijsko proizvodnjo.

1 UVOD

S strani kupca BMW, smo bili v podjetju SILIKO, nominirani za projekt LKS/TKS G70. V prvih fazah projekta smo večji obseg virov namenili za razvoj dizajna in izvedbo »validacijskih« testiranj na projektu razvoja ohišij za priklop napajanja pri polnjenju baterije električnih vozil in ohišij za polnjenje goriva vozil z motorjem z notranjim izgorevanjem. Nominirani smo bili za nov projekt G7x, v katerega smo, na podlagi izkušenj pridobljenih na uspešno izvedenih projektih LKS F48 in F39 PHEV, pristopili strateško, za pridobitev dodatnih izkušenj na tovrstnih sistemih.

Glavni fokus, je bil, da kot razvojni partner pripravimo ustrezno geometrijo za najboljšo funkcionalnost končnih sestavov ter, da postavimo serijski proces izdelave, ki bo zagotovil najvišjo učinkovitost in kakovost proizvodnje.

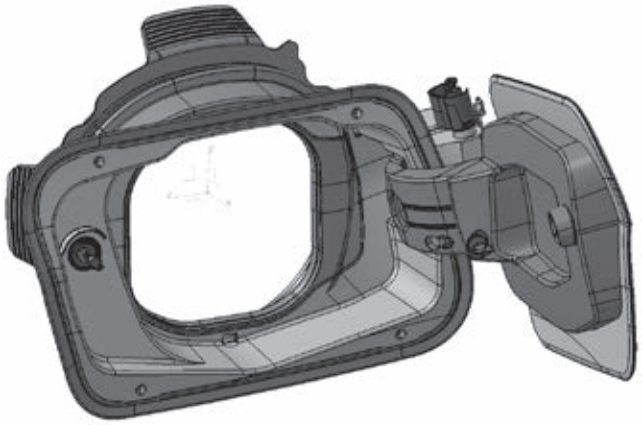
Sklop izdelkov sodi v skupino artiklov z višjo dodano vrednostjo in predstavlja ciljno strukturo projektov podjetja tudi v prihodnosti.

2 RAZVOJ SISTEMOV

Sistemi na projektu so si konceptualno podobni, s to razliko, da je pri »Charging Systems« oz. »Ladeklappensystem«, v centralnem delu sistema, nameščena polnilna vtičnica, za polnjenje baterije, pri »Fuel Filler System« oz. »Tankklappensystem«, pa je na temu mestu nameščen sistem dozirnih cevi za gorivo. V sklopu LKS (»Ladeklappensystem«), so vključeni PHEV sistemi za priključna hibridna vozila in BEV sistemi za popolnoma baterijska vozila, v sklopu TKS (»Tankklappensystem«) pa sistemi ICE (vozila, z notranjim zgorevanjem) in ICE SCR (vozila z notranjim zgorevanjem, z dodanim sistemom »AdBlue« za zmanjšanje izpusta škodljivih emisij).

Projekt vključuje sisteme, nameščene v sprednji levi blatnik in pa v zadnji desni bok vozila. Sprednji sestavi ohišja so narejeni iz več elementov izdelanih iz termoplastov, poimenovanih »Housing«, »Hinge Arm«, »Cover«, »Axle«, kateri so v celoti razviti in proizvedeni v našem podjetju ter iz kupljenih kosov vzmeti in aktuatorja.

Sestavi na zadnjem delu vozila pa ne vključujejo »Cover-ja«, dodatno pa so vanje nameščeni kosi »Sealing Cap« in v eni izmed verzij (ICE PHEV) tudi »Emergency Release Rope«, ki je nameščen direktno na aktuator. Vsi zadnji sistemi imajo na zunanjem delu kosa »Housing« dodaten sistem tesnjenja z mehko komponento, zaradi drugačne postavitve elementov v okolici ohišja. Kupljen kos – aktuator, ki bo uporabljen na projektu je bil tekom projekta še v fazi razvoja, kar je za naš projekt prineslo dodatna testiranja in usklajevanja med našo ekipo, dobaviteljem aktuatorja in kupcem.



Slika 1: 3D geometrija zadnjega sistema BEV

Dodaten element, ki je bil na projektu, za nas nov, je pokrov sistema ohišja oz. »Flap«, za katerega smo izbrali novo tehnologijo izdelave (injekcijsko kompresijsko brizganje), ki je za take sklope, v celotni avtomobilski industriji, nekaj novega.

Zaradi omenjenega novega procesa izdelave, smo morali vložiti veliko sredstev za analizo in razvoj ter končno implementacijo. Razvoj novih procesov je potekal skozi celoten projekt, do končne potrditve serijskih kosov.

2.1 Zahteve

Zahteve glede kakovosti na končnih sestavov, s strani kupca, so izjemno visoke, višje kot pri podobnih predhodnih projektih, ki smo jih izpeljali v podjetju, kar pomeni veliko vložka s strani razvojnih inženirjev, testnega laboratorija, oddelka kakovosti, merilnice, tehnologov ter ostalih članov celotne razvojne ekipe.

Uskladitev zahtev in dokumentacije je potekala že od pričetka projekta in se nadaljevala v vseh fazah, povsem do konca projekta, saj so bile nekatere točke nejasne, določene šele tekom projekta oziroma so se nadgrajevale in dodajale.

2.2 Razvoj izdelkov in simulacije

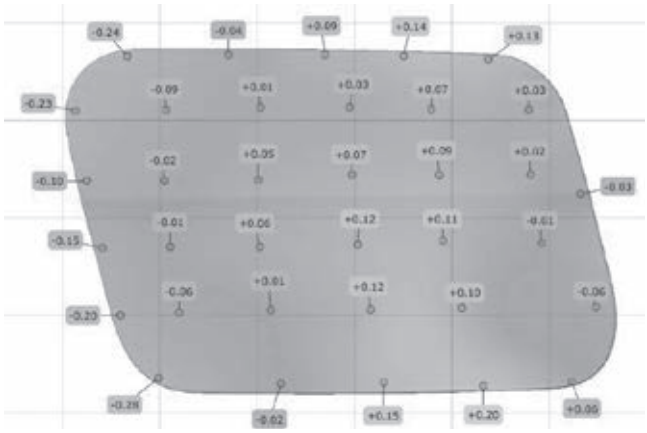
Pregledu in uskladitvi zahtev je sledilo modeliranje in »detajliranje« ter vzporedno izvajanje numeričnih analiz, s katerimi smo preverjali funkcionalne zahteve, katerih glavna točka je bila doseganje ustrezno togosti celotnega sistema in zagotavljanje osnovnih funkcij ter ujemanju z elementi okolice. Potrditvi dizajna, je sledila faza optimizacije za procesno izvedljivost orodij in ostalih procesnih sredstev. Izvedene so bile večkratne simulacije brizganja, s katerimi smo dobili tudi osnovo za izvedbo preoblikovane oblike kritičnih elementov. Po uspešno izvedeni analizi smo naredili končni dizajn za prototipno fazo in pričeli z izdelavo orodij. Po uspešno zaključenih prototipnih fazah projekta, smo enako ponovili še za serijske faze.

2.3 Meritve in testiranja

Vzporedno z razvojem izdelkov, smo pričeli s pripravo in uskladitvijo merilnih protokolov in analizo o izdelavi in pridobitvi dodatne merilne opreme, preizkuševališč za izvedbo funkcionalnih testov ter postavitvijo koncepta montažne priprave končnih sestavov, za katerega je bilo že na začetku jasno, da se bo v nekaterih korakih razlikoval od obstoječih projektov.

Razvili in izdelali smo tudi merilno in testno opremo s katero smo nato izvajali sprotne razvojne meritve in »validacijska« testiranja ter so v uporabi tudi med serijsko izdelavo kosov.

Ocenjevanje vizualnih karakteristik, ki so ena izmed pomembnih zahtev s strani kupca, se izvaja na način, da se glede na kakovostno stopnjo produkta večkrat v terminu razvoja procesa pogleda produkt v sestavu z avtomobilom. Iz teh kakovostnih zank so se, s strani kupca, odprle določene točke, glede na katere so se določile in izvedle optimizacije, kar pomeni, da smo morali z ekipo na nivoju merjenja, optimizacije procesa, orodja, ipd. najti rešitve za izboljšanje na vseh nivojih.



Slika 2: Rezultati 3D scan-a flap-a v µm

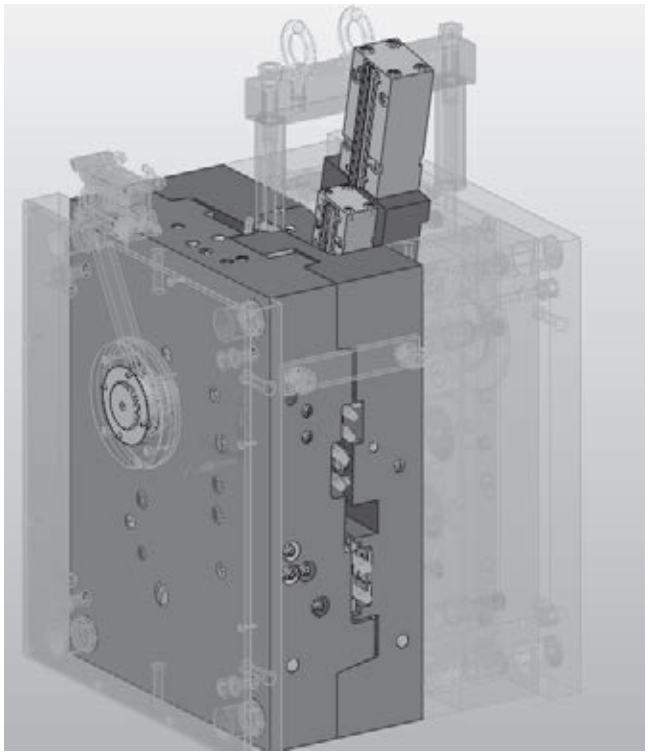
Omenjeno izboljšanje kakovosti izdelkov smo lahko uspešno izvedli z dobro postavljenimi postopki meritev ter ustrezno opremo in dobro izvedenimi meritvami. Za ta namen smo med drugim kupili tudi 3D optično kamero za meritve geometrije vizualnih kosov »Flap-ov«. Skupaj s kupcem smo postavili nov standard za zagotovitev najvišjega nivoja kakovosti površin in dimenzijske stabilnosti kosov.

3 RAZVOJ IN IZDELAVA ORODIJ

Ob začetku projekta smo izdelali testno orodje za osnovno analizo in testirali novo uvedeno tehnologijo injekcijskega kompresijskega brizganja. V sklopu testiranj smo naredili več optimizacij testnega/konceptnega orodja in preizkusili več različnih materialov ter izvedli meritve in analizo končnih kosov. Pridobljene podatke smo uporabili za izdelavo prototipnih orodij.

3.1 Prototipna in serijska orodja

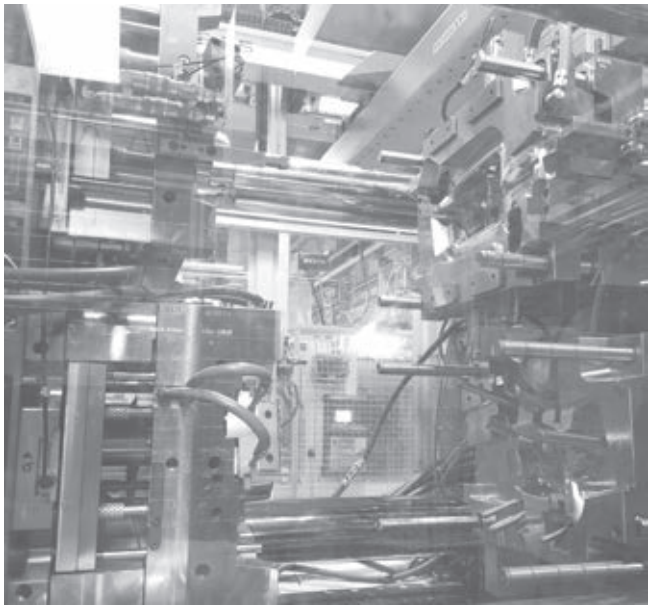
Po določitvi končnih prototipnih geometrij kosov smo pripravili podrobno analizo izdelave orodij. Izvedene so bile simulacije brizganj in pred-krivljenj modelov v orodju, za pridobitev najprimernejših geometrij za izdelavo kosov v željenem okviru toleranc. Koncepti orodij, usklajeni med orodjarno, razvojem izdelkov ter razvojno tehnologijo so poleg kupčevih smernic, izhajali iz zahteve, da bodo ti osnova za pridobitev ustreznih informacij za izdelavo serijskih orodij in njihovega delovanja.


Slika 3: 3D geometrija prototipnega orodja za »Housing ICE« trdo komponento

Poleg ustrezne konstrukcije orodja so bili pomembni tudi pravi materiali, saj smo uporabili enako paleto materialov, kot so bili uporabljeni tudi pri izdelavi serijskih orodij. Namen je bil predvsem analiza in zagotavljanje ustreznih struktur in obstojnosti površin, zaradi česar smo se odločili za materiale oblikovnih plošč, izmetnih igel in ostale sestavne dele dobavitelja Meusburger, ki velja za sinonim najboljše kakovosti v svetu orodjarstva.

V sklopu testiranj smo naredili več optimizacij, za določitev optimalnega procesa in pripravili nove geometrije za izdelavo serijskih orodij. Serijska orodja so bila kompleksnejša, za 2K kose, smo v primeru prototipov izdelali dve ločeni orodji, za serijo pa smo omenjeni »združili« in povezali v celoto. Določitev procesa izdelave orodij in procesa izdelave kosov je potekala na način izvedbe simulacij, dejanskih preizkusov na stroju z različnimi parametri, meritvami kosov in analizo stanja končnih kosov. V sklop analize je bil vključen tudi postopek priprave kosov – simulacija procesa barvanja »Flap-ov« pri kupcu. Pri serijskih orodjih so bile izjemno pomembne končne strukture vizualnih površin na kosih, ki so morale izpolniti kupčeve zahteve. Omenjeno je bilo najbolj izpostavljeno

na »Housing-ih« in »Hinge arm-ih«, za katere je bil izveden »Graining« ter na barvanem kosu »Flap«, kjer je morala biti površina polirana do te mere, da ni bilo prisotnih niti minimalnih površinskih odstopanj.



Slika 4: Serijsko IM orodje »2K Housing ICE« med serijsko proizvodnjo

4 RAZVOJ PROCESOV IN NJIHOVA IMPLEMENTACIJA V PROIZVODNJO

4.1 Razvoj procesov

Osnutek procesov smo, kot določajo standardi v avtomobilski industriji postavili glede na v osnovi določen potek procesov oz. »Flow chart«. Glede na izhodiščni potek smo nato naredili analizo potencialnih napak procesov in njihovih vzrokov oz. »P-FMEA«. Na podlagi ugotovitev smo začrtali končne procese, ki smo jih tekom različnih faz implementirali v serijsko proizvodnjo.

4.2 Montažna linija

Glede na zahtevnost projekta smo se, tudi zaradi visokega nivoja kakovosti in zanesljivosti našega oddelka službe za avtomatizacije, odločili za izdelavo serijske montažne linije, ki bi zmanjšala vpliv delavca in izboljšala izkoriščenost strojev ter dvignila kakovost izdelkov. Proces je bil zastavljen in implementiran v serijo linijsko, na eni strani vhod sestavnih delov, delno avtomatski, direktno iz IM strojev, delno ročno s strani delavca, na drugi strani pa izhod končnega kosa, na katerem se izvede samo še vizualni pregled.

Slika 5: Shematski prikaz koncepta serijske montažne linije

4.3 Kompresijsko brizganje in brusilna naprava

Zaradi visokih zahtev po kakovosti površine in dimenzijski stabilnosti »Flap-ov« smo že v fazi povpraševanja pričeli z analizo morebitne implementacije ICM oz. injekcijskega kompresijskega brizganja za omenjene kose, narejene iz termoplastov.

Za določitev in vzpostavitev procesa za mehansko odstranjevanje srha (višek materiala na robu izdelka) na izdelku »Flap« smo raziskali trg za več možnih postopkov, kako najbolj kvalitetno mehansko odstranit. Iz raziskav smo uspeli izbrati in samostojno izdelati najbolj primeren avtomatiziran proces, ki smo ga izboljšali do te mere, da smo definirali nov nivo kakovosti izdelkov, s čimer smo med najboljšimi na svetu na področju izdelave omenjenih sistemov.

5 SKLEP

Projekt je bil uspešno izveden in vpeljan v serijsko proizvodnjo. Z izboljšavami meritev, analiz, konstrukcijskimi rešitvami produktov, interno razvitimi in izdelanimi orodji za IM ter ICM, proizvodnimi sredstvi, kot sta montažna in brusilna priprava ter novo razvitimi in implementiranimi procesi smo izboljšali kakovost in stabilnost s tem pa konkurenci in kupcu postavili nov mejnik, ki ga do sedaj še ne dosega nihče drug.

Viri:

[1] https://www.siliko.si/

PLASTIČNI DELI BREZ HLADNIH SPOJEV

Boštjan ŠMUC[1], Jörn SENGELAUB[2], Cem BARIS ÖZGÜVEN[2], Christian PREUSS-KOENIG[2]
[1]ABC-Brizganja d.o.o
[2]CONTURA-MTC GmbH

IZVLEČEK

Brizgani izdelki pogosto kažejo estetske napake, vključno s hladnimi spoji in posedenostjo. Ta članek obravnava te težave in raziskuje možnosti za njihovo odpravo z izvajanjem konformnega hlajenja. Z integracijo konformnih kanalov in elementov za prenos toplote vzdolž obrisa oblikovanega dela in uporabo variotermnega postopka so bili doseženi stabilni in trajnostni proizvodni procesi. Ta tehnologija ne omogoča samo površin z visokim sijajem, temveč omogoča tudi natančen nadzor nad mat ali teksturiranimi površinami, s čimer odpravlja potrebo po dodatnih postopkih, kot je lakiranje, in s tem zmanjšuje ogljični odtis komponente.

1 UVOD

Sodobni plastični izdelki, proizvedeni z brizganjem, imajo zapletene oblike. Hkrati se od njih pričakuje brezhibnost in možnost, da se naredijo v najrazličnejših barvah.

Stari pregovor »Izdelek je fantastičen, a na žalost je le plastičen,« ne drži več, saj oblikovalska podjetja in stranke sedaj ženejo orodjarje k zapletenim konceptom izdelkov in orodij. Vendar te zahteve predstavljajo fizične omejitve, ki jih je treba skrbno upoštevati, da se ekonomsko zagotovi želena kakovost izdelka.

2 OPIS POTENCIALNIH TEŽAV NA BRIZGANIH IZDELKIH

Postopek brizganja plastike vključuje vbrizgavanje plastične taline v votlino kalupa, oblikovanje izdelka skozi faze brizganja, naknadnega tlaka in hlajenja, čemur sledi izmetavanje izdelka. Na te procese vplivajo različni termodinamični parametri, kot so temperature, hitrosti, tlaki, viskoznosti, strižne hitrosti in napetosti.

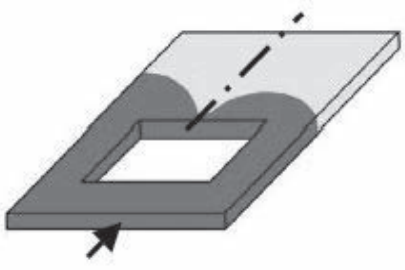
Le temeljito razumevanje omogoča doseganje visokokakovostnih končnih izdelkov. Izdelki iz brizgane plastike so dovzetni za številne napake, ki izvirajo iz stroja za brizganje, materiala ali zasnove izdelka/orodja.

Ta članek se osredotoča na štiri pogoste napake:

- Hladni spoji
- Posedenost
- Nezalitost
- Moten madež ob dolivku.
-

2.1 Hladni spoji

Hladni spoji nastanejo tam, kjer se fronte taline srečajo med polnjenjem kalupne votline, kar ima za posledico vidno črto zaradi reoloških pogojev. Čeprav je to napako mogoče do neke mere ublažiti med postopkom oblikovanja, na njen pojav v veliki meri vpliva zasnova izdelka in orodja. (Slika 1)



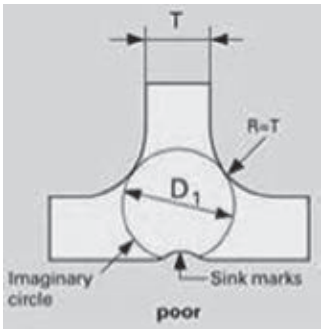
Slika 1: Plastični izdelek s hladnim spojem

Boštjan ŠMUC[1], Jörn SENGELAUB[2], Cem BARIS ÖZGÜVEN[2], Christian PREUSS-KOENIG [2]
[1]ABC-Brizganja d.o.o
[2]CONTURA-MTC GmbH

2.2 Posedenost

Naslednja napaka, ki jo bomo obravnavali, je posedenost, ki izvira iz neustreznega razmerja med debelino rebra in osnovno debelino izdelka. Pravilna zasnova tanjših reber in skrbno upoštevanje trdnosti orodja in izmetačev lahko pomaga preprečiti to težavo. (slika 2)

O odpravi navedene napake z različnimi koncepti orodij, hlajenja in tehnologij bomo pisali v nadaljevanju članka.

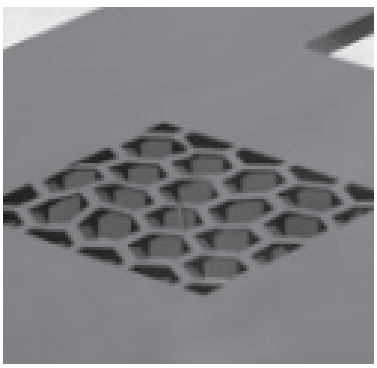


Slika 2: Posedenost zaradi neustrezne oblike rebra

2.3 Nezalitost

Nezalitost je posledica tankih sten na določenih območjih, kar povzroča lokalno zmrzovanje taline zaradi visoke viskoznosti. Reševanje tega problema je zahtevno zaradi odvisnosti viskoznosti taline od temperature orodja.

Slika 3 prikazuje izdelek iz satja z izredno tankimi rebri, ki so na določenih mestih nepopolni.



Slika 3: Nezalitost izdelka

2.4 Moten madež ob dolivku

Ta napaka nastane zaradi lokalnega pregrevanja orodja med postopkom vbrizgavanja, kar povzroči moten madež okoli mesta vbrizgavanja. Ustrezne strategije hlajenja so bistvenega pomena za ublažitev te težave. (slika 4)

Slika 4: Moten madež ob dolivku

3 ZASNOVA TESTNEGA IZDELKA IN TESTNEGA ORODJA

CONTURA® je sodelovala z več podjetji, da bi razvila izdelek, ki izpolnjuje estetska merila zahtevnih industrij, kot so avtomobilska industrija, bela tehnika in kozmetika. Skupna prizadevanja so vključevala Kind Tec za vodenje projektov in simulacijo, Premec S.p.A. za izdelavo kalupov, HRS za vroče kanalne sisteme in Keune & Lauber za oblikovanje plastičnega izdelka. Skupaj so si prizadevali ustvariti izdelek, ki odpravlja hladne spoje in druge običajne napake, ki jih najdemo pri izdelkih z brizganjem.

Številne zgoraj omenjene napake je težko odpraviti, pogosto zahtevajo naknadno lakiranje ali povzročijo pretirano dolge čase ciklov, zaradi česar je proizvodnja ekonomsko neopravičljiva.

Kot odgovor na te izzive se je sodelujoča ekipa lotila oblikovanja izdelka, ki bi ustrezal strogim estetskim standardom zgoraj omenjenih industrij.

Ključna merila za ta izdelek so bila:

- Klavirsko črna barva, dosežena z amorfnim termoplastom
- Odstranitev hladnih spojev in posedenosti
- Vključitev mikrostrukture na izdelek
- Čista točka vbrizgavanja brez madežev

Končni izdelek - zaslonka, zasnovan tako, da ščiti uporabnikov pogled na notranjost izdelka, je

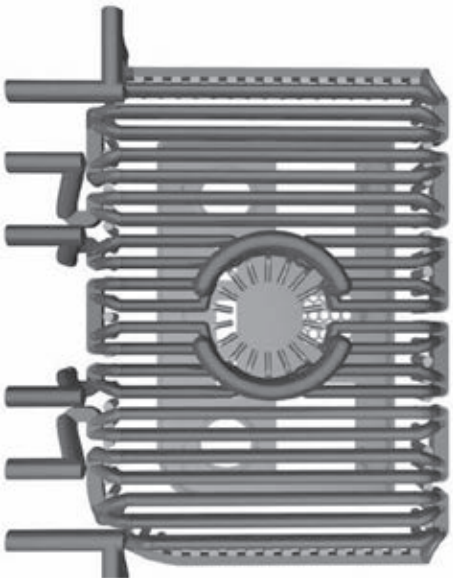
nastal s tem skupnim prizadevanjem. Ne izpolnjuje le svojega funkcionalnega namena, temveč prikazuje tudi različne estetske elemente, ki jih običajno najdemo v sodobnih kompleksnih izdelkih. Poleg tega se izdelek ponaša z natančno izdelano mikrostrukturo, ki še poveča njegovo vizualno privlačnost.

Slika 5: Testni izdelek – Zaslonka

4 TEHNOLOŠKE REŠITVE S KONFORMNIM HLAJENJEM

Razvoj testnega izdelka je zahteval skrben premislek o zasnovi orodja in tehnologiji izdelave. Z izkoriščanjem svojega strokovnega znanja in izkušenj na področju tehnologij vakuumskega spajkanja je CONTURA® pristopila k oblikovanju orodja, ki vključuje konformno hlajenje in strateško nameščene toplotno prevodne elemente na kritičnih področjih, kot sta točka polnjenja in okvir izdelka. Slika 6 prikazuje fiksno stran orodja s tremi vzporednimi hladilnimi krogi.

Pri načrtovanju in izvedbi hladilnih tokokrogov je pozicioniranje tokokrogov glede na izdelek najpomembnejše. Zagotavljanje skladnosti hladilnih krogov z obliko izdelka olajša enotno oblikovanje izdelka in dosledno odvajanje toplote iz orodja. Poleg tega je treba posvetiti pozornost optimizaciji prenosa toplote iz hladilne vode na jekleno površino. Turbulentni tok v hladilnem kanalu poveča prenos toplote in tako doseže petkrat večjo učinkovitost v primerjavi z laminarnim tokom. Oblikovanje hladilnega kanala z ustrezno obliko zagotavlja dovolj veliko Reynoldsovo število, ki spodbuja turbulentni tok.



Slika 6: Brizgalna stran testnega orodja za zaslonko

5 VARIOTERMNI POSTOPEK BRIZGANJA

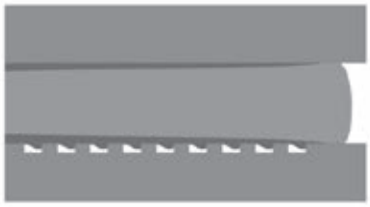
Pri običajnem postopku brizganja se poleg stroja za brizganje običajno uporablja naprava za temperiranje ali hladna voda. Ta nastavitev zagotavlja, da je med fazo hlajenja izdelek mogoče oblikovati v želeno obliko in dimenzije, hkrati pa učinkovito prenašati sile za odstranitev izdelka iz orodja.

Variotermni proces, kot že ime pove, vključuje temperaturne spremembe v celotnem ciklu. Pred brizganjem se orodje segreje in sledi polnjenje kalupne votline. Nato se začne faza hlajenja. Takoj po izmetu izdelka se orodje ponovno segreje.

Učinkovitost procesov ogrevanja in hlajenja je ključnega pomena za ohranjanje ekonomske učinkovitosti v proizvodnji plastičnih izdelkov. Doseganje hitrih temperaturnih sprememb zahteva uporabo konformnega hladilnega sistema in dovolj zmogljive temperirne naprave.

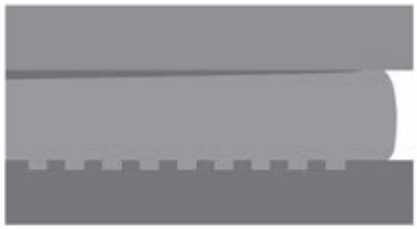
Uspešna implementacija hitrih temperaturnih sprememb poveča odzivnost sistema, kar kaže na prednosti variotermnega procesa pred običajnimi metodami hlajenja. Slika 7 prikazuje, kako plastična talina napolni votlino kalupa v hladnem orodju. Spodnja stran orodja ima vključeno strukturo, ki zaradi visoke viskoznosti preprečuje, da bi se talina zalila.

Boštjan ŠMUC[1], Jörn SENGELAUB[2], Cem BARIS ÖZGÜVEN[2], Christian PREUSS-KOENIG [2]
[1]ABC-Brizganja d.o.o
[2]CONTURA-MTC GmbH



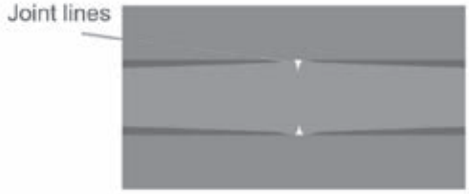
Slika 7: Zapolnjevanje kalupne votline pri hladnem orodju

Ogrevana spodnja stran orodja omogoča popolno zapolnitev tudi najmanjših detajlov s talino, s čimer se natančno reproducira struktura votline orodja - kot je prikazano na sliki 8



Slika 8: Zapolnjevanje kalupne votline pri variotermnem postopku

Sliki 9 in 10 ponazarjata nastanek hladnega spoja na brizganih izdelkih. Pri uporabi hladnejših orodij se poveča verjetnost nastanka zvarov. Če pa se orodje med postopkom polnjenja segreje rahlo pod temperaturo taljenja, zvar postane neviden.

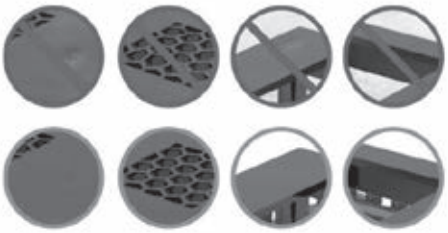


Slika 9: Nastanek hladnega spoja

Slika 10: Izdelek brez hladnega spoja spodaj

6 REŠEVANJE HLADNIH SPOJEV IN DRUGIH TEŽAV PRI BRIZGANJU

Testno orodje je s svojimi specifičnimi lastnostmi omogočilo konsistentno izdelavo tako kakovostnih kot defektnih izdelkov na brizgalnem stroju, opremljenem z več napravami za temperiranje. Bistveno je bilo zagotoviti pravilno integracijo vseh teh tehnik za učinkovito odpravljanje estetskih napak v izdelkih.



Slika 11: Izdelki z in brez napak

7 ZAKLJUČEK

Skupna prizadevanja projektnih partnerjev so pokazala sistematično odpravljanje estetskih napak v izdelkih z implementacijo dobro zasnovanih tehnik in inovativnih konceptov orodij. Poleg tega je to sodelovanje poudarilo ključno vlogo oblikovanja izdelkov v fazi ustvarjanja novih izdelkov.

Znanje, pridobljeno z našimi izkušnjami s testnim orodjem, nam omogoča samozavestno oblikovanje novih izdelkov in orodij, tudi z vedno bolj zapletenimi in zahtevnimi specifikacijami.

Reference:

[1] Beard, R.: *How to Know the True Value of Conformally Cooled Injection Molds*, Plastics Technology, USA, 2022.
[2] *Özgüven. C.B..: Comparison of conventional plastic injection molding process and plastic injection molding process with rapid heat and cool technology, Turkey, 2020.*
[3] *Richard Läpple, Tübingen, Konturnah und variotherm: Die beiden Schlüssel für hochwertige Kunststoffbauteile in a magazine, VDWF im Dialog ISSN 1860-4935, 26-29*
[4] *Main web-page of Contura-MTC GmbH https://www.contura-mtc.de, (Visit date: 20 April 2021)*
[5] *„Rapid thermal cycling with low thermal inertia tools“; Robert X. Xu, Department of Biomedical engineering, Ohio State University, Columbus Ohio 43210; Emanuel Sachs, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge Massachusetts 02139*

»SKI RAILS« KOT DEMONSTRATOR ZA RECIKLIRAN TERMOPLASTIČNI KOMPOZIT OJAČEN Z ODPADNIM RECIKLATOM DUROPLASTIČNEGA KOMPOZITA

Blaž NARDIN[1], Rok ZAVRŠNIK[2], Jure PERME[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]

[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov

[2]Turnaplast d.o.o.

IZVLEČEK

V prispevku bomo predstavili uporabo mehansko recikliranih krakov vetrnih elektrarn in ogljikovih vlaken v kombinaciji z reciklatom poliamida 6 ojačenega s steklenimi vlakni za zelo zahtevne aplikacije. Na Fakulteti za tehnologijo polimerov smo za pripravo termoplastičnega kompozita uporabili industrijski odpad podjetja Turnaplast, kateremu smo dodali zmleti odpad krakov vetrnih elektrarn in zmleti odpad ogljikovih vlaken iz avtomobilske industrije. Da smo dosegli zahtevane lastnosti pripravljenega kompozita, smo uporabili različne kombinacije dodanih odpadnih vlaken in različne kombinacije kompatibilizatorjev, ki so zagotovili dobre medfazne interakcije med odpadnimi vlakni in poliamidno matrico. Visoko polnjenemu kompozitu smo izmerili mehanske in toplotne lastnosti, katere smo izboljševali med fazami optimizacije receptur, da smo dosegli zahtevane lastnosti končnega izdelka.

Izvedba je lep primer sodelovanja industrije in raziskovalne inštitucije na področju krožnega gospodarstva. Pokazali smo, da lahko z lastnim znanjem na obstoječi opremi naredimo termoplastične kompozite za najbolj zahtevne aplikacije.

Delo je bilo izvedeno v okviru projekta DeremCo.

1 UVOD

Recikliranje polimerov postaja vse bolj priljubljeno, predvsem zaradi naraščajočih stroškov primarnih polimerov in, kar je še pomembneje, zaradi vpliva na okolje. Recikliranje podjetjem omogoča ponovno uporabo odpadnih in slabih izdelkov, s čimer se zmanjšajo stroški končnih izdelkov. Hkrati se je treba zavedati, da se lastnosti materialov med mehanskim recikliranjem spremenijo, zato reciklata ni mogoče uporabiti samostojno, temveč ga je potrebno v določenem razmerju zmešati z originalnim materialom. Če se uporabi 100-odstotni reciklat, je potrebno za povrnitev mehanskih lastnosti uporabiti nadgradnjo [1]. Pri termoplastičnih kompozitih z visoko vsebnostjo vlaken se z večjo vsebnostjo vlaken poveča lomna in utrujenostna trdnost kompozita. Visok delež ojačitvenih vlaken pomeni nevarnost aglomeracije. Pri visokem deležu ojačitvenih vlaken v termoplastičnih kompozitih se vlakna ob pretrgu redko izvlečejo, temveč se zlomijo. Poškodba termoplastičnih kompozitov se običajno začne na določeni razdalji od vlaken v matrici in ne na stiku vlaken in matrice. Poškodba se začne v obliki kavitacije v matrici okoli submikronskih delcev. Kavitete se združijo in povzročijo mikro razpoke v matrici. Na začetni položaj razpoke močno vplivajo lokalne koncentracije napetosti zaradi interakcij med vlakni ter vlakni in matrico. Opis porazdelitve vlaken okoli zarez je zato temeljni korak pri razvoju modela za napovedovanje življenjske dobe. Mikro razpoke v matrici povzročijo nastanek razpoke, ki se širi v načinu izogibanja, pri čemer obide vlakna na določeni razdalji, tako da vlakna ostanejo pokrita s plastjo matrice [2].

2 DEREMCO PROJEKT

Cilj projekta DeremCo je vzpostaviti sistemsko, medsektorsko rešitev krožnega gospodarstva, ki temelji na povpraševanju, ki bo omogočila stroškovno učinkovito ponovno uporabo kompozitnih materialov in komponent po uporabi v novih izdelkih z visoko dodano vrednostjo. DeremCo je projekt EU_I3, ki traja do novembra 2025 in vključuje 30 evropskih partnerjev iz Italije, Finske, Avstrije, Španije, Slovenije,

Blaž NARDIN[1], Rok ZAVRŠNIK[2], Jure PERME[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov, [2]Turnaplast d.o.o.

Belgije in Portugalske. V projektu sodeluje tudi 7 slovenskih partnerjev: Fakulteta za tehnologijo polimerov, Veplas, OPS Breznik, Technol, Tehnos, Turnaplast in CAP. V prispevku bomo predstavili sodelovanje FTPO, kjer smo pripravili termoplastične kompozite, in podjetja Turnaplast, kjer smo izvedli brizganje pripravljenih termoplastičnih kompozitov za njihov izdelek.

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Uporabljeni materiali

Reciklat termoplastičnega kompozita na osnovi PA6 ojačenega s 50 % steklenih vlaken (rPA6GF50) nam je dobavilo podjetje Turnaplast iz Laškega. Osnovni material je bil Lanxess Durethan BKV50H3.0. Vzorec 0 je bil le reciklat termoplastičnega kompozita, ki nam je služil kot referenca. Vzorci 1 in 3 do 6 so bili kompavndirani z odpadnim duroplastičnim kompozitom s poliestrsko matrico in steklenimi vlakni, ki nam jih je dobavilo podjetje Technol iz Izole v zmleti obliki (rGF v Tabeli 1). Reciklat duroplastičnega kompozita za vzorec 7 v zmleti obliki (FIBER1-POLIMI3-RIV2-RIV2 v Tabeli 1) nam je dobavil projektni partner Politecnico di Milano iz Italije. Gre za odpadni duroplastični kompozit (zmleti kraki vetrnih elektrarn) iz epoksidne matrice, ki je ojačen s steklenimi vlakni. Odpadna ogljikova vlakna (rCF v Tabeli 1) nam je dobavilo podjetje Carbon Clean Up iz Avstrije. Komercialno dostopen kompatibilizator stiren malein anhidrid (SMA1 in SMA2 v Tabeli 1) nam je dobavilo podjetje Polyscope Polymers BV iz Nizozemske. Komercialno dostopen kompatibilizator stiren etilen butadien stiren graftiran z malein anhidridom (SEBS-*g*-MA v Tabeli 1) nam je dobavilo podjetje Graft Polymers iz Slovenije. Komercialno dostopni modificirani TPU s trgovskim imenom Kuramiron U TU-S5265 (TPU v Tabeli 1) smo kupili od podjetja Kuraray, Nemčija. Sestava vzorcev je navedena v Tabeli 1.

3.2 Priprava vzorcev

Izdelali smo 6 serij vzorcev, dodatno smo izvedli teste z reciklatom rPA6GF50 brez dodatkov, ki nam je služil kot referenca. V Tabeli 1 je prikazana sestava vzorcev, vključno z referenco (Vzorec 0).

Vse materiale smo ločeno zmešali in ekstrudirani na dvopolžnem ekstruderju Labtech LTE 20-44. Premer polžev je bil 20 mm, razmerje L/D 44:1, obrati 600 vrtljajev na minuto, temperaturni profil je naraščal od lijaka (250 °C) do šobe (280 °C). Po kompavndiranju sta bila oba proizvedena filamenta ohlajena v vodni kopeli in narezana na granule dolžine približno 5 mm in premera 3 mm.

Brizganje je potekalo na stroju Krauss Maffei 50-180 CX s premerom polža 30 mm. Temperaturni profil je naraščal od lijaka (265 °C) do šobe (280 °C). Temperatura orodja je bila nastavljena na 80 °C, čas hlajenja pa na 10 s. Protitlak je bil nastavljen na 15 barov, obrati polža pa na 60 vrtljajev na minuto. Hitrost brizganja je bila nastavljena na 50 mm/s, za zadnja 2 mm pa na 20 mm/s.

Tabela 1: Sestava vzorcev za kompavndiranje

Vzorec	rPA6GF50 (%)	rGF (%)	FIBER1 - POLIMI3 - RIV2 - RIV2 (%)	rCF (%)	SMA1 (%)	SMA2 (%)	SEBS-*g*-MA (%)	TPU (%)
Vzorec 0	100	0	0	0	0	0	0	0
Vzorec 1	90	8	0	0	2	0	0	0
Vzorec 2	83	0	0	15	2	0	0	0
Vzorec 3	89	5	0	4	2	0	0	0
Vzorec 4	87	10	0	1	2	0	0	0
Vzorec 5	80	15	0	0	0	4,5	0	0,5
Vzorec 6	77	10	0	8	0	4,5	0	0,5
Vzorec 7	82,7	0	10	2,3	0	0	4,5	0,5

3.3 Laboratorijski testi

Upogibni in natezni preizkusi so bili opravljeni na napravi Shimadzu AG-X plus v skladu z ISO 178 oziroma ISO 527-1. Za vsak vzorec je bilo opravljenih pet meritev. Pri upogibnem preizkusu smo vrednotili upogibni E modul (E_f), maksimalno upogibno trdnost (σ_{fM}) ter raztezek pri maksimalni upogibni trdnosti (ε_{fM}). Pri nateznih preizkusih smo vrednotili natezni E modul (E_t), natezno trdnost (σ_m) in raztezek pri

Blaž NARDIN[1], Rok ZAVRŠNIK[2], Jure PERME[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov, [2]Turnaplast d.o.o.

pretrgu (ε_{tb}). Termo-dinamične lastnosti smo vrednotili z napravo Perkin Elmer DMA 8000. Vzorce smo segrevali z 2 °C/min od 25 °C do 210 °C v zračni atmosferi. V načinu z dvojno prižemo smo uporabili frekvenco 1 Hz in amplitudo 20 µm. Termogravimetrične analize (TGA) smo izvedli na instrumentu Mettler Toledo TGA/DSC 3+. Vzorec smo segrevali od 40 °C do 550 °C, s hitrostjo segrevanja 10 °C/min, v dušikovi atmosferi (20 mL/min), nato pa ga izotermno držali pri 550 °C 20 min v kisikovi atmosferi (20 mL/min). Udarne preizkuse smo izvedli na napravi Dongguan Liyi Test Equipment, tip LY-XJJD5, v skladu s standardom ISO 179. Razdalja med podporama je bila 60 mm, za udarne preizkuse smo uporabili nihalo z energijo 2 J, za zarezne udarne preizkuse pa nihalo z energijo 1 J.

4 REZULTATI

Dodatek reciklata duroplastičnega kompozita v zmleti obliki v reciklat termoplastičnega kompozita na osnovi PA6 ojačenega s 50 % steklenimi vlakni vpliva na mehanske lastnosti (Tabeli 2 in 3). Pri vzorcih od 1 do 4 smo dodali 2 % kompatibilizatorja SMA1 in različne količine rGF in rCF. Dodatek 8 % rGF zniža upogibni (-11 %) in natezni (-14 %) E modul, upogibno (-16 %) in natezno (-10 %) trdnost ter raztezek pri pretrgu (-14 %). Dodatek 15 % rCF zviša upogibni (+6 %) in natezni (+4 %) E modul, ter zniža upogibno (-19 %) in natezno (-6 %) trdnost ter raztezek pri pretrgu (-18 %). Dodatek 5 % rGF in 4 % rCF zniža upogibni (-11 %) in natezni (-15 %) E modul, upogibno (-20 %) in natezno (-12 %) trdnost ter raztezek pri pretrgu (-13 %). Dodatek 10 % rGF in 1 % rCF zniža upogibni (-8 %) in natezni (-2 %) E modul, upogibno (-16 %) in natezno (-7 %) trdnost ter raztezek pri pretrgu (-11 %). Iz rezultatov za kompatibilizator SMA1 lahko zaključimo, da je bolj primeren za odpadne duroplastične kompozite s poliestrsko matrico, za epoksi matrico je manj primeren.

Pri vzorcih 5 in 6 smo dodali 4,5 % kompatibilizatorja SMA2 in 0,5 % TPU ter različne količine rGF in rCF. Dodatek 15 % rGF zniža upogibni (-32 %) in natezni (-47 %) E modul, upogibno (-30 %) in natezno (-13 %) trdnost ter raztezek pri pretrgu (-3 %). Dodatek 10 % rGF in 8 % rCF zniža upogibni (-15 %) in natezni (-21 %) E modul, upogibno (-22 %) in natezno (-10 %) trdnost ter raztezek pri pretrgu (-24 %). Iz rezultatov za kompatibilizator SMA2 lahko zaključimo, da ni primeren za odpadne duroplastične kompozite s poliestrsko matrico, za epoksi matrico je bolj primeren. Kompatibilizator deluje kot modifikator žilavosti v kombinaciji z zmletimi delci poliestrske matrice. Pri vzorcu 7 smo dodali 10 % rGF iz krakov vetrnih elektrarn, 2,3 % rCF in kombinacijo kompatibilizatorjev 4,5 % SEBS-*g*-MA in 0,5 % TPU. Upogibni (-15 %) in natezni (-18 %) E modul sta se znižala, znižali sta se tudi upogibna (-16 %) in natezna (-7 %) trdnost, ter raztezek pri pretrgu (-35 %).

Tabela 2: Zbrani rezultati upogibnih testov

Vzorec	E_f (GPa)	σ_{fM} (MPa)	ε_{fM} (%)
Vzorec 0	12,5±0,1	269,6±1,9	3,7±0,1
Vzorec 1	11,1±0,2	227,8±1,4	3,2±0,1
Vzorec 2	13,2±0,3	219,0±1,5	3,0±0,1
Vzorec 3	11,1±0,2	216,2±1,5	3,6±0,1
Vzorec 4	11,5±0,3	226,4±4,5	3,3±0,1
Vzorec 5	8,5±0,4	189,6±3,2	4,9±0,1
Vzorec 6	10,6±0,1	209,0±2,2	3,4±0,1
Vzorec 7	10,6±0,3	227,3±1,2	3,6±0,1

Tabela 3: Zbrani rezultati nateznih testov

Vzorec	E_t (GPa)	σ_m (MPa)	ε_{tb} (%)
Vzorec 0	14,1±0,5	169,6±3,2	7,1±1,2
Vzorec 1	12,1 ± 3,2	152,1 ± 2,5	6,1 ± 0,4
Vzorec 2	14,6 ± 3,6	158,8 ± 1,5	5,8 ± 0,2
Vzorec 3	12,0 ± 1,4	150,0 ± 1,4	6,2 ± 0,4
Vzorec 4	13,8 ± 0,5	158,4 ± 1,6	6,3 ± 0,7
Vzorec 5	7,5±0,2	147,6±1,1	6,9±1,3
Vzorec 6	11,1±0,6	153,4±1,0	5,4±0,3
Vzorec 7	11,6±0,6	157,1±0,5	4,6±0,2

Iz rezultatov lahko zaključimo, da dodatek kompatibilizatorja TPU deluje dobro v kombinaciji z epoksi duroplastično smolo v rGF in rCF, ter da višanje dodanega rCF v kombinaciji z rGF znižuje natezno trdnost. Kompatibilizator SEBS-*g*-MA proti pričakovanjem drastično zniža raztezek pri pretrgu, hkrati pa pričakovano zniža natezno togost in trdnost. Kompatibilizator SEBS-*g*-MA nima dobrih interakcij z epoksi matrico. Uporaba

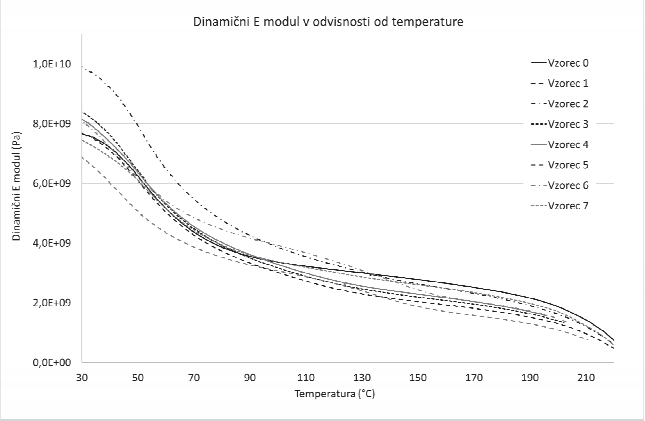
Blaž NARDIN[1], Rok ZAVRŠNIK[2], Jure PERME[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov, [2]Turnaplast d.o.o.

rGF ali rCF z višjim deležem vlaken bi poleg togosti zvišala tudi trdnost na nivo referenčnega vzorca. Če bi uporabili le epoksi duroplastično matrico v kombinaciji z rGF in rCF bi bil najboljša izbira TPU kompatibilizator.

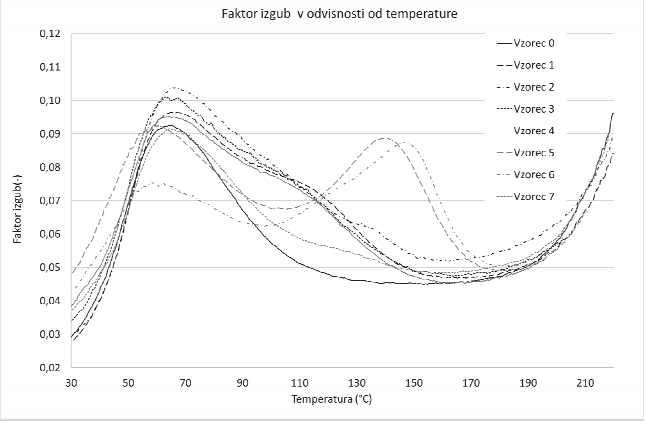
Krivulje dinamičnega E modula (Slika 1 in Tabela 4) pokažejo rezultate skladne z rezultati nateznega in upogibnega preizkusa. Vzorec 2 ima najvišji dinamični E modul do okoli 90 °C, kjer je on-set temperatura steklastega prehoda za epoksi matrico. Po steklastem prehodu ima najvišji dinamični E modul referenčni vzorec, ki nima dodane duroplastične matrice. Vzorcem, ki imajo dodan reciklat duroplastičnega kompozita s poliestrsko matrico, dinamični E modul z naraščajočo temperaturo hitreje pada kot vzorcem z epoksi matrico. Pri krivuljah faktorjev izgub (Slika 2) opazimo pri vzorcih z dodanim reciklatom duroplastičnega kompozita dodatno ramo po steklastem prehodu ki predstavlja steklasti prehod za duroplastično matrico. Pri vzorcih s poliestrsko matrico je ta rama bolj izrazita kot pri vzorcih z epoksi matrico, ker je vsebnost poliestrske smole v rGF vzorcih veliko višja kot vsebnost epoksi smole v rGF (Vzorec 7) ali rCF. Pri vzorcih 5 in 6 je lepo viden drugi vrh, ki predstavlja steklasti prehod za kompatibilizator SMA2 pri 139 °C (vzorec 5) in 146 °C (vzorec 6). Pri vzorcih, kjer smo dodali 2 % kompatibilizatorja, je vrh faktorja izgub višji kot pri vzorcih, kjer smo dodali 4,5 % kompatibilizatorja. Iz rezultatov lahko zaključimo, da za kvalitetno omočenje površine zmletih ostankov poliestrske oz. epoksi smole v recikliranih rGF in rCF duroplastičnih kompozitih potrebujemo višji odstotek kompatibilizatorja. Nižji vrh faktorja izgub pomeni bolj elastično deformacijo, višji vrh pomeni boljše dušenje, kot posledica višanja modula izgub zaradi slabših medpovršinskih interakcij med termoplastično matrico in zmletim duroplastičnim kompozitom. Izrazit vrh faktorja izgub pri steklastem prehodu za kompatibilizator SMA2 pri vzorcih 5 in 6 povzroči močan upad togosti, tako da ta kompatibilizator ni najbolj primeren za modifikacijo PA6 GF50 termoplastičnega kompozita z odpadnim duroplastičnim kompozitom. Pri povišani temperaturi se je referenčnemu vzorcu najbolj približal vzorec 7, ker ima kompatibilizator TPU odlične medfazne interakcije med PA6 GF50 termoplastičnim kompozitom in odpadnim duroplastičnim kompozitom.

Tabela 4: Zbrani rezultati DMA testov

Vzorec	E´ pri 30 °C (GPa)	T_g pri tan δ (°C)	Tan δ (-)
Vzorec 0	7,66	63	0,09
Vzorec 1	7,68	66	0,1
Vzorec 2	9,89	67	0,1
Vzorec 3	8,38	66	0,1
Vzorec 4	8,14	65	0,09
Vzorec 5	6,87	59/139	0,09/0,09
Vzorec 6	8,09	58/146	0,08/0,09
Vzorec 7	7,44	65	0,09



Slika 1: Zbrani rezultati dinamičnega E modula



Slika 2: Zbrani rezultati faktorja izgub

Temperatura degradacije (Tabela 5) se zniža, ko dodamo reciklat duroplastičnega kompozita. Pri prvem razpadu razpade termoplastična

Blaž NARDIN[1], Rok ZAVRŠNIK[2], Jure PERME[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov, [2]Turnaplast d.o.o.

matrica, kompatibilizatorji in duroplastična matrica. Najvišji odstotek razpada imamo pri vzorcih, kjer je najvišji odstotek dodanega odpadnega duroplastičnega kompozita s poliestrsko smolo. Iz rezultatov lahko zaključimo, da vzorci odpadnega duroplastičnega kompozita s poliestrsko smolo vsebujejo najnižji delež steklenih vlaken in najvišji delež duroplastične smole (poliestrske). Vzorec, kjer je dodan rCF, ima nižji delež razpada kot referenčni vzorec. Iz tega lahko sklepamo, da je v vzorcu le majhna količina epoksi duroplastične smole in zelo velik delež rCF. Razpad 2 pomeni razpad ogljikovih vlaken. Iz rezultatov lahko razberemo, da smo dejansko pri kompavndiranju dodali veliko nižjo količino rCF vlaken, kot smo predvidevali. Problem je v doziranju teh mletih vlaken z gravimetričnim dozirnikom. Ostanek po žarjenju predstavlja delež steklenih vlaken v vzorcu po TGA analizi. Pri referenčnem vzorcu je odstopanje 1,1 %, saj je steklenih vlaken manj kot je specificirano za ta termoplastični kompozit. Razberemo lahko tudi, da je v vzorcu odpadnega duroplastičnega kompozita z epoksi smolo več rGF kot v vzorcih s poliestrsko smolo.

Tabela 5: Zbrani rezultati TGA testov

Vzorec	T_{d1} (°C)	$Razpad_1$ (%)	$Razpad_2$ (%)	Saje (%)	Ostanek (%)
Vzorec 0	457,3	50,8	-	0,3	48,9
Vzorec 1	451,0	51,8	-	0,6	47,6
Vzorec 2	450,4	47,7	8,6	0,7	43,0
Vzorec 3	448,9	51,1	1,5	0,7	46,7
Vzorec 4	446,7	52,2	-	0,9	46,9
Vzorec 5	452,7	52,0	-	1,5	46,5
Vzorec 6	446,0	52,8	3,5	1,8	41,9
Vzorec 7	450,1	51,5	-	2,1	46,4

Udarna žilavost (Tabela 6) se zniža pri dodajanju odpadnega duroplastičnega kompozita. Najmanj se zniža pri vzorcu 7 (-21 %), najbolj pri vzorcu 6 (-42 %). Iz navedenega lahko zaključimo, da kompatibilizator SMA2 najmanj doprinese k izboljšanju medfaznih interakcij med PA6 matrico in epoksi smolo v rCF odpadnem duroplastičnem kompozitu. Kombinacija kompatibilizatorjev SEBS-*g*-MA in TPU najbolj izboljša medfazne interakcije med PA6 matrico in epoksi smolo v rCF odpadnem duroplastičnem kompozitu. Rezultati udarne žilavosti so skladni z rezultati TGA testov ostanka po žarjenju. Višja vsebnost steklenih vlaken zviša udarno žilavost kompozitov. Pri kompatibilizatorju SMA1 lahko ugotovimo, da je bolj primeren za kompatibilizacijo odpadnega duroplastičnega kompozita s poliestrsko smolo in manj primeren za kompatibilizacijo odpadnega duroplastičnega kompozita z epoksi smolo. Podobne zaključke lahko naredimo tudi za kompatibilizator SMA2. Dodatek TPU nam zviša udarno žilavost vzorcev kompozitov, tako pri odpadnem duroplastičnem kompozitu s poliestrsko kot z epoksi smolo. Zarezna udarna žilavost je pri vzorcu 7 višja (+ 12 %) glede na vrednost referenčnega vzorca. Pri vseh ostalih vzorcih je nižja. Kombinacija kompatibilizatorjev SEBS-*g*-MA in TPU predstavlja pri vzorcu 7 zadosti fleksibilno območje okoli delcev epoksi smole odpadnega duroplastičnega kompozita, ki prepreči širjenje razpok po PA6 matrici. Zaključimo lahko, da bi bila kombinacija kompatibilizatorjev SEBS-*g*-MA in TPU najboljša za doseganje visoke udarne in zarezne udarne žilavosti. Še višjo udarno žilavost bi po vsej verjetnosti dosegli z višjim odstotkom dodanega kompatibilizatorja TPU.

Tabela 6: Zbrani rezultati udarne in zarezne udarne žilavosti vzorcev

Vzorec	Udarna žilavost (kJ/m^2)	Zarezna udarna žilavost (kJ/m^2)
Vzorec 0	66,7±3,2	11,9±0,8
Vzorec 1	44,3±2,6	8,4±0,8
Vzorec 2	39,7±1,7	7,3±0,6
Vzorec 3	44,5±3,8	8,1±0,6
Vzorec 4	47,3±3,1	8,4±0,7
Vzorec 5	47,2±2,1	9,3±0,4
Vzorec 6	39,0±2,0	7,6±0,4
Vzorec 7	52,6±2,7	13,3±0,9

5 SKLEP

Preučevali smo vpliv dodajanja reciklata duroplastičnega kompozita v zmleti obliki v reciklat termoplastičnega kompozita na osnovi PA6 ojačenega s 50 % steklenih vlaken in hkrati preučevali vpliv dodanega kompatibilizatorja. Na podlagi rezultatov TGA analiz smo ugotovili, da je v reciklatu duroplastičnega kompozita le slaba tretjina (Technol reciklat) oz. polovica (kraki

Blaž NARDIN[1], Rok ZAVRŠNIK[2], Jure PERME[2], Silvester BOLKA[1], Teja PEŠL[1], Tamara ROZMAN[1]
[1]Fakulteta za tehnologijo polimerov, [2]Turnaplast d.o.o.

vetrnih elektrarn) steklenih (rGF) in ogljikovih vlaken (rCF), ostalo je duroplastična matrica, ki deluje le kot polnilo in ne kot ojačevalo. Kljub vsemu pa višanje dodatka reciklata duroplastičnega kompozita vpliva na togost, trdnost in žilavost kompozitov iz reciklata duroplastičnega kompozita v zmleti obliki in reciklat termoplastičnega kompozita na osnovi PA6 ojačenega s 50 % steklenih vlaken. Togost je z dodajanjem rCF pričakovano višja kot pri dodajanju rGF. Pri 15 % dodanih rCF sta tako upogibna kot natezna togost višji kot pri referenci. Trdnost je pri vseh vzorcih z dodanim duroplastičnim odpadom nižja od togosti reference. Izmed vseh vzorcev smo najvišjo upogibno trdnost dosegli pri vzorcu z dodanimi 8 % rGF in 2 % SMA1 ter pri vzorcu z dodanimi 10 % rGF krakov vetrnih elektrarn, 2,3 % rCF, 4,5 % SEBS-*g*-MA in 0,5 % TPU. Najvišjo natezno trdnost smo dosegli pri vzorcu z dodanimi 15 % rCF in 2 % SMA1 ter pri vzorcu z dodanimi 10 % rGF, 1% rCF in 2 % SMA1. Raztezek pri pretrgu je primerljiv z referenco le pri vzorcu z dodanimi 15 % rGF, 4,5 % SMA2 in 0,5 % TPU, pri vseh ostalih vzorcih se zniža glede na referenco. Na podlagi DMA testov smo dokazali, da so reciklat duroplastičnega kompozita in kompatibilizatorji mešljivi, saj je bil steklasti prehod za termoplastično matrico (PA6) odvisen od količine dodanega kompatibilizatorja.

Glavni cilj raziskave dodajanje reciklata duroplastičnega kompozita v zmleti obliki v reciklat termoplastičnega kompozita na osnovi PA6 ojačenega s 50 % steklenimi vlakni, ki sta kompatibilizirana z različnimi količinami in tipi dodanega kompatibilizatorjev je bil uspešno izveden (Slika 3). S testi smo pokazali, da je v reciklatu duroplastičnega kompozita le okoli tretjine do polovice steklenih vlaken in okoli polovice ogljikovih vlaken, ki delujejo kot ojačevalo, da s kompatibilizatorjem na osnovi termoplastičnega poliuretana ohranimo žilavost na visokem nivoju in da so vsi kompatibilizatorji mešljivi s termoplastično matrico. Za nadaljevanje raziskav se bomo osredotočili na dvig natezne trdnosti in žilavosti z novimi kombinacijami kompatibilizatorjev SEBS-*g*-MA in TPU in variiranimi razmerji dodanih rGF ter rCF.

Slika 3: Brizgana kosa »Ski rails« iz pripravljenega termoplastičnega kompozita

[1] G. T. Domingo, A. M. Catelli de Souza, (2016), Influence of reprocessing on the mechanical properties of polyamide 6 containing talc, AIP Conference Proceedings. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108596.
[2] E. Belmonte, M. De Monte, C. J. Hoffmann, (2017), Damage initiation and evolution in short fiber reinforced polyamide under fatigue loading: Influence of fiber volume fraction, Composite Part B, 113, 331-341.

Izjava o omejitvi odgovornosti: Ta projekt je financiral Evropski sklad za regionalni razvoj (ESRR) v okviru sporazuma o dodelitvi sredstev št. 101084037. Vendar so izražena stališča in mnenja izključno avtorjev in ne odražajo nujno stališč in mnenj Evropske unije ali Izvajalske agencije Evropskega sveta za inovacije in MSP (EISMEA). Niti Evropska unija niti organ, ki dodeljuje sredstva, zanje ne moreta biti odgovorna.

Funded by the European Union

ADITIVNE TEHNOLOGIJE: OSNOVNI KONCEPTI, OBETI IN IZZIVI

Edvard GOVEKAR
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

Aditivne tehnologije (AT) predstavljajo novo paradigmo za proizvodnjo in inženiring kompleksnih komponent in materialov, ki močno vpliva na razvoj in gospodarstvo. Svoboda oblikovanja, ki jo ponujajo AT, ima in bo imela pomembne posledice za različne industrije, vključno z orodjarsko, avtomobilsko, vesoljsko in medicinsko. Uporaba AT se je razvila in razširila od hitre izdelave prototipov do današnje proizvodnje izdelkov za končno uporabo. Trenutno so AT še posebej primerne za zelo majhne prilagojene serije, personalizirane dele ali v primerih, ko preoblikovanje ali povsem novi koncepti oblikovanja na osnovi AT ponujajo znatne funkcionalne prednosti v fazi uporabe izdelka (npr. lahke zasnove in predelava delov). Poleg tega imajo AT velik potencial pri razvoju novih zlitin, funkcionalno gradientnih materialov (FGM) in metamaterialov. V tem kontekstu bodo v predavanju predstavljeni osnovni koncepti AT in različni procesi, ki se uporabljajo v AT. Temu bo sledil kratek pregled zgodovine in klasifikacija procesov AT z nekaj dodatnimi informacijami o procesu laserskega selektivnega taljenja prahu v postelji in usmerjene laserske depozicije prahu ali žice, ki se najpogosteje uporabljajo v industriji za aditivno izdelavo kovinskih komponent. Podana bo primerjava med AT in konvencionalnimi izdelovalnimi tehnologijami, tj. tehnologijami preoblikovanja, z vidika porabe materiala, odpadkov in stroškov glede na količino in kompleksnost izdelane komponente. Pred primeri uporabe AT za izdelavo FGM bodo predstavljeni primeri uspešne industrijske uporabe AT v lahkih konstrukcijah z uporabo generativne zasnove, konsolidacije delov in izboljšanja funkcionalnosti komponent. V zaključku je povzet pogled na prihodnje obete in izzive AT.

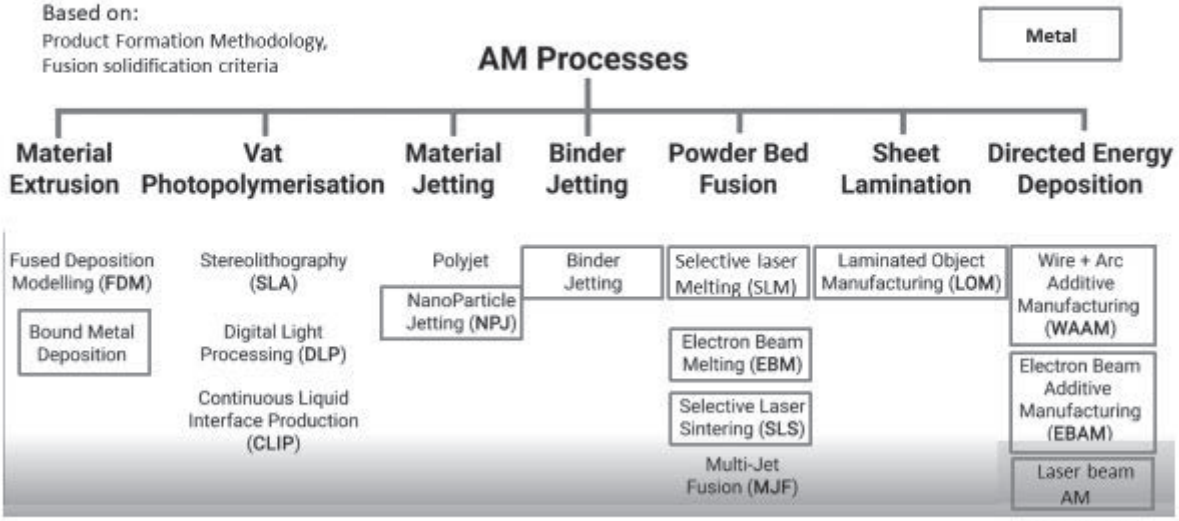
Lecture outline

1. AM concept and examples
2. AM history and process classification
3. Powder bead fusion, DED and AM process chain
4. Examples in industry
5. AM economy vs. conventional manufacturing
6. AM technological and economical benefits
7. AM future prospects and challenges

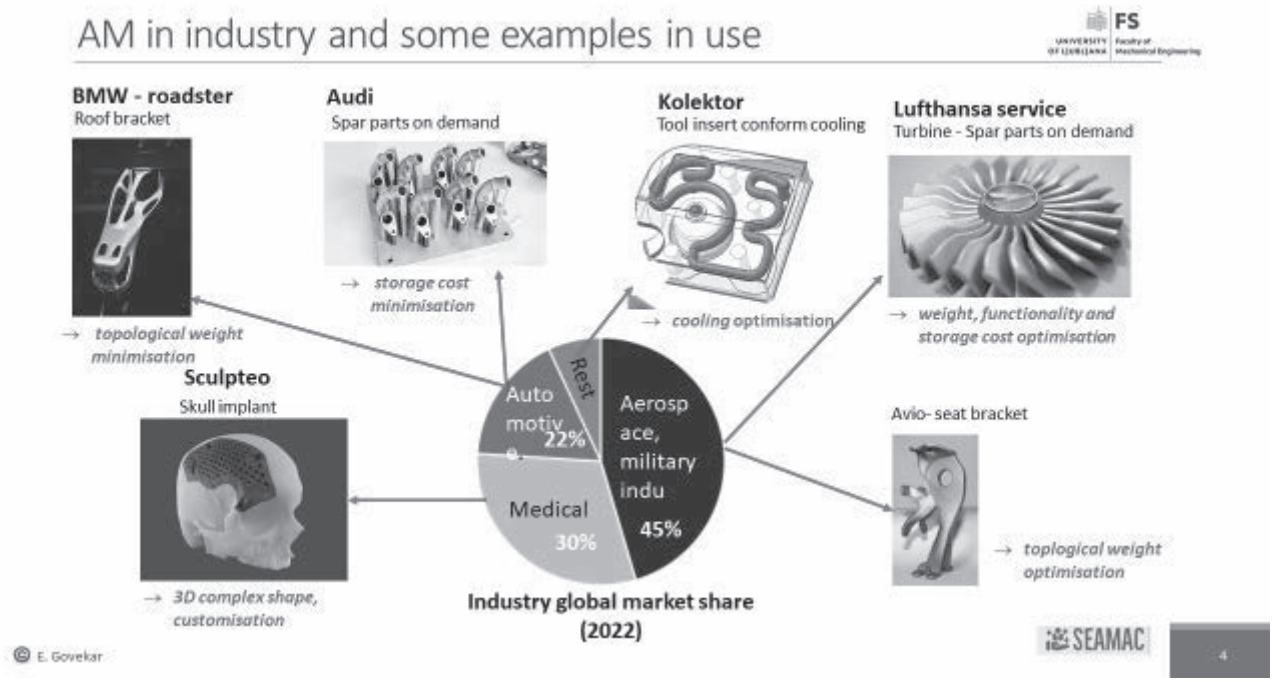
© E. Govekar

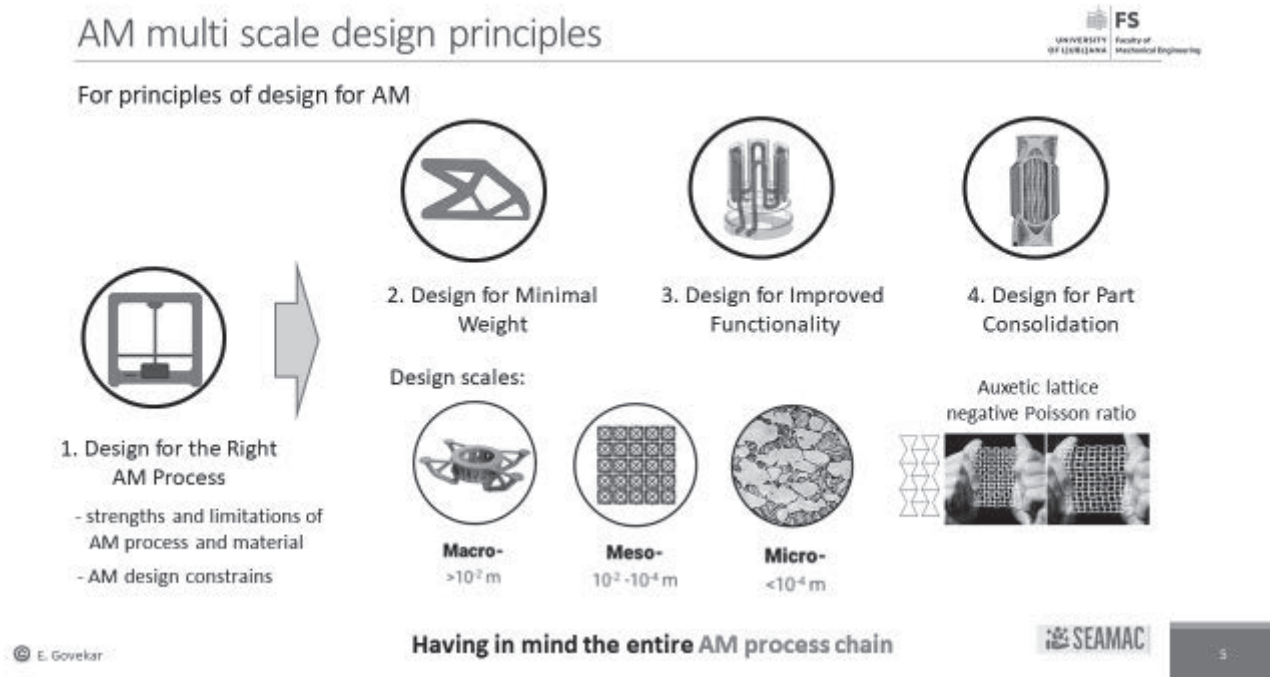
AM process classification (ISO/ASTM 52900:2015)

Based on:
Product Formation Methodology,
Fusion solidification criteria



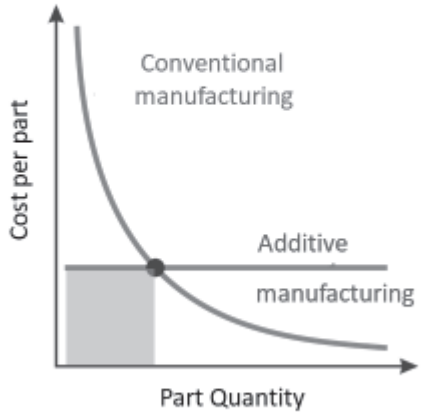
© E. Govekar


AM in industry and some examples in use
FS
BMW - roadster
Roof bracket
→ topological weight minimisation
Audi
Spar parts on demand
→ storage cost minimisation
Kolektor
Tool insert conform cooling
→ cooling optimisation
Lufthansa service
Turbine - Spar parts on demand
→ weight, functionality and storage cost optimisation
Sculpteo
Skull implant
→ 3D complex shape, customisation
Auto motiv 22%
Rest
Aerosp ace, military indu 45%
Medical 30%
Industry global market share (2022)
Avio- seat bracket
→ toplogical weight optimisation
E. Govekar
SEAMAC
4

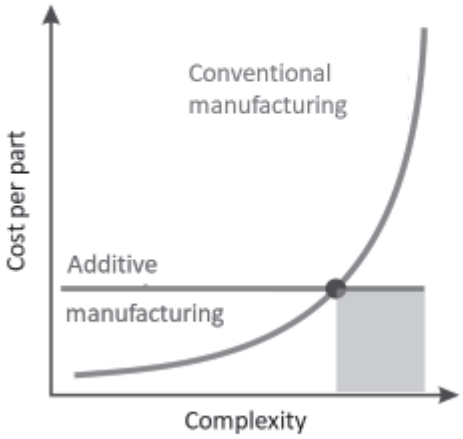

AM multi scale design principles
FS
For principles of design for AM
1. Design for the Right AM Process
- strengths and limitations of AM process and material
- AM design constrains
2. Design for Minimal Weight
3. Design for Improved Functionality
4. Design for Part Consolidation
Design scales:
Macro- >10⁻² m
Meso- 10⁻² -10⁻⁴ m
Micro- <10⁻⁴ m
Auxetic lattice negative Poisson ratio
Having in mind the entire AM process chain
E. Govekar
SEAMAC
5

Economy of AM vs. conventional manufacturing

Cost per part – Part quantity



Cost per part – Part complexity



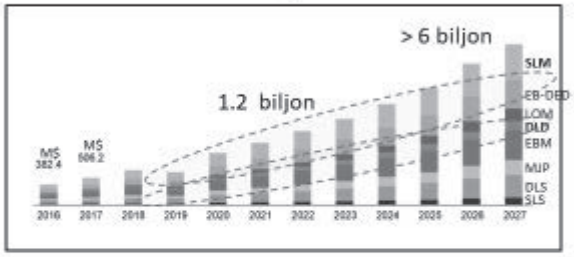
E. Govekar

SEAMAC

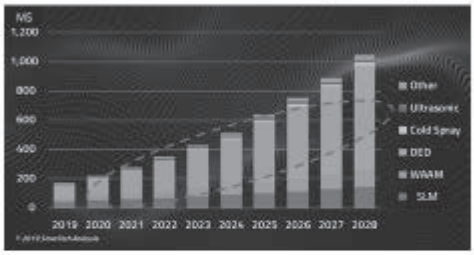
6

AM future prospects and challenges

Nord American Market of AM processes investments



AM Processes investments for larger components



Challenges

AM systems
- need for higher-resolution
- smoother surface finishes, (plasma polishing)
- larger build volume
- the ability to print wide range of materials,
- the development of more efficient and cost-effective printing processes.

AM process / software
- deposition/scanning path optimization
- FE Thermo-mechanical simulations of AM part properties
- multi-physical AM process simulations
- digital support through all process chain
- fabrication of new alloys, FGM and meta materials

AM education (to make aware of the AM potentials)

E. Govekar

SEAMAC

7

TOPOLOGY OPTIMIZATION FOR ADDITIVE MANUFACTURING

Damir GODEC, Mario BROZOVIĆ, Jelena ŠIRJAN
University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture

EXTRACT

Topology optimization (TO) is one of the most powerful tools when designing products intended for additive manufacturing (AM) because it enables weight reduction while simultaneously maintaining or even increasing the performance of additively manufactured products. This saves resources, primarily used material, and depending on the application, energy savings, which is most obvious in the field of transport/mobility, better ergonomics, customisation to users, etc. The TO procedure implies the implementation of a computer simulation of the behaviour of the future product under given boundary conditions and with the set optimization criteria. Today, several commercial computer programs can be used for this purpose. The paper will present the basics of topology optimization as well as application examples with the indicated advantages.

1 INTRODUCTION

The motivation to reduce the energy consumption in transport sector is not only environmental but has a direct correlation with the financial costs of organizations. One of the main directions for implementing improvements in terms of reducing energy consumption has long been recognized by engineers working on the development of new aircraft, cars, trains, or some other means of transport and that is the reduction in vehicle mass.

Using FEM, it is possible to determine the peak stresses of the structure, as well as the displacements in some critical parts. Since conventional production processes are still largely limited by the shapes they can achieve, their use does not always make it possible to achieve a technologically optimal design. [1]

The optimal design would be one that is often very difficult or even impossible to produce using conventional production processes, and structural optimization is a special branch of engineering aimed at making a structure that best stands imposed loads using minimum amount of the material. Therefore, it can be concluded that structural optimization is the main tool of engineers in the process of reducing the total mass of the structure, while the production of optimized parts is increasingly achieved using additive manufacturing (AM). [2,3]

One of the most widespread methods of structural optimization in today's mechanical engineering is topology optimization (TO). Topology optimization is still used as a kind of tool to get an idea during the conceptual phase of the product development, but with the introduction of additive manufacturing, it is increasingly used as a tool that gives the final form of the product. [4]

This paper provides an insight into the process of topology optimization of the electric train cable carrier and drone using the commercial software package Altair Inspire. Both products are optimized with the aim of mass reduction and maximizing stiffness.

2 TOPOLOGY OPTIMIZATION

Optimizing structures is a way of obtaining structures that meet certain requirements, at imposed restrictions. The range of design optimization is usually divided into dimensional (size) optimization, shape optimization, and topology optimization (TO). [4,5]

Due to the organic and often quite complex designs generated through topology optimization, the usefulness of the approach for products intended for traditional manufacturing methods has been limited, but with AM the number of feasible applications has grown. The number of commercial software intended for TO also has

grown quickly over the last years, as the number of applications. [4,5]

Topology optimization is basically the determination of the optimal distribution of materials in the design space that minimizes (or maximizes) the target function, while meeting the set limits. The target function, for example, can be to minimize compliance, i.e. to maximize stiffness, for static problems, or to maximize the base frequency or frequency range for dynamic problems [3].

Topology optimization, as a pre-processor for design and size optimization, in its most general setting, should consist of finding out within the design domain Ω the best material distribution that minimizes an objective function f (Fig. 1).

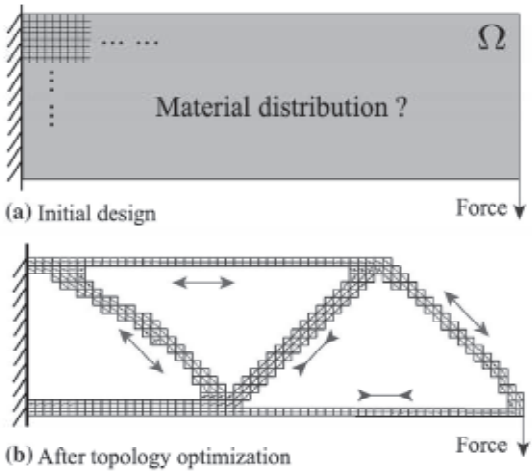


Fig. 1: a) Initial design aimed for topology optimization, b) topology optimized design with stress presentation [6]

The most popular mathematical method for topology optimization is the Solid Isotropic Material with Penalization method (SIMP) [7]. The SIMP method predicts an optimal material distribution within a given design space, for given load cases, boundary conditions, manufacturing constraints, and performance requirements. The SIMP method is also used in *Altair Inspire* software, used for this paper. Topology optimization in general can be divided into 8 steps [8]:

1. Define design space
2. Define non-design space
3. Define boundary conditions
4. Define constraints and objectives
5. Define optimization settings
6. Solve
7. Interpret the results
8. Validate.

The design space is the volume within which the TO algorithm can redistribute material. To give the optimization algorithm, the best possible starting point, the design space should be as large as possible. An overly constrained design space will not allow the algorithm to find the optimal load paths, as illustrated in Fig. 2.

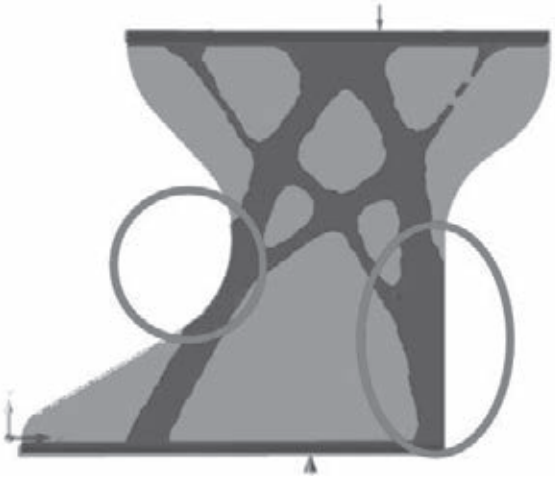


Fig. 2: Areas where the design suggested by the topology optimization coincide with the design space boundary typically indicate that the design could be improved if the design space is expanded [8]

As surfaces where the product interfaces with other parts, such as fasteners or bearings, should remain unaltered by the optimization, these should be marked as non-design space (Fig. 3).

Fig. 3: Non-design space regions around areas with boundary conditions [8]

The boundary conditions need to be chosen with care. They should as close as possible represent the real loading part conditions (Fig. 4).

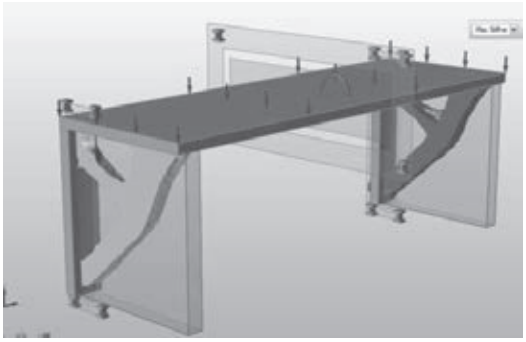


Fig. 4: Boundary conditions definition for TO [8]

There are several possible constraints and objectives that may be set up for TO. The most commonly available objectives include minimizing the compliance (i.e., maximizing the stiffness) and minimizing the mass. These objectives will not generate useful design by themselves and need to be coupled to constraints. Minimizing the mass is often linked to a constraint on the part stresses or deformation.

Apart from structural constraints, many software vendors have added support for taking AM-specific manufacturing constraints into account. One can, for instance, reduce the need for support material by adding an overhang constraint, which limits the number of surfaces with an angle below the defined support angle and build direction.

The results from a topology optimization are most commonly in the form of a mesh-based model which is quite coarse, may have many stress concentrations, and may not fit well with interfacing components. Due to this, there is a need to remodel the mesh-based result to make it suitable for manufacturing and use. There are three main approaches for this, as illustrated in Fig. 5:

1. Mesh-based smoothing
2. NURBS interpretation
3. Manual re-design.

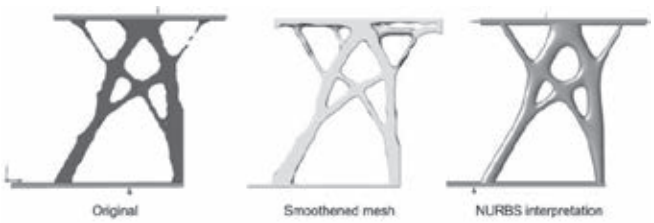


Fig. 5: Approaches for post-processing the topology optimization result [8]

3 TOPOLOGY OPTIMIZATION CASE STUDIES

In this paper, main goal is to reduce the mass of optimised parts. Two case studies are presented: TO of train cable carrier and TO of drone.

3.1 Train cable carrier topology optimization

The primary function of the high-voltage cable of an electric train is to fasten the cable from undesirable shear when acting G forces and to direct the cable at a certain angle to the end devices. Its position in the CAD environment within the partial design of the train roof and in initial appearance for TO can be seen in Fig. 6.

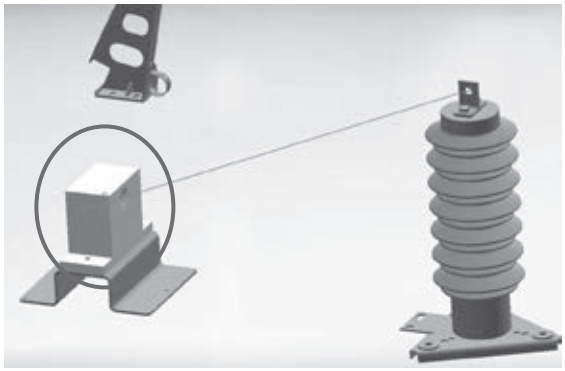


Fig. 6: CAD model of assembly with cable path sketch [9]

Initial design static analysis

Since the initial design is quite massive, the results shown in the Fig. 7 and 8 were expected.

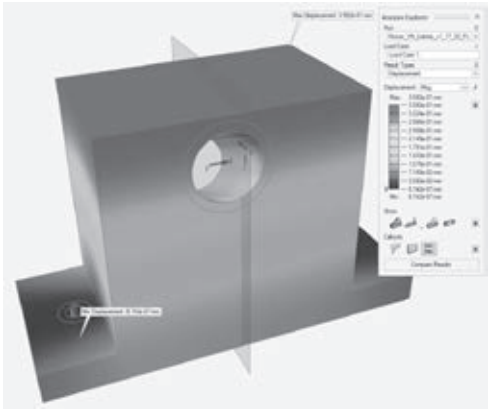


Fig. 7: Initial design - displacement peak values [9]

The displacements and peak stresses of the structure are almost negligible, while the minimum safety factor at the places of the supports is 3,5.

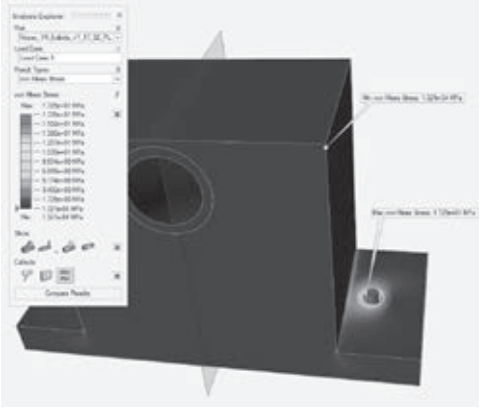


Fig. 8: Initial design – stress peak values [9]

Topology optimization – minimizing mass

The topology optimization of the existing initial design to minimize mass is performed with selection of safety factor 2 (Fig. 9). Selecting of this factor is the subjective estimate for making the first prototype. By conducting multiple simulations, with safety factors 1,2 and 1,5 it was concluded that, when minimizing mass, the software defines sharp transitions in structure with a lack of material. Selecting safety factor 2 gives a slightly more massive transition to the edge and will present itself as the optimal solution within this paper.

Fig. 9: TO design – minimized mass [9]

Obtained design must primarily be statically analysed as it was done for the initial design and evaluated the results of the analysis. As a part of the analysis of the optimization results, the same parameters will be observed as with the initial design. The results of analysis for such a thicker structure, are given in following Fig. 10 and 11.

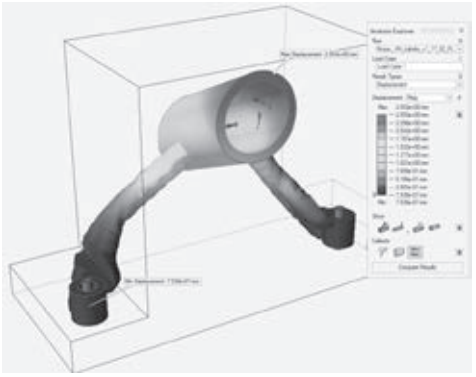


Fig. 10: TO design displacement distribution [9]

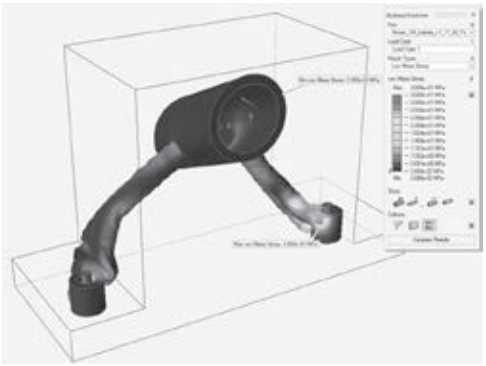


Fig. 11: TO design stress distribution [9]

If the maximum displacement of the topology optimized structure is compared with the initial design (Fig. 7), here the values are almost 10 times the initial value, which is not negligible, but also not critical in this specific application.

By analysing the peak stress values according to Von Mises' strength theory, it is evident that it is a magnification of the maximum stress of almost 2 times (Fig. 11). Since in the area of maximum stress the safety factor is still greater than 1, this will also not be considered as a critical value. Analysis of the peak values of safety factors shows that uniformity was not achieved throughout the entire optimized model (Fig. 12).

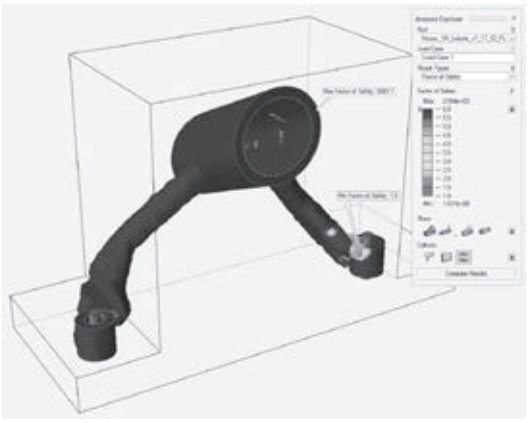


Fig. 12: TO design safety factor distribution [11]

Uniformity would occur if each point of a topology optimized design had a safety factor value lager than 2, as this was the basic condition given when defining optimization criteria. The value of the minimum safety factor is 1,6 and for the purpose of this paper it can be considered acceptable, so such design will be post-processed.

The post-processing of the topology optimized design is done for the aesthetic reason and to reduce the impact of sharp edges, for example by implementing rounding. As a part of Altair Inspire software, this is done in such a way that either automatically or manually "withdraws" material within the domain specified by topology optimization (Fig. 13).

Fig. 13: Post-processed TO design [9]

Table 1: TO results summary – cable carrier [9]

Design	Max. stress (MPa)	Min. safety factor	Mass (g)
Initial	17,35	3,5	2.580
TO – min. mass	36,65	1,6	100

3.2 Drone topology optimization

Existing drone design (Fig. 14) was produced with advanced material (e.g. carbon-fibre/polymer composites) in order to ensure required capacity and range, but as there are lot of demands for increasing both, existing drone design was optimised with TO.

Fig. 14: Initial drone design [10]

Initial drone pure design elements (without drive and control components) weight was 823,9 grams and drone design consist of 16 elements. Main goals of this case study were reduction of drone mass and number of design elements.

Fig. 15 shows definition of initial design and non-design space for a drone boom.

Fig. 15: Initial drone boom design space [10]

Fig. 16 and 17 show raw results after first optimisation, and smoothed design of the drone boom.

Fig. 16: Raw results of drone boom TO [10]

Fig. 17: Post-processed boom design [10]

For optimisation of the design of drone main body, *nTopology* software was used for application of lattice structures in design. Fig. 18 shows assembly of drone 3D printed with FFF technology.

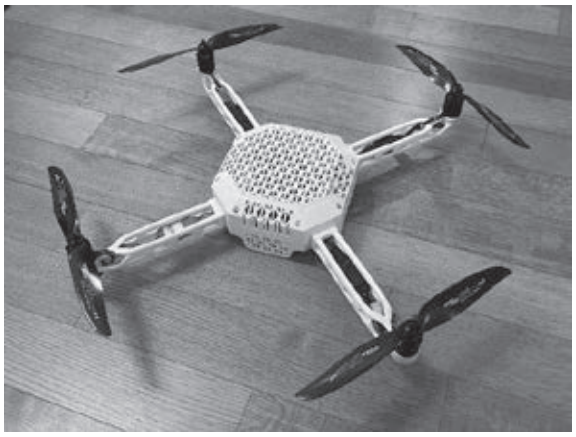


Fig. 18: Assembly of TO drone design [10]

Table 2 shows main results of performer design optimisation (part consolidation and mass reduction).

Table 2: TO results summary – drone [10]

Design	No. of elements	Mass (g)
Initial	16	823,5
TO – min. mass	6	490,0

4 CONCLUSIONS

This paper presents the process of design optimization of the high-voltage cable carrier of a commercial electric motor train as well as drone using the *Altair Inspire* and *nTopology* software. The paper is structured as a case study, where two types of optimizations were performed: topology optimization and generating lattice structures. Structure topology optimization significantly reduces its mass, in both cases. In the first case, optimized design has a mass of less than 10 % of the initial structure, which means that a mass reduction of over 90 % has been achieved. In the second case of the drone, optimized design has 40 % less mass compared to already optimized carbon-fibre drone design, and the result of part consolidation is reduction from 16 to only 6 drone parts.

References:

[1] Sorić, J. (2021). Metoda konačnih elemenata – Linearna i nelinearna analiza konstrukcija. Golden Marketing – Tehnička knjiga

[2] Diegel, O., Nordin, A. & Motte, D. (2020). *A practical guide to design for Additive Manufacturing*. Springer.

[3] Bendsøe, M. P. & Sigmund, O. (2004). *Topology optimization – Theory, methods and applications*. Springer.

[4] Liu, J., Gaynor, A. T., Chen, S. *et al*. (2018). Current and future trends in topology optimization for additive manufacturing. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. Springer.

[5] Saadlaoui, Y., Milan, J. L., Rossi, J. M. & Chabrand, P. (2017). Topology optimization and additive manufacturing: Comparison of conception methods using industrial codes. *Journal of Manufacturing Systems, 43*(1), 178-186. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.03.006.

[6] Meng, L., Zhang, W., Quan, D. *et al.* (2020). From Topology Optimization Design to Additive Manufacturing: Today's Success and Tomorrow's Roadmap. *Archives of Computational Methods in Engineering*, *27*, 805–830. https://doi.org/10.1007/s11831-019-09331-1.

[7] Dassault Systemes. (2022, February 8). SIMP Method for Topology Optimization. SOLIDWORKS Help. https://help.solidworks.com/2019/English/SolidWorks/cworks/c_simp_method_topology.htm.

[8] Godec, D., Gonzalez-Gutierrez, J., Nordin, A., Pei, E. & Alcázar, J. U. (2022). *A Guide to Additive Manufacturing*. Springer.

[9] Brozović, M. (2022). *Topology optimisation of high voltage cable bracket of electric motor-operated train*, B.Sc. Paper, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture.

[10] Širjan, J. (2021). *Topology drone design optimization for additive manufacturing,* B.Sc. Paper, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture.

FIZIKALNI PROCESI PRI 3D-TISKANJU KOVINSKIH IZDELKOV: IZBIRA MATERIALOV IN TEHNOLOGIJ

Alex KATZ
Israel Institute of Materials Manufacturing Technologies, Technion R&D Foundation, Technion

IZVLEČEK

Predstavljena so načela aditivne proizvodnje (AM) za kovinske materiale s poudarkom na izbiri materialov in procesov, ki izboljšujejo tako funkcionalne kot estetske lastnosti. Pregled vključuje tehnologije kot so SLM, EBM in BJP, ki podrobno opisujejo njihovo uporabo pri ustvarjanju učinkovitih, stroškovno ugodnih komponent.

Physical processes responsible for properties of metallic as-built products Materials and AM process selection

Dr. Alex Katz
Israel Institute of Materials Manufacturing Technologies,
Technion R&D Foundation, Technion, Haifa, Israel

Forum IRT, Portorož, Slovenia
2024, June 11

Highlights

I. Basic principles of selection
II. Physical processes involved in AM and post-processing
   - ✓ Heat transfer
   - ✓ Mass transfer and diffusion governed processes
   - ✓ Sintering
III. AM for metallic materials
   - ✓ Selective Laser Melting (SLM)
   - ✓ Electron Beam Melting (EBM)
   - ✓ Binder Jet Printing (BJP)
   - ✓ Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)
   - ✓ Direct Energy Deposition (DED)
IV. Examples of DfAM approaches

Forum IRT, Portorož, Slovenia
2024, June 11

Selection Criteria

Visual

Structural

Functional

Forum IRT, Portorož, Slovenia
2024, June 11

Selection a process by manufacturing ability
Rules of thumb

- Determine early in the selection process if functionality or visual appearance is the first priority.
- When more than one processes can produce parts in the same material, the selection process becomes a cost versus properties comparison.
- For functional polymer parts, prefer thermoplastics (SLS or FDM) over thermosets.
- For visual appearance and aesthetics, thermosets (SLA/DLP or Material Jetting) are the best option.
- For metal parts, choose DMLS/SLM for high-performance applications and Binder Jetting for lower cost and larger part size.
- For functional parts in metal or plastic, also consider post-processing.
- For some tasks selection of the process is related to process development.

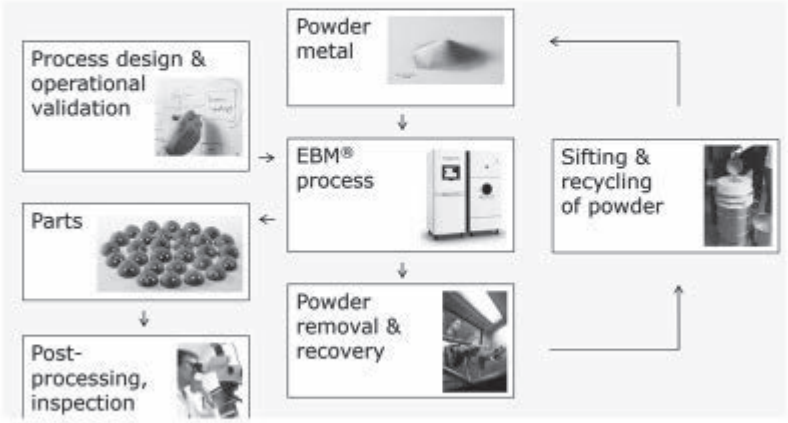
Forum IRT, Portorož, Slovenia
2024, June 11

Physical processes

- ✓ Heat input and heat transfer
- ✓ Diffusion and mass transfer
- ✓ Sintering
- ✓ Nucleation / growth / phase transitions
- ✓ Evaporation/condensation
- ✓ In-situ alloying and in-situ sintering

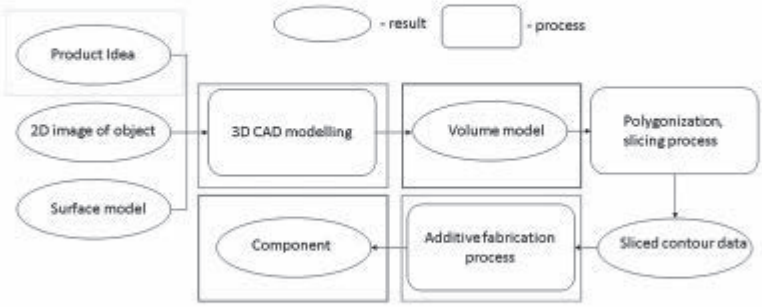
Forum IRT, Portorož, Slovenia
2024, June 11

AM Technologies
Electron Beam Melting



Forum IRT, Portorož, Slovenia
2024, June 11

Product development DfAM example (M. K. Thompson et al. 2016)



Forum IRT, Portorož, Slovenia
2024, June 11

TEHNOLOGIJA MOLDJET - ADITIVNA PROIZVODNJA 2.1 - NASLEDNJA STOPNJA

Steffen W. KUHN
DACH, Munich

IZVLEČEK

Tehnologija MoldJet predstavlja aditivno proizvodnjo 2.1, naslednjo stopnjo v 3D tiskanju. Razvito s strani Tritone Technologies, ta napredni sistem izboljšuje učinkovitost in kakovost proizvodnje, postavljajoč nove standarde v industriji glede aditivnih tehnologij.

Steffen W. KUHN
DACH, Munich

Die AM-Welt in 2024:

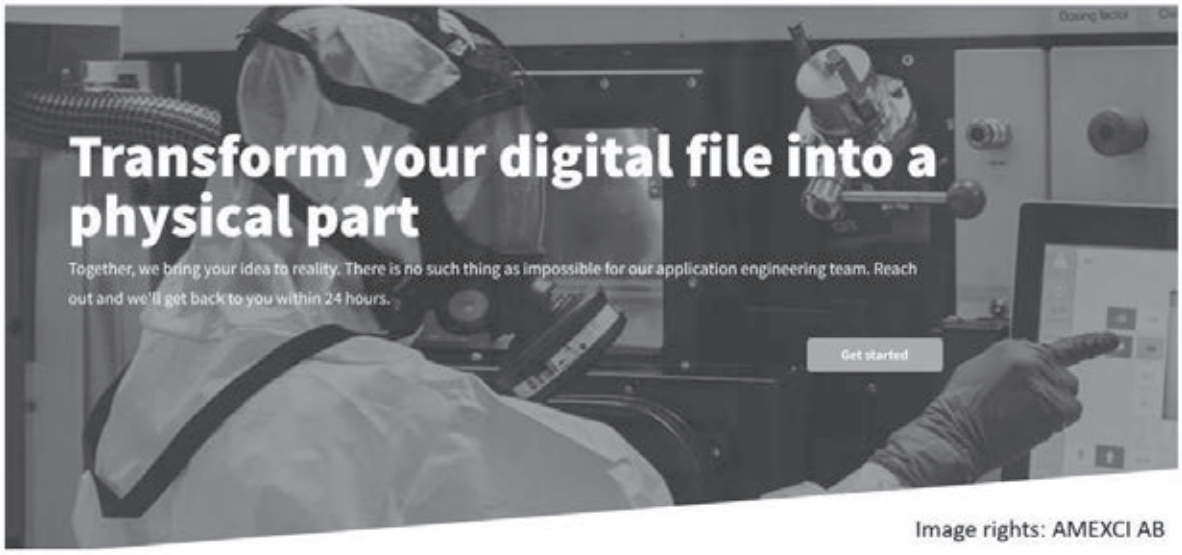


Image rights: AMEXCI AB

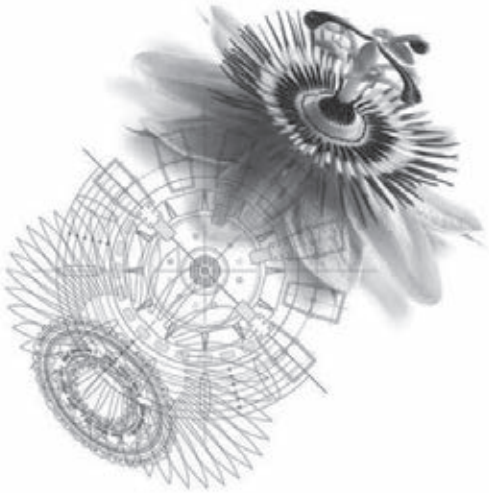
Tritone

Reality in 2024

Tritone

Tritone
Industrial Additive Manufacturing

The Tritone-Solution:

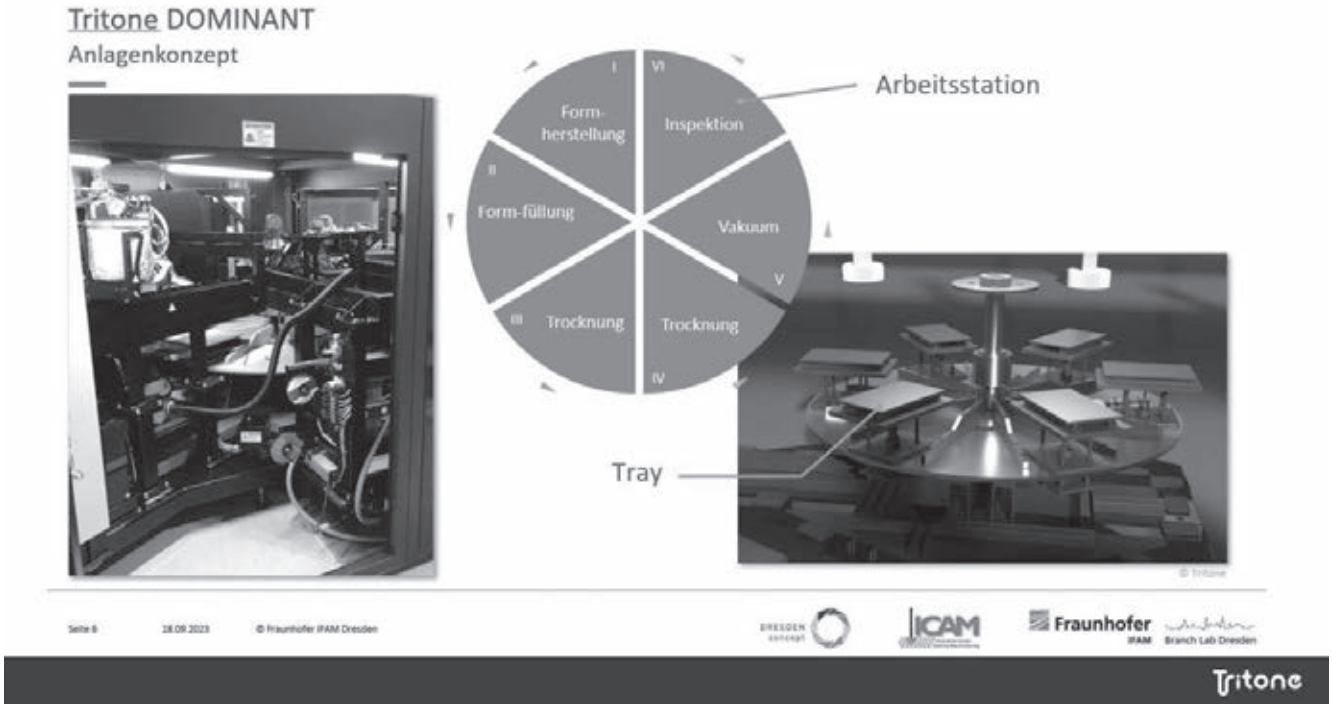


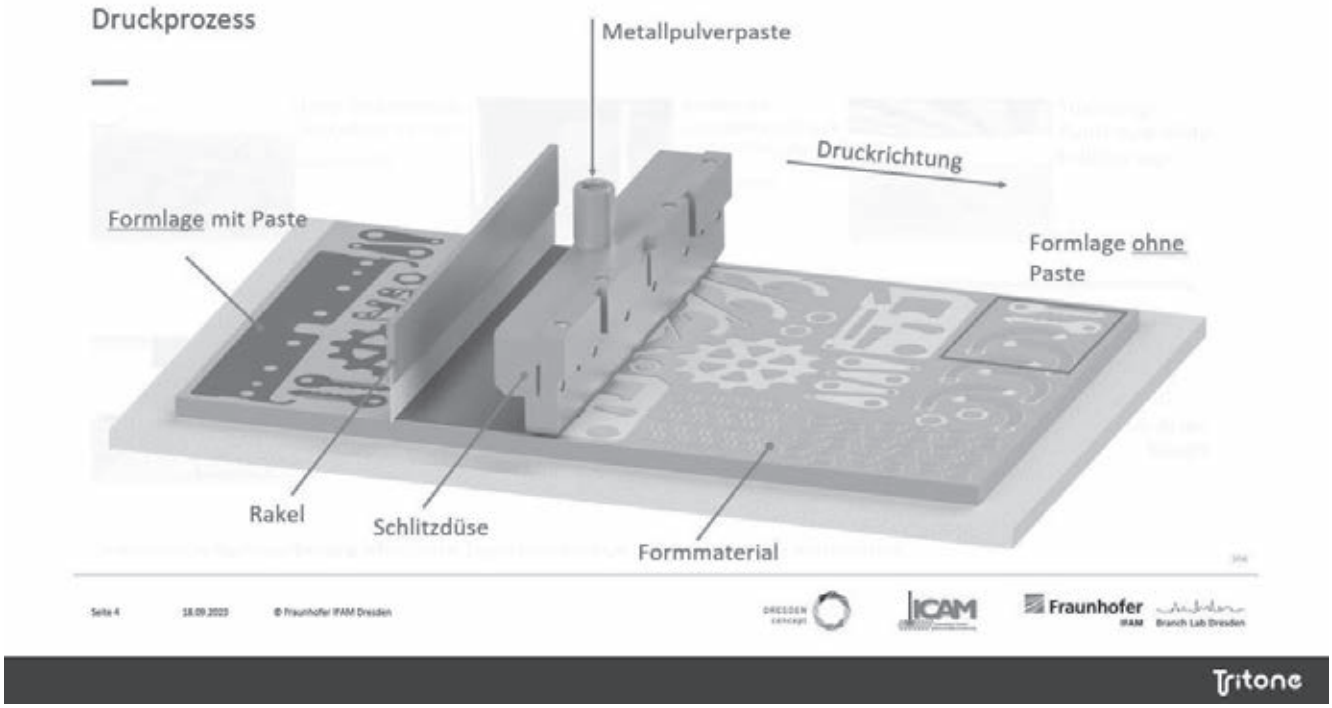
Tritone® Dominant AM system

System specifications

- Printing System: Tritone® DOMINANT industrial additive manufacturing machine
- Technology: MoldJet® – digital mold fabrication
- Build volume: 400 x 240 x 120 mm (L x W x H) over 6 trays
- Throughput: Up to 1,600 cc/h
- Density: Up to 99%
- Nominal layer thickness: Versatile 50 – 100 µm
- Support material: Tritone Mold proprietary material
- Number of trays: 6, simultaneous and independent
- Machine footprint: 3200 x 2200 x 1900 mm (L x W x H)
- Weight: 2,300 kg

Tritone Technologies Confidential Tritone


Tritone DOMINANT
Anlagenkonzept
I
Form-herstellung
II
Form-füllung
III
Trocknung
IV
Trocknung
V
Vakuum
VI
Inspektion
Arbeitsstation
Tray
Seite 6
18.09.2023
© Fraunhofer IFAM Dresden
Fraunhofer
IFAM
Branch Lab Dresden
Tritone

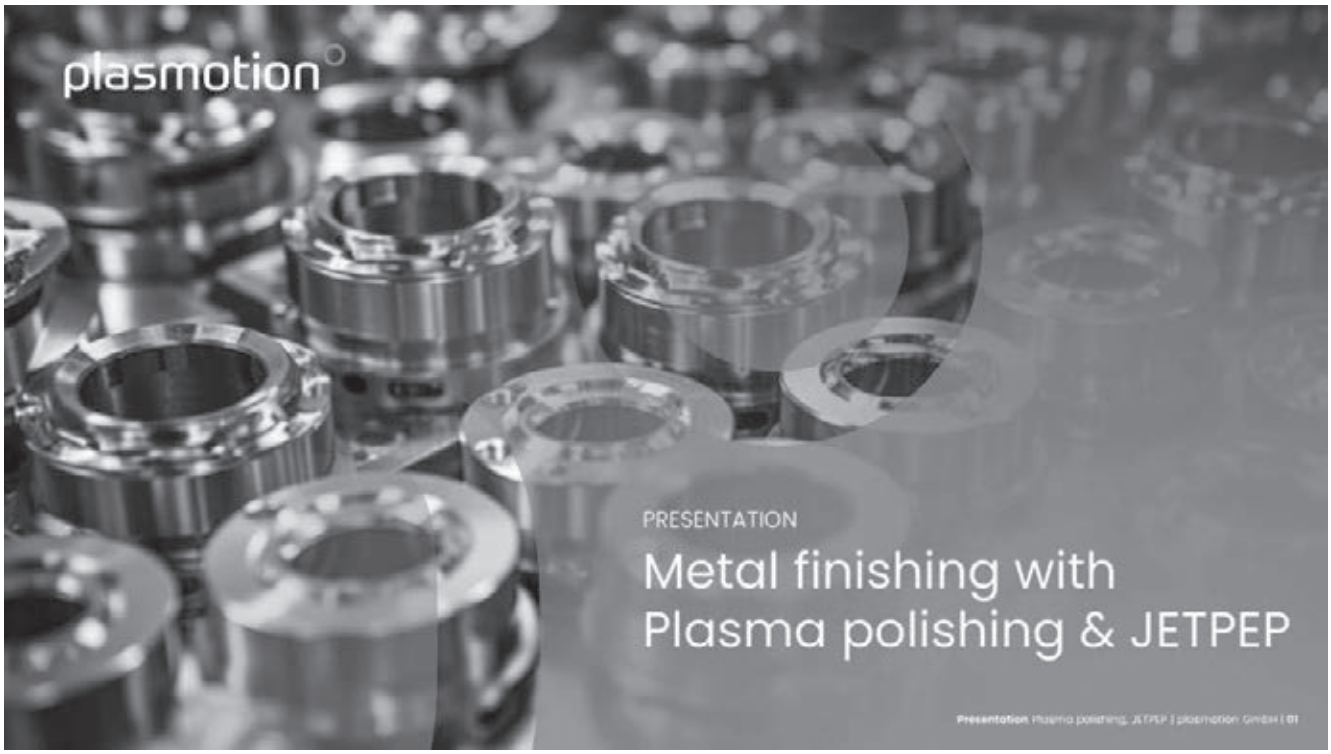

Druckprozess
Metallpulverpaste
Druckrichtung
Formlage mit Paste
Formlage ohne Paste
Rakel
Schlitzdüse
Formmaterial
Seite 4
18.09.2023
© Fraunhofer IFAM Dresden
Fraunhofer
IFAM
Branch Lab Dresden
Tritone

PLAZEMSKO ELEKTROLITSKO POLIRANJE V KADI IN Z ELEKTROLITSKIM CURKOM

Vincent STEPPUTAT
Plasmotion GmbH

IZVLEČEK

Predstavljene so napredne rešitve podjetja za obdelavo s tehnologijama plazemskega elektrolitskega poliranja in plazemskega poliranja z elektrolitskim curkom (JetPeP). Poudarjen je njihov okolju prijazen in učinkovit proces, ki združuje čiščenje, odstranjevanje svarnih robov in poliranje v enem koraku. Osredotočenost je na edinstvenih sposobnostih JetPeP za selektivno in natančno obdelavo, idealno za velike delovne kose in izboljšanje varilnih šivov. Podjetje izkorišča robusten portfelj patentov in razvoj prilagojenih strojev za različne industrijske aplikacije.



Company

We are the one-stop solution provider for plasma electrolytic surface technology.

Our Technologies

- Plasma polishing and deburring: comprehensive material portfolio
- JETPEP: our innovation for selective plasma polishing
- Patent portfolio and in-house electrolyte development

Our Solutions

- Contract manufacturing from single pieces to series production
- Customer-specific machine development
- Process consulting and analyses

Plasma polishing

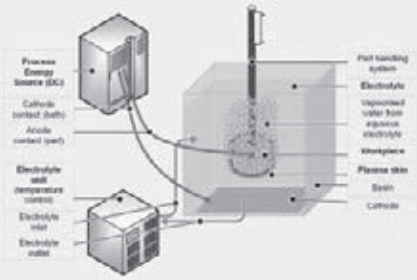
Plasma polishing is the environmentally friendly alternative – not only to electropolishing.

Cleaning, deburring and polishing in a single step.

Efficient
Processing from 20 s to 200 s instead of hours.

Best results
Smooth, shiny, burr-free, clean

Gentle
without therm. and mech. stresses



Environmentally friendly
Aqueous, regenerable salt solutions instead of hot sulfuric acid and respirable dusts

Reliable
Fully automated finishing with consistent results

Plasma polishing

Plasma polishing is particularly suitable for series where quality and flexibility count.

Polishing milk frother for high-end coffee machines

Material: 1.4301

Challenge: Constant Ra 0.4 µm and colour/gloss match with the chrome-plated middle piece, which cannot be achieved by electropolishing.

Result: Fulfilment of all requirements with plasma polishing directly from the raw stainless steel surface, eliminating the need for shot peening as a pre-processing step.

Milk frother before and after plasma polishing

W
Al
Fe
Cu
Ti
Ni
Co
...

JETPEP

JETPEP breaks through the application limits of plasma polishing: part size and selectivity.

Process

- Plasma polishing: approx. 70 W/cm²
- Selective and jet-based processing by means of a special JETPEP nozzle
- Low flow velocities, localized finishing effect
- Automation via robot and axis kinematics

JETPEP
JETPEP makes processing possible that could previously only be done manually.
18 s JETPEP
Applications
Polishing of large workpieces (up to continuous)
Area-specific reduction of roughness
Targeted post-processing of weld seams
Presentation Plasma polishing, JETPLP | plasmotion GmbH | 06

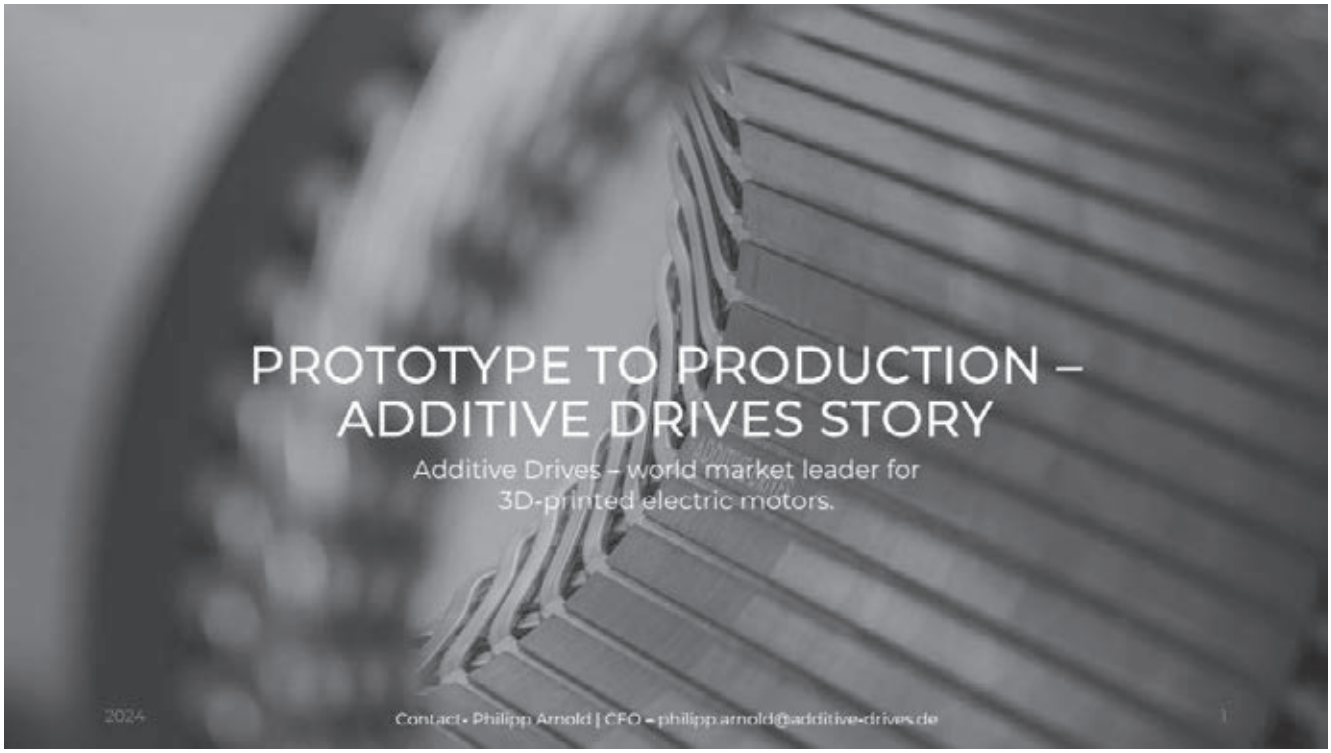
JETPEP
The unique properties of plasma-polished surfaces – exactly where you need them.
Welded assembly for the food industry
Material: 1.4301
Challenge: Local post-processing of welds, homogeneous gloss
Result: Removal of welding fumes and tarnishes within 15 s, increased gloss on the base surface
Schweißbaugruppe aus 1.4301, vor und nach dem JETPEP
W
Al
Fe
Cu
Ti
Ni
Co
...
Presentation Plasma polishing, JETPLP | plasmotion GmbH | 07

OD PROTOTIPIRANJA DO PRODUKCIJE - ZGODBA PODJETJA ADDITIVE DRIVES

Tobias GLASER
Additive|Drives GmbH

IZVLEČEK

Predstavljen je razvoj podjetja Additive Drives od prototipiranja do proizvodnje prilagojenih, visoko učinkovitih električnih motorjev z uporabo 3D-tiska. Predstavljen je prehod iz ročnih na avtomatizirane procese, doseganje serijske proizvodnje v različnih industrijah in razvoju tehnologij z skoraj 20 patenti. V prihodnje se osredotočamo na povečanje proizvodnje preko napredne avtomatizacije in stalne inovacije v aditivni proizvodnji, ki ustreza raznolikemu naboru tipov in velikosti motorjev.



How it started
Transferring ideas to production
Focus on 3d printing
Manual processes
No scalable processes
2024

The approach
Transferring ideas to production
Customer Focus
Organic Growth
System Focus → Focus is the eMotor, not the printed part!
2024
4

The current status
Customized eDrives

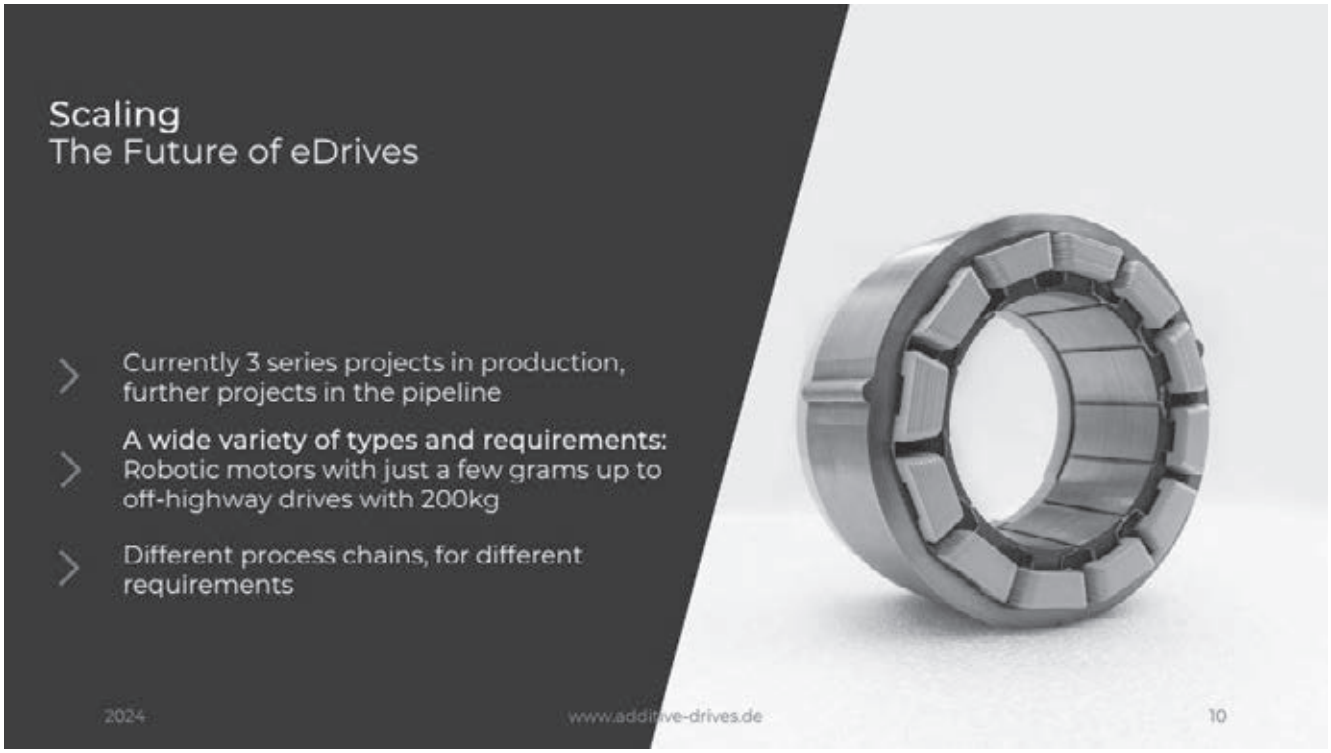
- Series production in various industries
- Technology development: almost 20 patents on electric motors

2024 www.additive-drives.de 6

The product
Customized eDrives

- Highest Power Densities in the market (above 25 kW/kg or 90 kW/l)
- Highest Efficiency in the market

2024 www.additive-drives.de 7


Scaling
The Future of eDrives
Currently 3 series projects in production, further projects in the pipeline
A wide variety of types and requirements: Robotic motors with just a few grams up to off-highway drives with 200kg
Different process chains, for different requirements
2024
www.additive-drives.de
10

Stay in Touch
Additive|Drives GmbH
Pforzheimer Str. 7a
01189 Dresden Germany
www.additive-drives.de
Your contact person
Philipp Arnold
Chief Financial Officer
philipp.arnold@additive-drives.de
+49 173 3061919
2024
11

3D-TISKANJE LAHKIH ZLITIN IN RAZVOJ NOVIH MATERIALOV

Keren ZOHAR-HAUBER
Israel Institute of Materials Manufacturing Technologies, Technion R&D Foundation, Technion

IZVLEČEK

Predstavljeni so napredki v aditivni proizvodnji lahkih zlitin, s poudarkom na izzivih in rešitvah za materiale, kot sta magnezij in aluminij. Študija poudarja nove zasnove zlitin in optimizacijo procesov za premagovanje težav, kot sta razpoke v vročem in kontrola toplote.

Additive Manufacturing of Light weight alloys

Keren Zohar Hauber
Israel Institute of Materials Manufacturing Technologies,
Technion R&D Foundation, Technion, Haifa, Israel

Forum IRT, Portorož, Slovenia
2024, June 11

Highlights

1. Introduction
- Challenges in AM manufacturing of light alloys
- Additive Manufacturing Processes for Light alloys
- Light weight alloys for AM

2. New alloys design and manufacturing
- Magnesium alloys
- Aluminum alloys
- Titanium Aluminides

3. Future work

Challenges in 3D Printing of Light Alloys

Heat management: high thermal conductivity, posing challenges in controlling heat distribution during the printing process.

Oxidation susceptibility: Light alloy powders are prone to oxidation especially when exposed to air during handling and processing at high temperatures.

Material properties: Achieving desired mechanical properties, such as strength and ductility, while maintaining low density and weight presents challenges in alloy composition and processing parameters.

AM Processes for Light

Powder Bed Fusion

Directed Energy Deposition

Binder Jetting

Light weight alloys

Aluminum alloys:

Lightweight, corrosion-resistant, widely used in aerospace and automotive industries.

Titanium alloys:

High strength, biocompatible, favored in aerospace and medical applications.

Magnesium alloys:

Low density, high strength-to-weight ratio, emerging in various industries (Medical, aerospace, automotive, defense

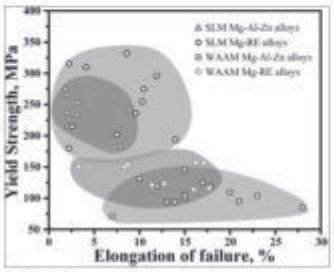
Light weight alloys

Mg is a "hard to weld" material, because of its physical properties (low boiling point, low enthalpy of vaporization, low viscosity in the ,melt pool, etc.).

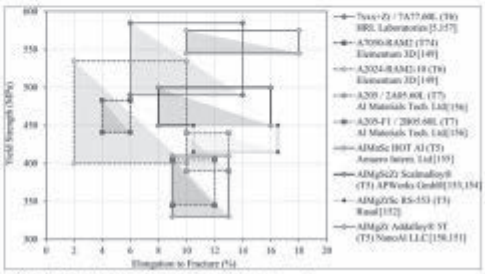
High-strength Al alloys of the 2XXX, 5XXX, 6XXX or 7XXX series are prone to hot cracking , therefore are hard to print/weld.

To prevent cracks and improve mechanical properties:

- Improve weldability by chemical modification.
- Grain refinement by inoculation addition.

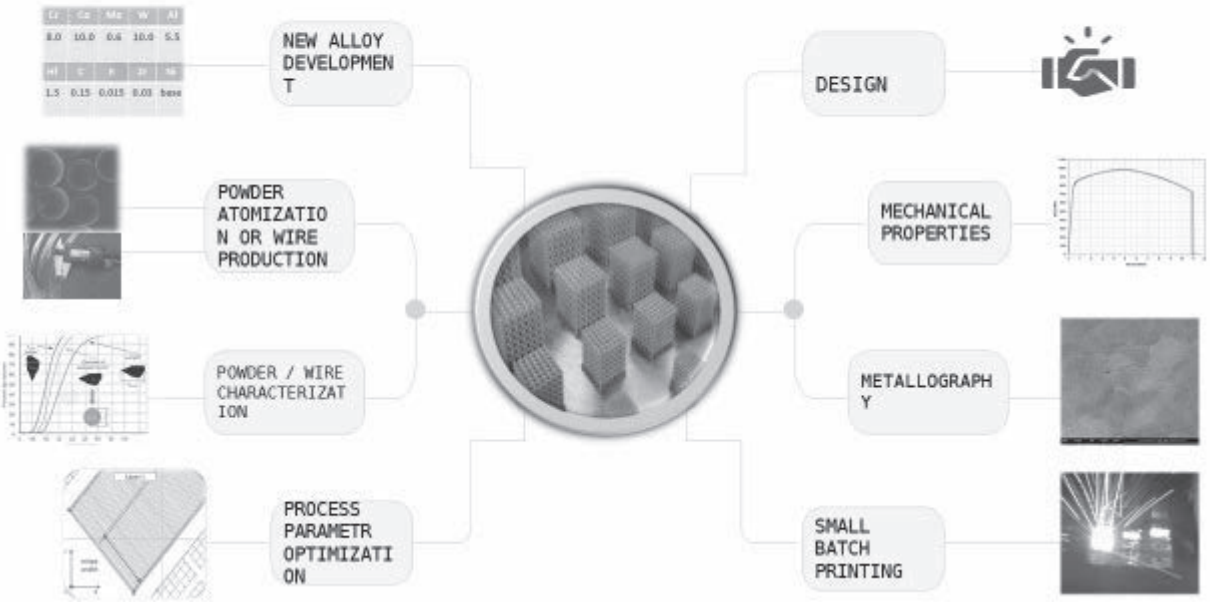


Ref: T.S Wang, J Mater Sci Lightweight Materials,2024; https://doi.org/10.1007/s10853-024-09455-1



Ref: P.A.Rometsch, Materials and Design, volume 219, 2022; https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110779

New Materials Design



PRIMERJAVA TEHNOLOGIJ MIM IN MBJ

David HOMAR, Domen STRENČAN, Jernej LOKOVŠEK
Solid World d.o.o.

IZVLEČEK

Tehnologija 3D tiskanja Metal Binder Jetting (MBJ) se je razvila iz tehnologije Metal Injection Moulding (MIM). Z obema tehnologijama izdelujemo manjše kovinske dele s kompleksnimi oblikami. Gre za metalurgijo prahov. Razlika med tehnologijama je kako pridemo do tako imenovanega zelenega kosa, kar bo podrobneje predstavljeno v tem prispevku.

1 UVOD

Tehnologija Metal Injection Moulding je poznana že več kot 50 let. Gre za tehnologijo, kjer s sintranjem tako imenovanih zelenih kosov, to so izdelki iz kovinskega prahu in veziva, pridemo do končnih izdelkov. Zeleni kosi pa se izdelajo z brizganjem mase, ki je mešanica kovinskega prahu in polimernega veziva, v orodje.

Pravzaprav se uporablja za velikoserijsko proizvodnjo majhnih in kompleksnih komponent z visoko natančnostjo, predvsem komponent, ki ne zahtevajo naknadne obdelave.

Slaba stran tehnologije MIM so visoki stroški, predvsem zaradi stroškov izdelave orodij. Zato se vedno bolj uveljavlja tehnologija Metal Binder Jetting (MBJ), ki se je razvila iz tehnologije 3D tiskanja in tehnologije MIM. Tukaj se zeleni kosi izdelajo z nanašanjem veziva iz brizgalne glave na plast prahu. To se ponavlja plast za plastjo in na koncu dobimo zelen kos, katermu moramo pred sintranjem odstraniti okoliški nestrjen prah.

2 MIM

Metal injection moulding (MIM) je postopek obdelave kovin, pri katerem se fino zrnat kovinski prah zmeša z vezivnim materialom, da se ustvari vhodna masa, ki se nato oblikuje in utrdi z uporabo brizganja v orodje. Metal injection moulding združuje najkoristnejše lastnosti prašne metalurgije in brizganja plastike, kar omogoča proizvodnjo majhnih, kompleksno oblikovanih kovinskih komponent z izjemnimi mehanskimi lastnostmi. Postopek oblikovanja omogoča izdelavo kompleksnih delov v velikih količinah v enem koraku. Po oblikovanju se zelene dele, da v peč kjer se najprej odstrani vezivo nato pa se sintrajo na temperaturi žarjenja in se vsi delci prahu povežejo med seboj. Končni izdelki so majhne komponente, ki se uporabljajo v mnogih industrijah in aplikacijah.

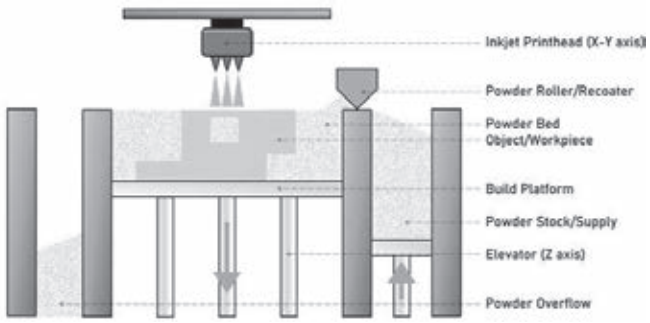
V večini primerov se brizga v več-gnezdna orodja, kar MIM naredi stroškovno učinkovit za majhne, zapletene izdelke v velikih količinah, ki bi sicer bili dragi za proizvodnjo. Vhodna masa MIM je lahko sestavljena iz množice kovin, najpogostejše pa so nerjavna jekla, ki se pogosto uporabljajo v prašni metalurgiji. Po začetnem oblikovanju se vezivni material odstrani, kovinski delci pa se difuzijsko spajajo in zgostijo, da se dosežejo želene trdnostne lastnosti. Ta operacija običajno skrči izdelek za 20% v vsaki dimenziji. Celoten redosled operacij pri tehnologiji MIM je prikazan na sliki 1.

Slika 1: Izdelava izdelkov s tehnologijo Metal Injection Moulding.

3 MBJ

Tehnika Binder Jetting izhaja iz metode brizganja kovin, razlika je le v tem kako pridemo do zelenega kosa. V primeru Binder Jetting tehnologije se zeleni deli ustvarijo s pomočjo 3D tiskanja, na primer z uporabo Shop System tiskalnika podjetja Desktop Metal.

Proces Binder Jetting se začne z razporeditvijo tankih slojev kovinskega prahu na tiskalno platformo, kar je razvidno iz sheme na sliki 1. Na te sloje se nato nanese vezivo v tekoči obliki, ki se razprši ali kaplja na prah. Tiskalna glava, ki deluje podobno kot tista v običajnem brizgalnem tiskalniku, namesto črnila nanese vezivo. Ko se vezivo strdi, poveže delce prahu med seboj. Ta postopek se ponavlja z dodajanjem novih slojev prahu in veziva, dokler ni izdelek popolnoma oblikovan. Po tiskanju se izdelki skupaj z nepovezanim prahom preselijo v sušilnik, kjer se vezivo aktivira in prah posuši. Nato se vse skupaj premakne v enoto za odstranjevanje prahu, kjer se previdno odstranijo natisnjeni deli, ki so še vedno krhki. Preostali prah se preseje in mu doda 10% novega prahu za ponovno uporabo.



Slika 2: Dodajanje veziva na plasti kovinskega prahu.

Zeleni deli se nato položijo na grafitne pladnje s keramičnimi ploščami in se jih vstavi v peč, kjer se začne proces odstranjevanja veziva in sintranja. Med sintranjem se izdelek skrči za približno 20%.

Binder Jetting je priljubljen za izdelavo kovinskih delov, saj omogoča hitro proizvodnjo kompleksnih oblik z veliko geometrijsko svobodo, kar je težko doseči z običajnimi proizvodnimi metodami. Uporaben je tudi za izdelavo prototipov, majhnih serij izdelkov in orodij. Nekaj primerov izdelkov je vidnih na sliki 3.

Glavne prednosti tehnologije Binder Jetting so hitra izdelava, zmožnost ustvarjanja zapletenih oblik, nizki proizvodni stroški, možnost tiskanja z različnimi materiali in serij. Tehnologija je v svetu 3D tiskanja uveljavljena, z mnogimi aplikacijami v industriji, medicini, avtomobilizmu, letalstvu in drugod. Raziskave in razvoj tehnologije napredujejo, kar pomeni, da je na voljo vedno več materialov.

Slika 3: Primeri izdelkov izdelani s tehnologijo Metal Binder Jetting na stroju Shop System proizvajalca Desktop Metal. [3]

4 SKLEP

Metal binder jetting ima velike prednosti pred MIM tehnologijo, kadar ne gre za zelo velike serije. Kadar pa gre za večje serije pa se strošek orodja lahko amortizira med ponavljajočo se proizvodnjo iste komponente in se izkaže za bolj produktivno tehnologijo.

Viri:

[1] Nexa 3D - https://nexa3d.com/blog/metal-injection-molding/, 22.3.2024
[2] Thomas - https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/all-about-binder-jetting-3d-printing/, 13.4.2024
[3] Product development INC - https://www.pdi3d.com/Desktop_Metal_Studio_p/desktop-metal-studio.htm, 13.4.2024

IZBOLJŠAVA INTEGRITETE POVRŠIN S TEHNOLOGIJO PLAZEMSKEGA ELEKTROLITSKEGA POLIRANJA NA INDUSTRIJSKIH ŠTUDIJAH PRIMEROV

Joško VALENTINČIČ, Marko JERMAN, Jithinraj Edaklavan KOROTH, Andrej LEBAR, Pavel DREŠAR, Izidor SABOTIN
Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

IZVLEČEK

Plazemsko elektrolitsko poliranje (PeP) je tehnologija primerna za izboljšanje integritete površin kovinskih izdelkov. PeP, oblika anodnega raztapljanja, polira površine po principu kemičnih in plazemskih reakcij. Nastala sinergija ustvari površino z visokim sijajem. Standardna postavitev PeP vključuje anodno polariziran obdelovanec v vodnem elektrolitu s preprosto katodo v obliki diska, nameščeno v kadi. Tehnologija PeP uporablja elektrolit na vodni osnovi z nizko koncentracijo nevtralnih soli, ki je okolju prijazen in poceni.

PeP se uporablja v industrijskih sektorjih, kjer je doseganje visoke integritete površine ključnega pomena, kot je na primer orodjarstvo in industrija medicinskih vsadkov. PeP je obetavna tehnologija naknadne obdelave za aditivno izdelane kovinske izdelke. Glavne prednosti PeP so: hkratno poliranje celotne površine kompleksno oblikovanih izdelkov, kratki časi poliranja, dosegljiv visok sijaj površine, povečana odpornost na dinamično utrujanje in korozijo, površinska sterilizacija in ekološka prijaznost.

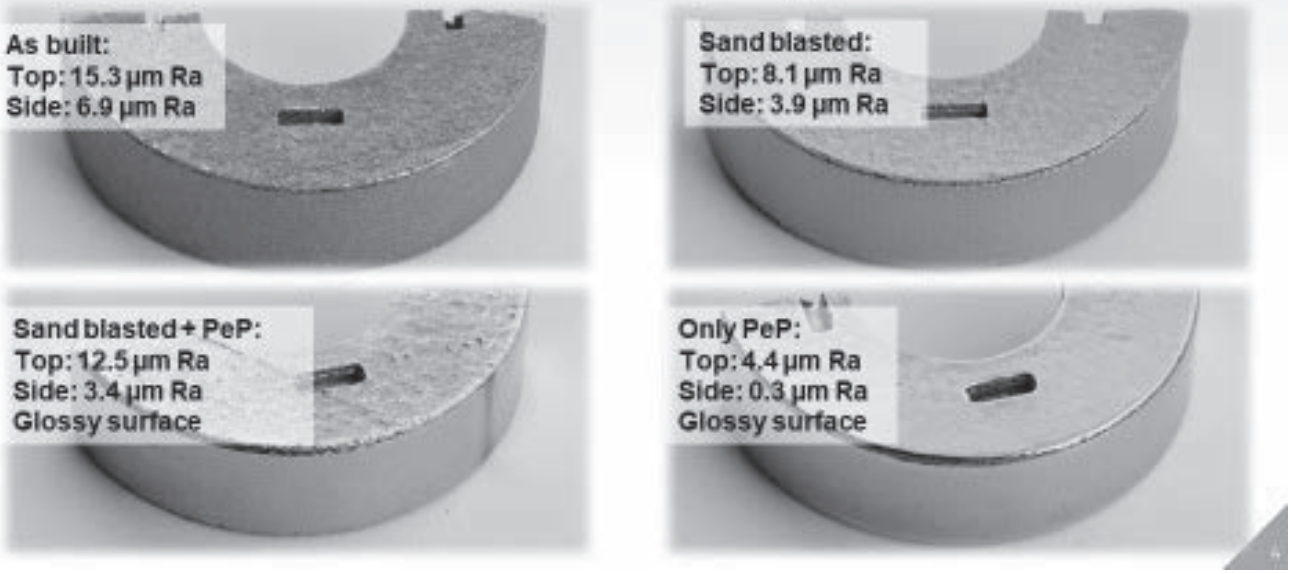
V prispevku predstavljamo nekaj industrijskih študij primerov uporabe PeP. Vzorci so bili polirani na novo pridobljenem stroju PeP na Fakulteti za strojništvo, Univerze v Ljubljani. Predstavljeno delo je bilo izvedeno v okviru projekta financiranega iz sheme Horizon Europe z naslovom Strengthening the Excellence of Additive Manufacturing Capabilities (SEAMAC), ki ga koordinira izr. prof. dr. Joško Valentinčič (Laboratorij za alternativne tehnologije).

Joško VALENTINČIČ, Marko JERMAN, Jithinraj Edaklavan KOROTH, Andrej LEBAR, Pavel DREŠAR, Izidor SABOTIN
Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

Joško VALENTINČIČ, Marko JERMAN, Jithinraj Edaklavan KOROTH, Andrej LEBAR, Pavel DREŠAR, Izidor SABOTIN
Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

SEAMAC

1st demo – Polishing results



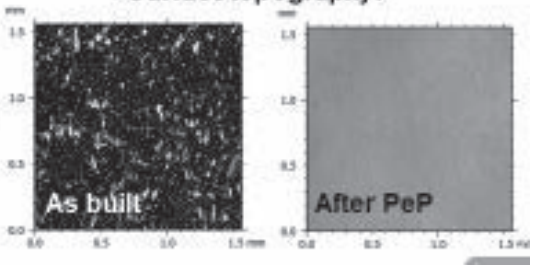
SEAMAC

2nd demo – Stainless steel

- Material: Stainless steel AISI 316L
- Manufactured: SLM 3D printing
- Initial roughness: Sa: 19.8 µm
- Post processing:
  - 1st specimen: Sandblasting (20 min)
  - 2nd specimen: Sandblasting (30 min)
  - 3rd specimen: Sandblasting (10 min) + PeP
  - 4th specimen: PeP only

As built part:

Surface topography:



Joško VALENTINČIČ, Marko JERMAN, Jithinraj Edaklavan KOROTH, Andrej LEBAR, Pavel DREŠAR, Izidor SABOTIN
Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

SEAMAC

2nd demo – Stainless steel

As built	Sandblasted for 20 min	Sandblasted for 30 min	Sandblasted for 10 min + PeP	PeP only
Sa = 19.8 µm	Sa = 6.4 µm	Sa = 5.7 µm	Sa = 5.8 µm	Sa = 2.6 µm
Matte surface	Matte surface	Matte surface	Glossy surface	Glossy surface

SEAMAC

3rd demo – Tool steel

- Material: Tool steel 1.2343
- Application: Mould for injection moulding
- Manufactured: conventional machining, EDM
- Initial roughness:
  - Ra: 0.22 µm
  - Rz: 1.48 µm
- Post processing:
  - 10 min. polishing with PeP

TEHNOLOGIJA REZANJA Z LEDNIM ABRAZIVNIM VODNIM CURKOM: KORAK V SMERI TRAJNOSTNE PROIZVODNJE V SLOVENIJI

Marko JERMAN[1], Andrej LEBAR[1,2], Izidor SABOTIN[1], Pavel DREŠAR[1], Joško VALENTINČIČ[1]

[1]Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

[2]Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

IZVLEČEK

Pri tehnologiji rezanja z abrazivnim vodnim curkom (AVC), se za rezanje uporablja mineralni abraziv, ki ga do obdelovanca pospeši vodni curek hitrosti nad 600 m/s odvisno od delovnega tlaka. Ena glavnih prednosti AVC pred sorodnimi postopki je v tem, da ne povzroča toplotno prizadete cone. V Sloveniji je tehnologija rezanja z AVC prisotna že od leta 1990, kar je komaj 10 let po prvi industrijski uporabi. Kljub očitnim prednostim, uporaba postopka v industrijah kjer je vnašanje vključkov v obdelovanec, kot sta npr. prehrambna in industrija tesnil, ni sprejemljiva. Pri rezanju z lednim abrazivnim vodnim curkom (LAVC), mineralni abraziv zamenjamo z ledenimi zrni vode pri zelo nizkih temperaturah (pod -100°C), saj ima led le pri teh temperaturah ustrezne mehanske lastnosti, potrebne za učinkovito odnašanje materiala. Prednost uporabe ledu je v čistosti obdelovalnega procesa ob ohranjanju visoke rezalne učinkovitosti. Z dosedanjimi raziskavami smo potrdili preživetje ledenih zrn v ekstremnih pogojih, ki vladajo v rezalni glavi, ter s pomočjo numerične analize analizirali temperaturna stanja v njej. Eksperimentalno smo preverili tudi možno erozijsko učinkovitost ledenih zrn na obdelovancih iz aluminija in stekla, ki kažejo na erozivnost, ki je primerljiva v nekaterih primerih pa celo višja od mineralnih zrn. Na osnovi dosedanjih rezultatov in publikacij smo vzbudili zanimanje industrije tako v EU, kot v Aziji, ki že izkazujejo potrebo po tej tehnologiji, kar odpira nove možnosti slovenski strojegradnji

1 UVOD

Tehnologija obdelave z vodnim curkom (VC) in abrazivnim vodnim curkom (AVC) je trenutno v uporabi v številnih industrijskih procesih za rezanje, graviranje ter struženje kovinskih in nekovinskih materialov debeline do nekaj sto milimetrov. V zadnjem času se postopek uveljavlja predvsem v živilski, letalski in navtični industriji, kjer se pogosto srečujemo z biološkimi in sodobnimi materiali, kot so razne zlitine in kompozitni materiali, ki jih je težko obdelovati s preostalimi obdelovalnimi postopki. Po drugi strani se tehnologija uporablja tudi za čiščenje in površinsko obdelavo materiala.

Uporaba VC se je začela v Evropi v poznih 50. letih na področju rudarstva. Zasluge za izum pripisujemo ruskemu znanstveniku G. P. Čermenskiju [1]. Raziskave so se v 70. letih prestavile v ZDA. Tehnologijo obdelave z VC je za industrijske aplikacije prvi uporabil O. Imanaka z Univerze v Tokiu v zgodnjih 60. letih prejšnjega stoletja [2]. Prvo industrijsko aplikacijo je tehnologija doživela leta 1972 v podjetju Manufacturing Company McCartney. Leta 1979 je dr. Mohamed Hashish, zaposlen v podjetju Flow Research, začel raziskavo novih načinov za povečanje rezalne moči vode z namenom rezanja kovin in drugih materialov večje trdote. Dr. Hashish, poznan kot oče tehnologije obdelave z AVC, je vodnemu curku dodal mineralni abraziv [3]. Leta 1980 so se pojavili prvi stroji za obdelavo z AVC za rezanje jekla, stekla in betona. Tehnologija se je nato začela uveljavljati v številnih aplikacijah v industriji, saj AVC predstavlja orodje za rezanje, s katerim lahko obdelujemo skoraj vse vrste materialov (jeklo, titan, beton ipd.), predvsem pa se je tehnologija izkazala pri obdelavi aluminija in težko obdelovalnih zlitin.

Mineralni abraziv kot potrošni material predstavlja glavni strošek procesa in več kot 99 % odpadnih snovi, ki nastanejo med rezanjem ali odstranjevanjem materiala. Ostanke abraziva na obdelovancu je treba po obdelavi odstraniti, pri čemer posamezna zrna abraziva pogosto ostanejo zagozdena v obdelani površini, kar v posebnih primerih (npr. v živilski industriji, medicini, pri obdelavi turbinskih lopatic) ni zaželeno. Zaradi tega obstaja potreba po uporabi VC brez abraziva

Marko JERMAN[1], Andrej LEBAR[1,2], Izidor SABOTIN[1], Pavel DREŠAR[1], Joško VALENTINČIČ[1]
[1]Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
[2]Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

ali s takšnimi abrazivnimi sredstvi, ki ne bi pustila odpadkov po obdelavi.

Na voljo imamo več tehnik, s katerimi se spoprijemamo z opisanim problemom. Uporabljamo lahko čisti VC brez dodanega abraziva, ki pa ne zmore rezati trših materialov, oz. dodajamo abrazivna sredstva, ki se po obdelavi stopijo (npr. sol, sladkor), a imajo slabše obdelovalne lastnosti. Ena izmed obetavnejših novih tehnologij je zamenjava mineralnih abrazivov z ledenimi zrni.

V tem prispevku predstavljamo prototipno napravo za rezanje z lednim abrazivnim vodnim curkom, kjer ledena zrna v visokohitrostnem vodnem curku sodelujejo pri odnašanju materiala in omogočajo med drugim tudi konturno rezanje kompozitnih materialov, jekla in barvnih kovin. Napravo smo razvili do stopnje tehnološkega razvoja 4 (TRL 4) v Laboratoriju za alternativne tehnologije na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani.

2 TEORETIČNO OZADJE

Uporabo ledenih zrn, kot nadomestek za mineralni abraziv je raziskovalo več raziskovalnih skupin [4,5,6,7,8], ki so prišle do zaključka, da je zamenjava izvedljiva. Razvoj tehnologije sega v leto 1982, ko je Galecki s sodelavci [9] uporabo lednega abrazivnega vodnega curka (LAVC) predlagal za čiščenje površin. Do danes je tehnologijo raziskovalo že več raziskovalnih skupin. V literaturi tako zasledimo več pristopov k razvoju LAVC, ki jih glede na način priprave ledenih zrn lahko razdelimo na dva osnovna principa; (1) na ustvarjanje ledenih zrn med procesom s transformacijo oz. delno zamrznitvijo VC v LAVC, in (2) na vnos v naprej pripravljenih podhlajenih ledenih zrn v rezalno glavo. Delitev metod glede na način ustvarjanja in vnosa ledenih zrn predstavlja Slika 1.

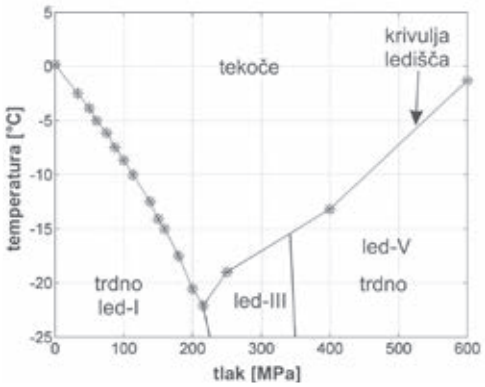
Eden od načinov je zamrzovanje vodnih kapljic v prhi iz utekočinjenega dušika. Zaradi intenzivne izmenjave toplote ob vrenju utekočinjenega dušika ob stiku z vodno kapljico, le-ta skoraj v trenutku zamrzne in pade v zbiralnik ledenih zrn (Slika 4).

Tako nastala ledena zrna dovajamo v visokohitrostni vodni curek kot prikazuje Slika 9 (desna stran). S stališča trdote ledenih zrn je dobro, da je vodni curek čim hladnejši. Zato je dobro hladiti vodo na tlačni strani (leva stran na Slika 9).

Pri ustvarjanju ledenih zrn izven rezalne glave je pri njihovem transportu in skladiščenju treba poskrbeti, da ne pride do sintranja in lepljenja na površino. Moč oprijema zrn je odvisna od temperature ledu in se manjša z nižanjem temperature [10]. Pri temperaturi nižji od -30 °C postanejo adhezijske sile zanemarljivo majhne.

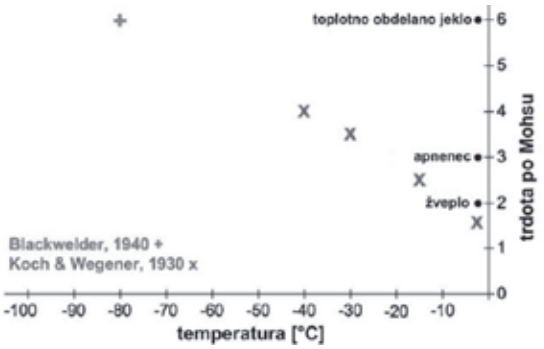
Slika 1: Različne metode ustvarjanja lednega abrazivnega vodnega curka.

Žal se izkaže, da nobena od metod sprotnega (med procesom) ustvarjanja lednega abrazivnega vodnega curka v praksi ne deluje. S podhlajevanjem vode pod visokim tlakom res lahko ohladimo tekočo vodo tudi pod -20 °C (Slika 2), vendar ledena zrna, ki nastanejo pri prehodu skozi vodno šobo zaradi nenadnega padca tlaka niso dovolj hladna, da bi s takim curkom lahko učinkovito rezali. Trdota ledenih zrn je namreč zelo odvisna od njihove temperature (Slika 3) in doseže trdoto mehkejših materialov, ki se uporabljajo za rezanje z AVC, pri temperaturi okoli –80 °C.

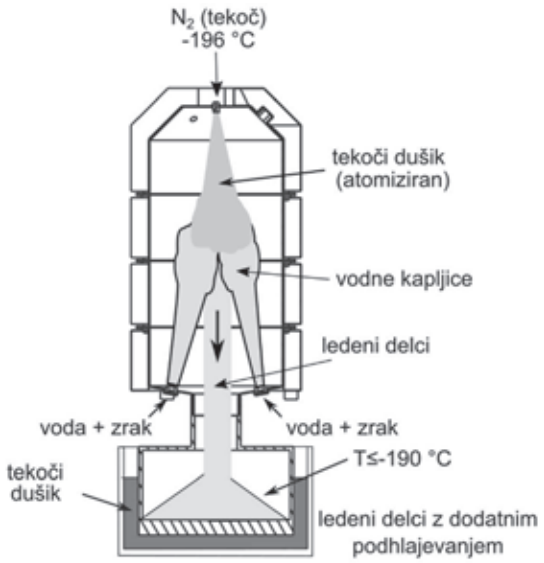


Slika 2: Fazni diagram vode v območju interesa, izdelan glede na podatke iz literature [11,12]

Marko JERMAN[1], Andrej LEBAR[1,2], Izidor SABOTIN[1], Pavel DREŠAR[1], Joško VALENTINČIČ[1]
[1]Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
[2]Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta



Slika 3: Trdota ledu v odvisnosti od temperature po Mohsovi lestvici trdote [10]



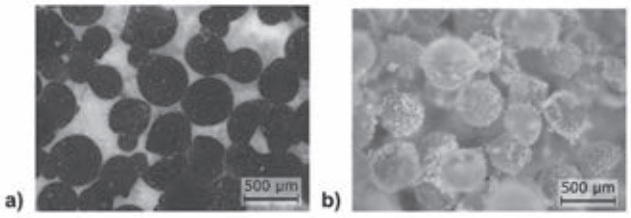
Slika 4: Shema delovanja enote za izdelavo ledenega abraziva

Kondenzirana vlaga iz zraka lahko povzroči, da se ledena zrna med sabo sprimejo ali pa se prilepijo na stene posode oziroma cevi. V obeh primerih je posledica mašenje cevi in neustrezna velikost ledenih zrn, ki jih želimo uporabiti kot abraziv. Pri rokovanju z ledenim abrazivom moramo torej paziti, da je le-ta vedno pri temperaturi nižji od -30 °C ter ga hraniti in prenašati v dušikovi atmosferi, da preprečimo nastajanje kondenzata.

Gostota ledu je prav tako odvisna od temperature in z njenim nižanjem narašča [12]. Sprememba gostote neposredno vpliva na spreminjanje velikosti zrn pri njihovem segrevanju oz. ohlajanju, vendar je ta sprememba zanemarljivo majhna pri velikosti zrn okoli 500 µm.

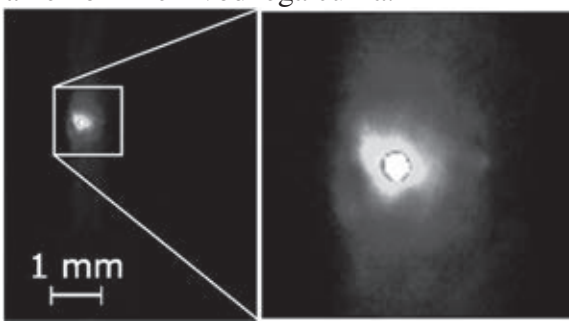
Toplotna prevodnost ledu s padanjem temperature narašča [12]. Pri nižji temperaturi se ledena zrna torej nekoliko počasneje segrevajo, kar je za proces ugodno.

Lomna žilavost materialov se z nižanjem temperature običajno znižuje, zaradi česar pri obremenitvi materiala pri nizkih temperaturah običajno hitreje pride do porušitve. Ledu se s spreminjanjem temperature lomna žilavost ne spreminja bistveno [13,14]. V rezalni glavi VC udari ob abraziv in ga pospešuje do obdelovanca. Ob tem udarcu pogosto pride do drobljenja zrn abraziva, saj ima curek veliko hitrost. Relativno konstantna lomna žilavost ledu pomeni, da lahko ledena zrna ohladimo na temperaturo tekočega dušika brez bojazni, da bi zrna v rezalni glavi zaradi tega hitreje razpadala. To smo potrdili tudi eksperimentalno s pomočjo opazovanja ledenih zrn v visoko-hitrostnem vodnem curku z uporabo PLIF metode [15]. Ledena zrna smo v ta namen obarvali fluorescentnimi barvili Rhodamine B in Eosin Y, vzorec katerih prikazuje Slika 5.



Slika 5: Ledena zrna obarvana z barvilom za opazovanje s PLIF metodo: (a) rodamin B in (b) Eosin Y.

Na podlagi analize slik, primer katere prikazuje Slika 6 smo določili, da so zrna ostala sferičnih oblik in se tako niso zdrobila ali stalila ob prenosu gibalne količine z vodnega curka.



Slika 6: PLIF slika ledenega zrna v visoko-hitrostnem vodnem curku, ustvarjenim pri 200 MPa.

Marko JERMAN[1], Andrej LEBAR[1,2], Izidor SABOTIN[1], Pavel DREŠAR[1], Joško VALENTINČIČ[1]
[1]Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
[2]Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

Z uporabo numeričnih simulacij v programu Ansys Fluent smo izvedli analizo temperaturnih stanj v rezalni glavi in na podlagi rezultatov med drugim določili optimalne velikosti ledenih zrn, ki bodo ob prehodu skozi rezalno glavo zaradi prenosa toplote še imela ustrezno nizko temperaturo in bodo tako primerna za postopke rezanja [16]. Pri določitvi pričakovane temperature ledenih zrn na izstopu iz rezalne glave smo predpostavili čas potovanja zrna skozi rezalno glavo in s tem čas interakcije z vodnim curkom 10 ms. Ko voda za ustvarjanje vodnega curka ni ohlajena, je pričakovana trdota ledenih zrn s premerom 0.3 mm 1.6 Mohs. Ko uporabimo vodo pri 0 °C, je pričakovana trdota 3.3 Mohs, pri -18 °C pa 4.1 Mohs. Zrna premera 0.5 mm pri -18 °C pa dosežejo trdoto 5.5 Mohs. Ostali podatki so predstavljeni v Tabeli 1.

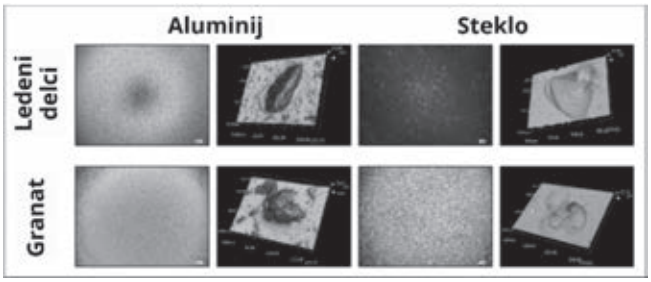
Tabela 1 Vpliv temperature vodnega curka na temperaturo in trdoto ledenih zrn na izstopu iz rezalne glave, pri predpostavljenem času interakcije z vodnim curkom 10 ms. [16]

Premer ledenih zrn d[mm] / T_{vode}	T_{led} [°C]	H [Mohs]	T_{led} [°C]	H [Mohs]	T_{led} [°C]	H [Mohs]	T_{led} [°C]	H [Mohs]
	27 °C		0 °C		-10		-18 °C	
0.3	-3	1.6	-26	3.3	-35	3.7	-42	4.1
0.4	-21	3.0	-43	4.2	-50	4.5	-57	4.9
0.5	-38	3.9	-58	4.9	-65	5.2	-71	5.5
0.6	-53	4.7	-71	5.5	-77	5.8	-82	6.0
0.7	-66	5.2	-82	6.0	-87	6.3	-92	6.5

Ker ledena zrna v realnem primeru preživijo del časa v curku in del časa v transportnem plinu okoli curka, kjer je prenos toplote bistveno nižji. V tem primeru smo določili, minimalno velikost zrn , ki bodo na izstopu imela dovolj nizko temperaturo in s tem ustrezne mehanske lastnosti za rezanje na 0.3 mm.

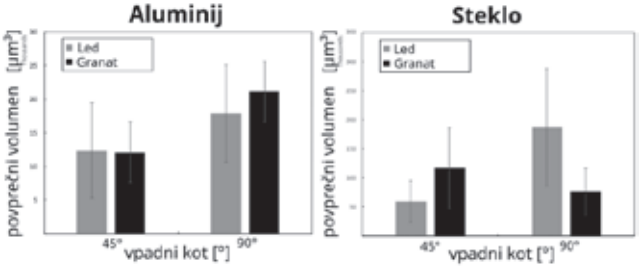
Ohlajanje vode ima tako pomemben vpliv na trdoto ledenih zrn. Pri rezanju krhkih materialov kot je steklo priporočamo uporabo večjih zrn, ki imajo večjo kinetično energijo, zarezni učinek pa zaradi drugačnega mehanizma odvzema materiala ni pomemben. Večja zrna je mogoče uporabiti tudi za druge aplikacije, kot je peskanje z ledom.

Razvili smo tudi napravo za peskanje z ledenimi zrni vode, katere namen je v prvi vrsti enostavno testiranje erozivne sposobnosti ledenih zrn, ki jih uporabljamo za rezanje. Prednost uporabe metode peskanja pa je v relativni enostavnosti procesa peskanja v primerjavi z LAVC. Z metodo peskanja smo primerjali erozivno sposobnost ledenih zrn velikosti do 710 um ohlajenih na -196 °C in mineralnega abraziva granat granulacije #80. Peskali smo vzorce iz aluminija in stekla, ki predstavljata skupini žilavih in krhkih materialov z bistveno drugačnimi mehanizmi odvzema materiala. Peskanje smo izvedli pri vpadnih kotih 45° in 90°. Uporabili smo prototip sistema za peskanje z ledenimi zrni s pištolo za peskanje premera 5mm, oddaljeno 40 mm od obdelovanca. Peskali smo pri tlaku plina 8 bar. Po peskanju smo vzorce vizualno analizirali z uporabo digitalnega mikroskopa Keyence VHX-6000. Iz vsakega seta eksperimentov smo poiskali 20 največjih kraterjev na obdelovancu in izmerili njihov volumen. Rezultati peskanja na obdelovancih so prikazni na Sliki 7.



Slika 7: Kraterji nastali pri peskanju obdelovancev iz aluminija in stekla z uporabo ledenih zrn in granata.[15]

Primerjava velikosti kraterjev na Sliki 8 kaže, da imajo ledena zrna primerljivo, v nekaterih primerih pa celo boljšo erozivno sposobnost kot granat.



Slika 8: Povprečna velikost 20-največjih kraterjev, ki jih povzročijo ledena zrna in mineralni abraziv granat pri peskanju aluminija in stekla.

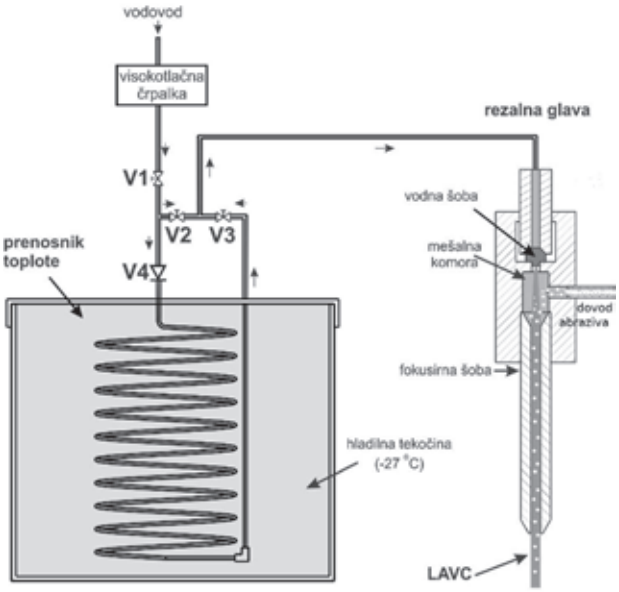
Hitrost odnašanja materiala je sicer večja pri uporabi granata, rezultati pa nakazujejo, da z

Marko JERMAN[1], Andrej LEBAR[1,2], Izidor SABOTIN[1], Pavel DREŠAR[1], Joško VALENTINČIČ[1]
[1]Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
[2]Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

optimizacijo velikosti in oblike ledenih zrn lahko dosežemo odvzem materiala primeren za rezanje in primerljiv s konvencionalnimi mineralnimi abrazivi.

3 OPIS PROTOTIPNE NAPRAVE

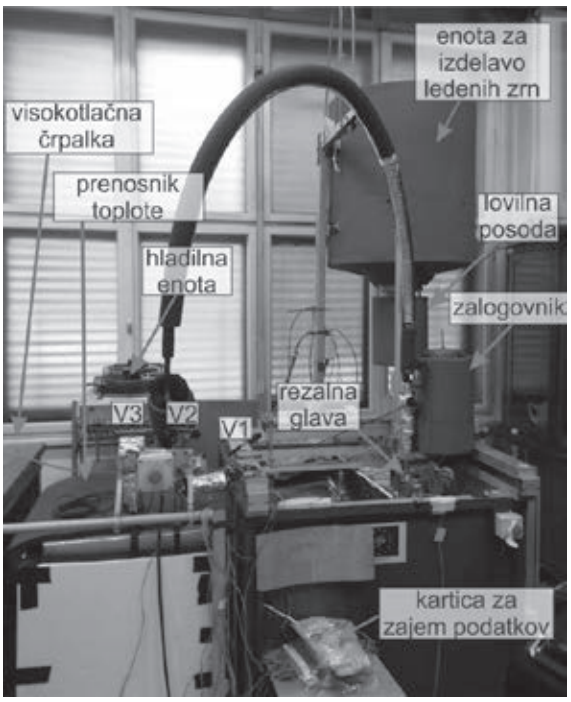
Prototip stroja za rezanje z LAVC, ki je predstavljen na Slika 10, je sestavljen iz visokotlačne črpalke (P-2040, Omax, ZDA), ki lahko doseže tlake do 280 MPa, pri največjem pretoku vode 3,2 l/min. Za hlajenje vode pod tlakom uporabljamo prenosnik toplote, sestavljen iz bazena za hladilno tekočino, ki je v našem primeru mešanica glikola in vode v razmerju 1:1, ter z volumnom 200 l.



Slika 9: Hlajenje vode na tlačni strani in dovajanje ledenih zrn v visokohitrostni vodni curek.

V hladilni tekočini je potopljena spiralna visokotlačna cev skupne dolžine 20 m. Hladilno tekočino ohlajamo s hladilnim kompresorjem hladilne moči 7,3 kW, s katerim stabilno ohranjamo temperaturo vode pred vodno šobo pri -20 °C, pri pretoku vode 1,15 l/min, ki ga dosežemo pri tlaku 200 MPa in vodno šobo premera 0,2 mm. Za doseganje omenjene temperature moramo hladilno tekočino ohladiti na temperaturo okoli -27 °C. Prenosnik toplote hladilnega sistema prikazuje Slika 11. Za merjenje temperature uporabljamo sistem termoparov, ki je predstavljen v poglavju meritev temperatur.

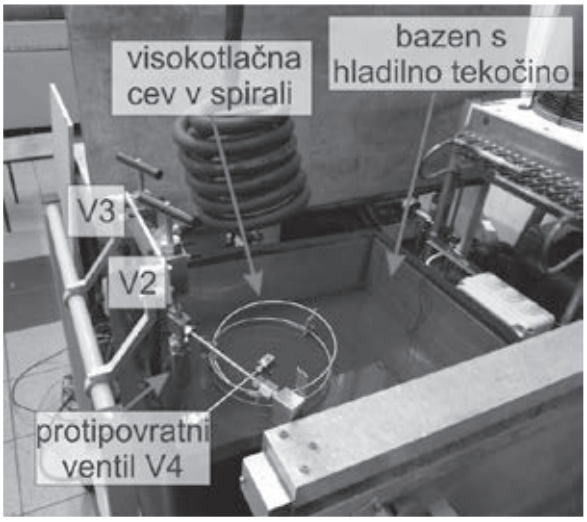
Uporabljamo rezalno glavo proizvajalca Allfi AG Wasserstrahl-Schneidtechnik (Švica) z dvema dovodoma za abraziv. Eno odprtino smo uporabili za dovod abraziva, drugo pa za namestitev senzorja tlaka v mešalni komori, preko spremembe katerega lahko zaznamo zamašitev dovodne cevi za abraziv.



Slika 10: Prototip stroja za obdelavo z LAVC, po metodi ustvarjanja ledenega abraziva izven rezalne glave

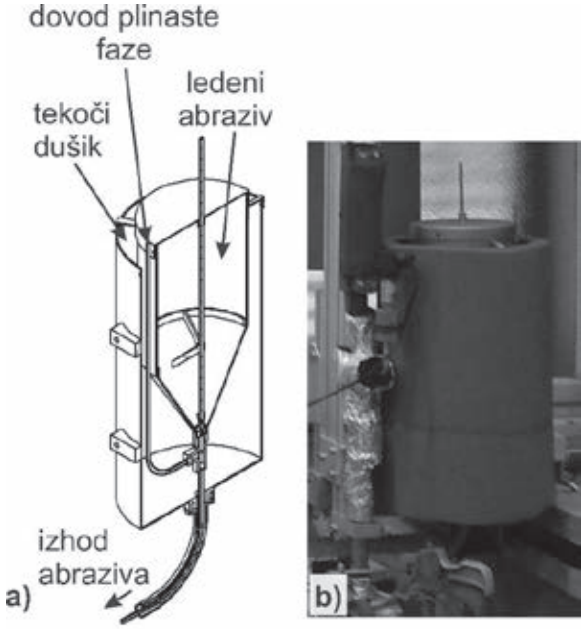
Ledeni abraziv je potrebno hraniti na hladnem, da ne pride do segrevanja in posledično sintranja in taljenja zrn. V ta namen smo izdelali gravitacijski zalogovnik z dvojno steno, ki je prikazan na Sliki 12. V zunanjem prostoru hranimo tekoči dušik za hlajenje notranjega dela, kjer se nahajajo ledena zrna. Pri dovajanju abraziva je pomembno, da poleg abraziva dovajamo tudi plinasto fazo transportnega plina, saj bi se drugače šoba v rezalni glavi lahko zamašila.

Marko JERMAN[1], Andrej LEBAR[1,2], Izidor SABOTIN[1], Pavel DREŠAR[1], Joško VALENTINČIČ[1]
[1]Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
[2]Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta



Slika 11: Prenosnik toplote hladilnega sistema prototipa stroja za obdelavo z LAVC

Ledena zrna proizvajamo kot smo opisali v prejšnjem poglavju.



Slika 12: Zalogovnik za ledeni abraziv z dvojno steno; a) shematski prikaz in b) izvedba zalogovnika, ki je izoliran s peno iz armafleksa

4 SKLEP – IZZIV IN PRILOŽNOST ZA SLOVENSKO STROJEGRADNJO

Nekaj podjetij po svetu, ki delujejo na področju prehrambne industrije in obdelave težko obdelovalnih materialov je izkazalo interes za to tehnologijo. Za dve od teh smo po pogodbi izvedli obširno testiranje tehnologije. Njihova ugotovitev je bila, da je potrebno še nekaj razvoja, da bi dokončno ugotovili, če je tehnologija za njih uporabna. Na podlagi rezultatov vidijo potencial, vendar glede na svojo strategijo ne sodelujejo kot razvojni partner.

ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujejo Agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) za finančno podporo v okviru Raziskovalnega programa Inovativni izdelovalni sistemi in procesi (P2-0248) in Inovacijskemu skladu Univerze v Ljubljani.

Viri

[1] Cooley, W.C. In: *5th Pacific Rim International Conference on Water Jet Technology*. New Delhi, India, 1998, pp. 3–5.
[2] Momber, A.W. *et al.* London: Springer London, 1998.
[3] Zeng, J. *et al.* In: *7th American Water Jet Conference*. Seattle, 1993, pp. 175–189.
[4] Shanmugam, D.K. 2005.
[5] Jerman, M. *et al.* 2010.
[6] Karpuschewski, B. *et al. CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2013, 62 (1), pp. 319–322.
[7] Bach, F. *et al.* In: *BHR Group - 20th International Conference on Water Jetting*. Graz, Austria: BHR Group Limited, Bedfordshire, UK, 2010, pp. 275–283.
[8] Li, F. *et al.* In: *8th American Waterjet Conference*. Houston, Texas: WaterJet Technology Association, 1995, pp. 671–680.
[9] Galecki, G. *et al.* In: *6th International Symposium on Jet Cutting Technology*. Guildford, UK: BHRA Fluid Engineering, 1982, pp. 59–79.
[10] Hobbs, P.V. Clarendon Press, 1974.
[11] Wagner, W. *et al. Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 2002, 31 (2), p. 149.
[12] Lide, D.R. Baysinger, G. et al. (eds.) CRC Press, 2005.
[13] Nixon, W.A. *et al. Le Journal de Physique Colloques*, 1987, 48 (C1), p. 8.
[14] Litwin, K.L. *et al. Journal of Geophysical Research*, 2012, 117 (E8), p. E08013.
[15] Jerman, M. *et al. Journal of Materials Processing Technology*, 2021, 289.
[16] Jerman, M. *et al. International Journal of Mechanical Sciences*, 2022, p. 107154.

INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2024

Sodelujoči na Industrijskem forumu IRT

INDUSTRIJSKI FORUM IRT 2024

GLAVNI POKROVITELJ

ABB

FANUC

KONICA MINOLTA

RAZVOJNI PARTNER

ZDRUŽENJE MANAGER

DMS
DRUŠTVO ZA MARKETING SLOVENIJE

VSEBINSKI PARTNER

mediade

NACIONALNI PARTNERJI FORUMA

SPIRIT SLOVENIJA
Zelena. Ustvarjalna. Pametna.

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA GOSPODARSTVO, TURIZEM IN ŠPORT

NOO | NAČRT ZA OKREVANJE IN ODPORNOST

Financira Evropska unija
NextGenerationEU

POKROVITELJI

BTS COMPANY

TOPOMATIKA

YASKAWA

RAZSTAVLJAVCI

3DSOLUTIONS

3WAY

ABC BRIZGANJA

ABC MAZIVA

ADDProS

BECKHOFF New Automation Technology

BONUS INŽENIRING

cadcam LAB

Celjski sejem

ControlTech

CONTURA MOLD TEMPERATURE CONTROL

EBERT

FORVIA HELLA

iCm PASSION FOR PERFECTION

IRT 3000 INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE

KMS

KROKK

LAPP

LOTRIČ METROLOGY

MEREL

MESSER Gases for Life

METTLER TOLEDO

meusburger

MIEL OMRON www.miel.si

MiniTec AVTOMATIZACIJA

MODI PACK

OLMA z vami od 1947

PP TECH

primakem

PS LOGATEC

scan

SCHUNK

Seco

sij ravne systems

SolidWorld 3D advanced solutions SLOVENIJA

SRI9TOP

STÄUBLI

TECOS

TRECON

FS UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za strojništvo

Univerza v Mariboru Fakulteta za strojništvo

VISOKA ŠOLA ZA PROIZVODNO INŽENIRSTVO

WALTER

ORGANIZATOR DOGODKA

PROFIDTP, d.o.o.
Gradišče nad Pijavo Gorico 204
1291 Škofljica
www.profidtp.si

ORGANIZACIJSKI ODBOR

ŠVETAK Darko – vodja organizacijskega odbora, Profi dtp, d.o.o.
ROT Matjaž, Revija IRT3000
ŠENKINC Denis, PRO IKT, Denis Šenkinc, s.p.

PARTNERSKE ZBORNICE, ZDRUŽENJA IN GROZDI

ZDRUŽENJE MANAGER
IZS
Gospodarska zbornica Slovenije
OBRTNO-PODJETNIŠKA ZBORNICA SLOVENIJE
TECOS
SRIPACS+

PROGRAMSKI ODBOR

Dr. ČEKADA, Miha, *Institut Jožef Stefan*
DREV Vinko, *LTH Castings d.o.o.*
Dr. FLORJANIČ Blaž, *BSH Hišni aparati, d. o. o., in iMold, d. o. o.*
Dr. GANTAR Gašper, *Visoka šola za proizvodno inženirstvo, Visoka šola za varstvo okolja*
Dr. HOMAR David, *SolidWorld d.o.o.*
Dr. KARNER Timi, *UM, Fakulteta za strojništvo*
KLINC Marko, *Gorenje MDM Kragujevac Srbija*
Dr. KLOBČAR Damjan, *UL, Fakulteta za strojništvo.*
Dr. KOSEC Borut, *UL, Naravoslovnotehniška fakulteta*
Dr. KOSEC Gorazd, *Acroni, d. o. o.*
Dr. KOVAČ, Igor, *Institut Jožef Stefan*
KOVAČ Jernej, *UL, Fakulteta za strojništvo*
Dr. KRAMAR Davorin, *UL, Fakulteta za strojništvo*
LOTRIČ Marko, *OZS, predsedenik odbora za znanost in tehnologijo*
Dr. MAJDIČ Franc, *UL, Fakulteta za strojništvo*
MIRNIK Marko, *TURNA, d. o. o.*
Dr. MUHIČ Simon, *SIMUTEH s.p., Fakulteta za tehnologije in sisteme*
Dr. NARDIN Blaž, *Fakulteta za tehnologijo polimerov, Slovenj Gradec*
OBOLNAR Matija, *Hella Saturnus Slovenija d.o.o.*
Dr. PALČIČ Iztok, *UM, Fakulteta za strojništvo*
Dr. PEPELNJAK Tomaž, *UL, Fakulteta za strojništvo*
Dr. PERME Tomaž, *Vodja programskega odbora*
POJE Janez, *HTS – IC d.o.o. Ljubljana*
ROT Matjaž, *Strokovna revija IRT3000*
Dr. SAVŠEK Tomaž, *TIGUS d.o.o., Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto*
ŠENKINC Denis, *Strokovna revija IRT3000*
ŠKRLEC Janez, *Razvojno raziskovalna dejavnost Janez Škrlec s.p.*
ŠVETAK Darko, *Strokovna revija IRT3000*
ZIBELNIK Miha, *Steel d.o.o.*
Dr. ŽLAJPAH Leon, *Institut Jožef Stefan*
Dr. ŽNIDARŠIČ Matjaž, *CBS inštitut, celovite gradbene rešitve, d. o. o.*

MEDIJSKI PARTNERJI

IRT 3000 – INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE – WWW.IRT3000.COM
obrtnik podjetnik
strojnistvo.com križišče strojnikov
Računalniške novice – www.racunalniske-novice.com
Finance
VENTIL

PARTNER REGISTRACIJE

KLEMEN SOLUTIONS

INDUSTRIJSKI FORUM IRT 2024

PARTNERJI ZNANJA IN TEHNOLOŠKI PARKI

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo

FS Fakulteta za strojništvo

Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo

IJS

VISOKA ŠOLA ZA PROIZVODNO INŽENIRSTVO

FTPO Fakulteta za tehnologijo polimerov

Fakulteta za strojništvo Univerza v Novem mestu

PARTNERJI IZ INDUSTRIJE

ACRONI

SIBO group Clousers Plastics Tools

FORVIA HELLA

AKRAPOVIČ

HIDRIA

B/S/H/

TRIMO

IM IskraMehanizmi

ENGINEERING TOMORROW Danfoss

Tumna
Nadaljujemo tradicijo. Ustvarjamo prihodnost.

KOLEKTOR 55 let / years

DOMEL

UNIOR

INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2024

Komercialni oglasi podjetij

INDUSTRIJSKI FORUM IRT 2024

ABB

YEARS OF
ROBOTIC INNOVATION

new.abb.com/products/robotics

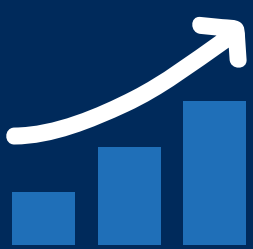
ZDRUŽENJE MANAGER
Dobri rezultati, na pravi način

Združenje Manager je že **35 let**
največje združenje managerjev v Sloveniji.

Poslanstvo: Z odgovornim voditeljstvom in strokovnim managementom do skupnega napredka.

- **35 % celotnih prihodkov** slovenskega gospodarstva
- **45 % čistega dobička** slovenskega gospodarstva
- **28 % višjo dodano vrednost** na zaposlenega, kot je povprečje podjetij v Sloveniji

ter predstavljajo **37 % kapitala** slovenskega gospodarstva



ZDRUŽENJE MANAGER 35 let

www.zdruzenje-manager.si

THE FACTORY AUTOMATION COMPANY

www.fanuc.si

FANUC

Skupaj zmoreva več, ker si najboljši učenec.

FANUC **CRX** Series

Enostaven za napajanje. Vsak model deluje na standardno napajanje 230 V.

Zaradi kompaktne velikosti je vsak CRX model **enostaven** za namestitev.

Hitra namestitev prijemala in menjava z napravami, ki jih je odobril FANUC.

KAR ENOSTAVNO MORATE VEDETI ZA USPEH NA TRGU

Preverite pakete za celoletno izobraževanje in druženje.

DMS
DRUŠTVO ZA MARKETING SLOVENIJE

Izobražujemo: Društvo za marketing Slovenije je osrednja stanovska organizacija, ki na leto pripravi več kot 60 izobraževanj s področja marketinga (B2B marketing, produktni management, internacionalizacija), ...

Povezujemo: Na izobraževanjih in drugih dogodkih Društva za marketing Slovenije se tkejo trajne vezi med udeleženci, ki si med seboj pomagajo na svojih poslovnih poteh.

Navdihujemo: Naša izobraževanja pogosto temeljijo na praktičnih primerih, prednostih in slabostih, ki so se zgodile, in lahko služijo kot navdih za rešitve, ki jih potrebujete v svojem poslovnem svetu.

Za več obiščite **dmslo.si**, kjer lahko preverite tudi koledar dogodkov ter uredite prijavo.

20 % popusta na članstvo za udeležence Industrijskega foruma.

KODA ZA POPUST: IRT20

Več na
www.dmslo.si/clanstvo

KONICA MINOLTA

FORXAI
Video Vision

FORXAI
Mirror
FORXAI
Cobot
FORXAI
Safe Workplace
FORXAI
Studio

Konica Minolta
AI STORITVE VIDEO ANALITIKE

AI VIDEO KONTROLA KVALITETE

ELEKTRONSKE KOMPONENTE
AVTOMOBILSKA INDUSTRIJA
PREHRAMBENA INDUSTRIJA
GRADBENI MATERIALI
SUROVI MATERIALI
PROIZVODNJA
LOGISTIKA
FARMACIJA
...
...

FORXAI Mirror
Kontrola zaščitne opreme

Konica Minolta Slovenija, d.o.o.
Dunajska cesta 167, 1000 Ljubljana
www.konicaminolta.si, info@konicaminolta.si

USTVARJAMO
POVEZAVE,
RAZVIJAMO
ZVEZDE.

Mednarodna tekma zahteva
prodoren marketing.

NAŠI PARTNERJI SO NA TRGIH ZVEZDE.

MARKETING. KOMUNIKACIJE. RAZVOJ.

Preverite, s kom sodelujemo na www. mediade.si.

mediade

CLOCCHI

CNC STROJ ZA BRUŠENJE

ENOSTAVNO UPRAVLJANJE • VELIKI PRIHRANKI PRI ORODJU

MAC 26
4-AXES CNC
TOOL GRINDING MACHINE

CNC BRUŠENJE HSS IN HM ORODJA:

- SVEDRI
- NAVOJNI SVEDRI
- REZKARJI
- GREZILA
- POVRTALA...

- 4-osno cnc brušenje: x-, y-, c- in a-os
- zmogljivost: ø2 - ø26 mm
- barvni zaslon na dotik: 15"
- programski paket: 3d grafični prikazovalnik
- majhen tloris stroja

BTS Company d.o.o.
info@bts-company.si
www.bts-company.com

LJUBLJANA
Bratislavska cesta 5
T. 040 522 443

MARIBOR
Cesta k Tamu 16
T. 02 4600 300

BTS COMPANY

SATECH

Modular **Machine Guards**

VRHUNSKI VARNOSTNI SISTEMI

Ograje, vrata, ključavnice in vse vrste varnostnih pripomočkov za strojegradnjo in industrijo.

avastar automation

Zastopnik in distributer za Slovenijo, Hrvaško in Srbijo.
www.avastar.si / info@avastar.si / +38641665886

- industrijska avtomatizacija
- robotika
- namenske montažne in kontrolne naprave

Skupaj z nami hitreje in udobneje potujte proti tovarnam prihodnosti.

avastar
automation

AVASTAR Automation d.o.o. / Ul. 15. maja 1a, 6000 Koper
www.avastar.si / info@avastar.si / +38641665886

Vodilni IKT medij

Računalniške novice

www.racunalniske-novice.com

KOPA

Iščete način za optimizacijo vašega poslovanja?

Uporabniki na enem mestu pridobite **celovito poslovno rešitev**, od sistemov **ERP**, **HRM**, **MES** in **EAM** do sistema za **obvladovanje dokumentov** in sistema za **komunikacijo s strankami.**

KoPro
Grafična planska tabla

KOPA ERP
Celovita podpora poslovnim procesom

HRM in PLAČE
Napredna rešitev za ravnanje s človeškimi viri in izračun plač

UTRIP - MES
Sistem za spremljanje in brezpapirno proizvodnjo

ODIP - DMS
Obvladovanje dokumentov in procesov

EAM - MAXIMO
Podpora vzdrževanju in upravljanju vseh vrst sredstev

SISTEMSKA INTEGRACIJA
Celovita rešitev za zanesljivo in učinkovito delovanje sistema

AI UMETNA INTELIGENCA
Prediktivno upravljanje in napovedovanje tržnih trendov

BI POSLOVNA ANALITIKA
Transformacija podatkov v informacije za odločanje

Ste pripravljeni na naslednji korak k učinkovitejšemu in bolj povezanemu poslovanju?

Kopa računalniški inženiring d.d. | Kidričeva ulica 14, 2380 Slovenj Gradec | 02 88 39 700 | www.kopa.si | info@kopa.si

ZNANJE ZA USTVARJANJE VREDNOSTI

S ponosom gledamo na raznolike izume naših prednikov, številne inovacije slovenskih strokovnjakov, ki so spremenile svet, visoko sposobnost industrijskega in tehničnega znanja zaposlenih, estetsko dovršenost in mojstrovino ustvarjanja končnih izdelkov ter globoko spoštovanje narave in uporabljenih materialov.

Na SPIRIT Slovenija s pomočjo finančnih spodbud in drugih podpornih storitev prispevamo h krepitvi inovacijske aktivnosti, ustvarjanju dodane vrednosti in mednarodne konkurenčnosti slovenskih podjetij. Ne spreglejte priložnosti. **Spremljajte nas!**

SPIRIT SLOVENIJA

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA GOSPODARSTVO, TURIZEM IN ŠPORT

NOO | NAČRT ZA OKREVANJE IN ODPORNOST

Financira Evropska unija
NextGenerationEU

SPIRIT Slovenija, javna agencija www.spiritslovenia.si.

ISO 9001 Q-1395
ISO 14001 E-638

Manimo

www.manimo.si

CERTIFIED IQNet MANAGEMENT SYSTEM

info@manimo.si

+386 5 39 39 002

Žnidarčičeva ulica 33, 5290 Šempeter pri Gorici - Slovenija

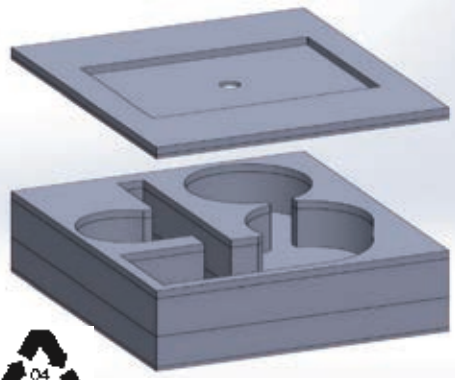
Materiali za zaščito proizvodov med izdelavo in v transportu

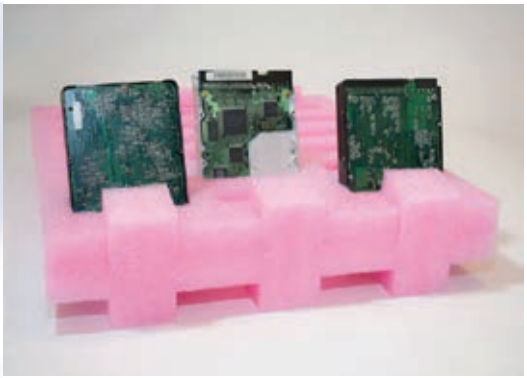
PROIZVODNJA

Rešitve in razvoj embalaže

Hitri dobavni rok

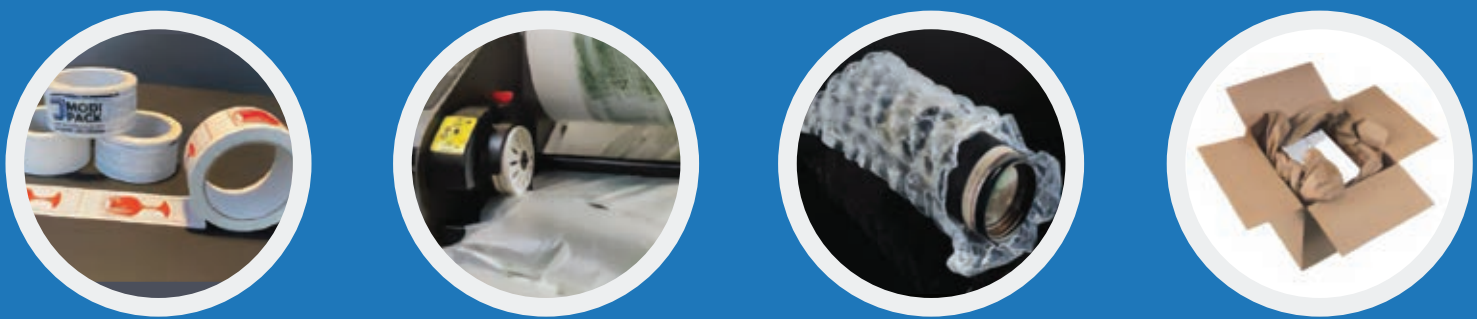
RAZVOJ IN PROIZVODNJA



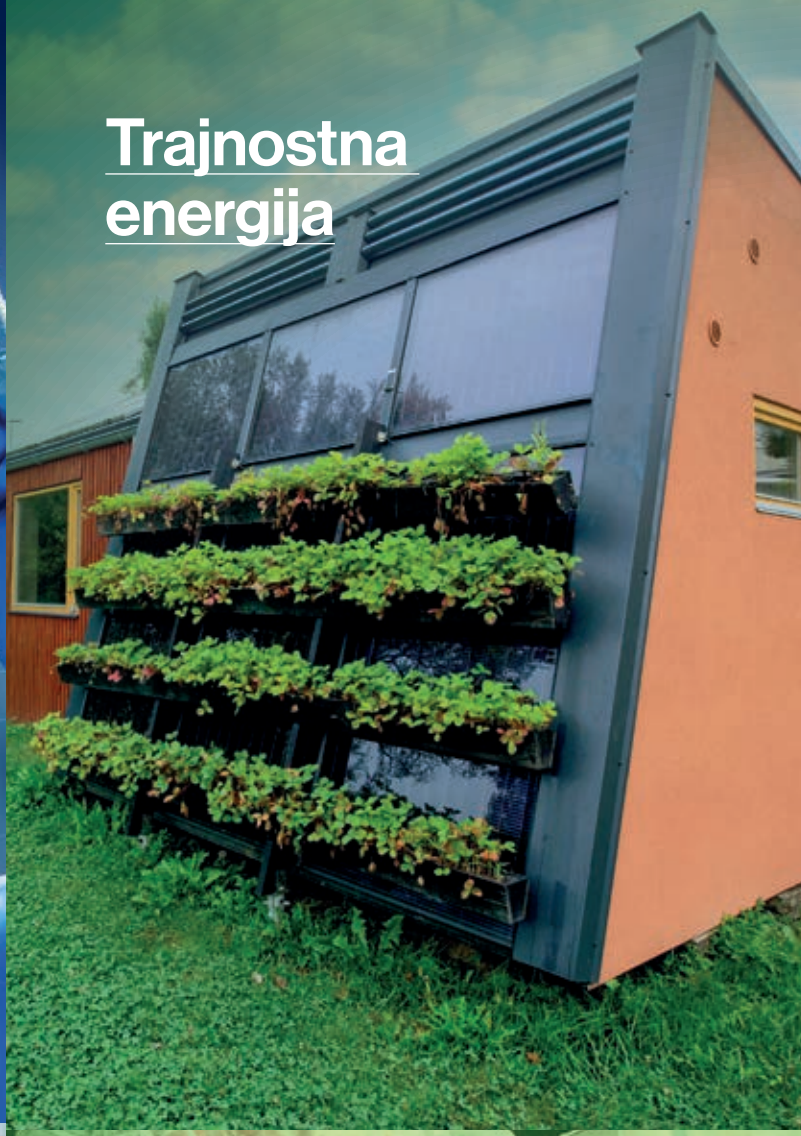


04 LDPE

100% RECIKLABILNO



Tovarne prihodnosti



Trajnostna energija

Zelena in varna mobilnost

Zdravje

Rešimo vaše izzive skupaj!

www.fs.uni-lj.si rr@fs.uni-lj.si

Sledite nam

UNIVERZA V LJUBLJANI | FS Fakulteta za strojništvo

OMEGA AIR
Vodilni proizvajalec izdelkov za neodvisno proizvodnjo plinov

Podjetje **OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana**, ustanovljeno leta 1988, je zasebno, tehnološko usmerjeno podjetje s sedežem v slovenski prestolnici. Skozi desetletja rasti in razvoja se je podjetje razširilo na skoraj 400 zaposlenih, ki s svojim znanjem in izkušnjami prispevajo k uspehu podjetja. Omega Air je danes globalno priznano ime, znano po svojih vrhunskih rešitvah za filtracijo in obdelavo plinov.

Širok spekter Izdelkov za raznolike Industrije
Omega Air ponuja širok izbor izdelkov, ki vključujejo sušilnike stisnjenih plinov, generatorje dušika in kisika, posode za stisnjeni zrak, kontejnerske in paketne enote. Ti izdelki so zasnovani za zanesljivo, učinkovito in enostavno uporabo, kar jih naredi idealne za različne industrijske panoge, kot so splošna industrija, elektronika, industrija hrane in pijač, kemijska in petrokemična industrija, plastika, farmacija, medicina in avtomobilska industrija... Velik preboj v svetovnem merilu so v zadnjih letih naredili na področju opreme za pripravo ogljikovega dioksida in vodika.

Visokokakovostni materiali in prilagodljivost
Uporaba visokokakovostnih materialov in komponent je temelj njihovega delovanja, kar zagotavlja zanesljivost in dolgo življenjsko dobo njihovih izdelkov. Poleg tega nudijo različne možnosti prilagajanja izdelkov, kar omogoča strankam, da najdejo popolne rešitve za svoje specifične aplikacije. Njihova prilagodljivost in zmožnost hitrega odzivanja na potrebe strank sta ključna razloga za njihov uspeh na globalnem trgu.

Celovit nabor storitev
Poleg osnovnih izdelkov Omega Air ponuja tudi celovit nabor dodatnih izdelkov in storitev, vključno s kompresorji, filtri, opremo za ločevanje olja/vode, odvajalce kondenzata, merilno opremo in drugo opremo. Njihove rešitve so zasnovane tako, da izboljšujejo učinkovitost in zanesljivost sistemov njihovih strank po celem svetu, hkrati pa zmanjšujejo stroške obratovanja.

Inovacije in Raziskave
Visoko usposobljena in motivirana ekipa inženirjev za raziskave in razvoj izvaja temeljne raziskave, oblikovanje izdelkov, oblikovanje elektronike, hitro izdelavo prototipov, načrtovanje orodij in testiranje. Intenzivno vlaganje v raziskave in razvoj jih je postavilo med vodilne svetovne proizvajalce opreme za stisnjen zrak in pline. Njihovi izdelki so plod lastnega razvoja in tehnologij, kar jim omogoča nenehno iskanje novih, učinkovitejših rešitev, prilagojenih potrebam strank.

Zavezanost Kakovosti
Omega Air je zavezana k zagotavljanju najvišje kakovosti izdelkov in storitev. Ekipa izkušenih inženirjev in tehnikov je vedno pripravljena pomagati strankam pri izbiri pravih izdelkov za njihove aplikacije ter nuditi podporo za nemoteno delovanje njihovih sistemov. Visoka kakovost njihovih izdelkov, osredotočenost na potrebe strank, ohranjanje prilagodljive ekipe, ki je sposobna slediti zahtevnemu svetovnemu trgu strank so temelj njihovega poslovanja. S kakovostnim delom in osredotočenostjo na potrebe strank verjamejo, da lahko dosežejo ambiciozne cilje in nadaljujejo s pozitivnimi rezultati.

OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana je sinonim za zanesljivost, kakovost in inovacije v svetu filtracije in priprave plinov. Z vizijo, strokovnostjo in predanostjo kakovosti so pripravljeni na nove izzive in priložnosti, ki jih prinaša prihodnost.

Obiščite njihovo spletno stran: ***www.omega-air.si***

RAZPON TLAKOV

1000 mbar
16 bar, 50 bar
100 bar, 250 bar
420 bar

MEDIJI

stisnjen zrak
vakuum
N_2, O_2, CNG,
dihalni zrak
CO_2, H_2, He

TOČKE ROSIŠČA

+3°C
-25°C
-40°C
-70°C

OMEGA AIR
more than air

OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana
Cesta Dolomitskega odreda 10
SI-1000 Ljubljana, Slovenija

www.omega-air.si
T +386 (0)1 200 68 00
info@omega-air.si

Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo
Center za vseživljenjsko učenje

BREZPLAČNA
PILOTNA IZOBRAŽEVANJA

Pridružite se našim **brezplačnim pilotnim izobraževanjem**, namenjenim posameznikom in podjetjem!

Naši programi so zasnovani za **pridobitev znanj, veščin in kompetenc**, ki jih zahtevajo trenutne potrebe trga dela.

Izkoristite priložnost za **osebno in poklicno rast** ter ostanite v koraku s sodobnimi trendi.

cvu.fs@um.si

www.fs.um.si

Vzpostavitev laboratorija za interno umerjanje merilnih instrumentov v industriji

TERMIN
september 2024

Uporaba metod računalniške dinamike tekočin (CFD) - osnove, mreže, algoritmi reševanja, laminarni tok (MD CFD1)

TERMIN
jesen 2024

Planiranje in upravljanje projektov

TERMIN
oktober 2024

Oblikovanje naprednih proizvodnih sistemov

TERMIN
november 2024

Uvod v računalniške simulacije trdnin

TERMIN
jesen 2024

Brizganje maloserijskih plastičnih izdelkov

TERMIN
jesen 2024

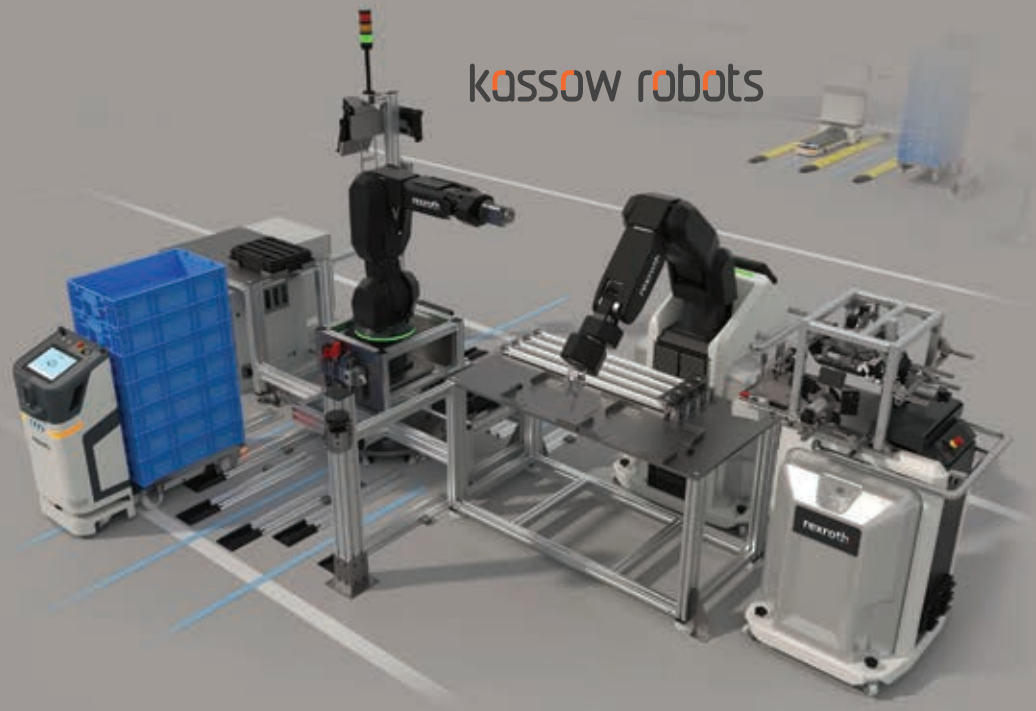
NOO | NAČRT ZA OKREVANJE IN ODPORNOST
Univerza v Mariboru
REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA VISOKO ŠOLSTVO, ZNANOST IN INOVACIJE
Financira Evropska unija
NextGenerationEU

Optimizirajte svojo
interno logistiko z

ActiveShuttle

Bosch Rexroth.

rexroth
A Bosch Company



Z vami že 30 let

OPL industrijska avtomatizacija d.o.o.
Dobrave 2, 1236 Trzin, Slovenija

tel.: +386 (0)1 560 22 40
e-mail: prodaja@opl.si

OPL
www.opl.si

REVIJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO

VENTIL

ISSN 1318 - 7279 Letnik 30

- Strokovni in znanstveni prispevki
- Iz prakse za prakso
- Ventil na obisku
- Novice - zanimivosti
- Aktualno iz industrije
- Novosti na trgu
- Podjetja predstavljajo
- Ali ste vedeli
- Dogodki
- Intervju

revija Ventil

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana
Tel.: 01/ 4771 704, Faks: 01/ 4771 772
E-pošta: ventil@fs.uni-lj.si, Internet: www.revija-ventil.si

Spoštovani!

Ventil je znanstveno-strokovna revija in objavlja prispevke, ki obravnavajo razvojno in raziskovalno delo na Univerzi, inštitutih in v podjetjih s področja fluidne tehnike, avtomatizacije in mehatronike. Revija želi seznanjati strokovnjake z dosežki slovenskih podjetij, o njihovih izdelkih in dogodkih, ki so povezani z razvojem in s proizvodnjo na področjih, ki jih revija obravnava. Prav tako želi ustvariti povezavo med slovensko industrijo in razvojno in raziskovalno sfero ter med slovenskim in svetovnim proizvodnim, razvojnim in strokovnim prostorom. Naloga revije je tudi popularizacija področij fluidne tehnike, avtomatizacije in mehatronike še posebno med mladimi. Skrbi tudi za strokovno izrazoslovje na omenjenih področjih.

Revija Ventil objavlja prispevke avtorjev iz Slovenije in iz tujine, v slovenskem in angleškem jeziku. Prispevkom v slovenskem jeziku je dodan povzetek v angleščini, prispevki v angleščini pa so objavljeni z daljšim povzetkom v slovenskem jeziku. Člani znanstveno strokovnega sveta so znanstveniki in strokovnjaki iz Slovenije in tujine. Revijo pošiljamo na več naslovov v tujini in imamo izmenjavo z drugimi revijami v Evropi. Revija je vodena v podatkovni bazi INSPEC.

Tridesetletno izhajanje revije Ventil pomeni, da je v prostoru neprecenljiva za razvoj stroke. Uredništvo si skupaj z znantveno strokovnim svetom prizadeva za visokokvalitetno raven in relevantnost objav, ki bosta v prihodnosti vse napore usmerila v to, da bo kvalitetna raven še višja. V ta namen vključuje v znanstveno strokovni svet priznane znanstvenike, raziskovalce in strokovnjake, ki s svojim znanjem vspodbujajo vsak na svojem področju objavljanje rezultatov razvojnega in raziskovalnega dela. Uredništvo spremlja razvoj stroke in znanstveno raziskovalno delo doma in v tujini preko konferenc, delavnic in seminarjev ter z izmenjavo tuje periodike.

Revija je priznana v tujini, še posebno na področju fluidne tehnike, kar želimo doseči tudi na področju mehatronike in avtomatizacije. Preko objav v reviji se promovirajo dosežki slovenske znanosti in industrijske proizvodnje. Revija je in bo tudi v prihodnje prostor za predstavljanje kvalitetnih razvojnih in raziskovalnih dosežkov slovenske industrije in raziskovalne sfere na področju fluidne tehnike, avtomatizacije in mehatronike.

Uredništvo

Xtra·tec® XT je najnovejša generacija Walter orodij za rezkanje

Kot "Xtended" tehnologija Xtra·tec® ponuja popolnoma nov pogled na produktivnost in zanesljivost procesa.

Pokrije lahko skoraj vse procese rezkanja v večini skupin materialov:

- bolj zanesljivo,
- bolj produktivno,
- bolj stroškovno učinkovito kot kdaj koli prej - vse to ob kompenzaciji CO2 emisij z Walter Green iniciativo.

www.walter-tools.com

GOLD 2023 ecovadis Sustainability Rating

WALTER Engineering Kompetenz

TOPOMATIKA

PART OF #HandsOnMetrology

GOM Scan 1 – vaš prvi 3D skener

ATOS Q – kompaktni 3D mjerni uređaj

TOPOMATIKA prodaja #HandsOnMetrology 3D skenere

ZEISS T-SCAN hawk 2 je lahek, prenosni in zanosljiv laserski 3D skener, ki Vam pomaga pri katerikoli meritvi.

TOPOMATIKA d.o.o.
Industrijska ulica 3, Novaki
HR-10431 Sveta Nedelja
www.topomatika.si

Za bresplačen demonstracijski projekt se obrnite na Topomatiko po e-pošti info@topomatika.si, ali pokličite tel. Št. +385 1 349 60 10

ZEISS Certified Metrology Partner

Celjski sejem

Mednarodni industrijski sejem

- PLAGKEM
- TEROTECH
- FORMA TOOL
- Varjenje in rezanje
- Robotika in elektronika
- Industrijska avtomatizacija

8.-11. APRIL 2025

MSTM 320

VEČVRETENSKA STRUŽNICA

UNIOR Strojegradnja

Od ideje
do končnega izdelka

Popolna avtomatizacija

Optimalni obdelovalni časi

Večvretenska (do 4) obdelava

Prilagodljivo za več obdelovancev

NC korekcija orodja za vsako vreteno

www.unior-specialmachines.com

PROFIDTP STROKOVNA LITERATURA

BIONIKA

Janez Škrlec

Bionika je osupljiva in vznemirljiva veda, ki skuša rešiti tehnične probleme in izzive z izkoriščanjem znanja narave in biologije. Bionika, znana tudi kot biomimikrija, biomimetika, se ukvarja s prenosom pojavov iz narave v tehnologijo.

24,90 €

MALA ŠOLA MAZANJA: VSE, KAR BI MORALI VEDETI O MAZIVIH

Milan Kambič

Knjiga zajema osnove s področja maziv in njihove uporabe, se pravi mazanja. Primerna je za vse, ki še nimajo znanja na tem področju, pa tudi za tiste, ki se s tem področjem ukvarjajo že dlje časa.

29,00 €

UMETNOST BRIZGANJA

Henrik Privšek
Urednik: **Matjaž Rot**

Odličen priročnik za predelavo termoplastov, ki predstavlja številne praktične izkušnje in izpostavlja napake pri brizganju ter načine, kako se jim izogniti. Knjiga, s katero boste pomembno izboljšali obvladovanje proizvodnega procesa.

29,00 €

ANGLEŠKO-SLOVENSKI TERMINOLOŠKI SLOVAR PROIZVODNEGA STROJNIŠTVA

Borut Buchmeister

Nastanek terminološkega slovarja je rezultat tridesetletnega ukvarjanja in raziskovanja v okviru laboratorijev za načrtovanje proizvodnih sistemov in za simulacije diskretnih sistemov, nenehnega srečevanja s tujo literaturo, tvorbo prvih lastnih zabeležk o angleških pojmih, ki so sedaj v obsegu več kot 2400 pojmov ponujene širšemu krogu.

9,90 €

VARJENJE IN SORODNE TEHNIKE SPAJANJA MATERIALOV V NELOČLJIVO ZVEZO

Janez Tušek

Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov so izdelovalne tehnologije, pri katerih z energijo v trajno, trdno in neločljivo zvezo povežemo dva ali več kovinskih ali nekovinskih elementov. V knjigi je podrobneje obravnavano spajanje kovinskih materialov in delno tudi spajanje termoplastov.

40,00 €

VARIVOST KOVINSKIH MATERIALOV, 1. del

Janez Tušek

Knjiga proučuje vedenje materialov med varjenjem in lastnosti izdelanih zvarnih spojev po varjenju. Namenjena je zelo širokemu krogu varilskih strokovnjakov in vsem, ki se ukvarjajo z varjenjem z vidika tehnologije, metalurgije, konstruiranja in splošnega strojništva, vse do gradbeništva.

30,00 €

Vse tri knjige:

Patrick De Vos
in **Jan-Eric Ståhl**

1: UPORABNA FIZIKA ODREZAVANJA KOVIN – DOBRE PRAKSE

Knjiga predstavlja praktični vodnik »kaj delati« in »kako delati«, da bodo procesi obdelave kovin z odrezavanjem zanesljivi, produktivni in donosni.

25,00 €

2: SLABŠANJE ORODJA – PRAKTIČNI MODELI

Večino težav, ki se pojavijo pri postopku odrezovanja, je mogoče opredeliti kot dogodke povezane z obrabo orodij. Ta knjiga se posveča samo tej tematiki in podaja praktične smernice za reševanje s tem povezanih izzivov. Knjiga za najboljšo produktivnost v delavnici.

25,00 €

3: ODREZAVANJE KOVIN – TEORIJE V PRAKSI

Knjiga temelji na knjigi Odrezavanje kovin, teorije in modeli. Opisuje enake principe in modele, vendar z bolj praktičnega vidika. Bistvo te knjige je predstaviti modele odrezavanja v takšni obliki, da postanejo uporabni za praktično uporabo v oddelkih mehanske obdelave in sosednjih oddelkih.

29,00 €

PROFIDTP d.o.o.
- Gradišče VI 4, 1291 Škofljica
- +386 41 669 775
- info@profidtp.com

Naročila sprejemamo na e-poštni naslov: info@irt3000.si

Možen nakup na spletni strani **irt3000.si** v področju **knjige**

Spletni nakup:

PlastMa

Transforming materials, creating possibilities!

HAITIAN
PLASTICS MACHINERY

ZHAFIR
PLASTICS MACHINERY

SHINI

+385 98 138 94 32
+385 99 368 18 43
prodaja@plastma.net
www.plastma.net

Generation 5 is here!

IRT 3000
INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE

SPLAČA SE BITI NAROČNIK

IRT 3000

ZA SAMO 70€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 številk)
- strokovne vsebine na več kot 140 straneh

IRT 3000 ADRIA

Revija v hrvaškem jeziku

ZA SAMO 28€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 ADRIA (4 številke)
- strokovne vsebine na več kot 200 straneh

IRT 3000 АДРИА

Revija v srbskem jeziku

ZA SAMO 28€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 АДРИА (4 številke)
- strokovne vsebine na več kot 200 straneh

- vsakih 14 dni e-novice IRT3000 na osebni elektronski naslov

DIGITALNA NAROČNINA

Na voljo je tudi digitalna različica revije, obogatena s povezavami in video vsebinami.

STROKOVNA LITERATURA

V naši spletni trgovini je na voljo širok nabor kakovostne strokovne literature.

Spletni nakup:

NAROČITE SE!

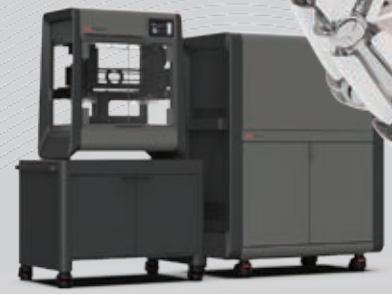
051 322 442
info@irt3000.si
www.irt3000.si/narocilo-revije

WWW.IRT3000.COM

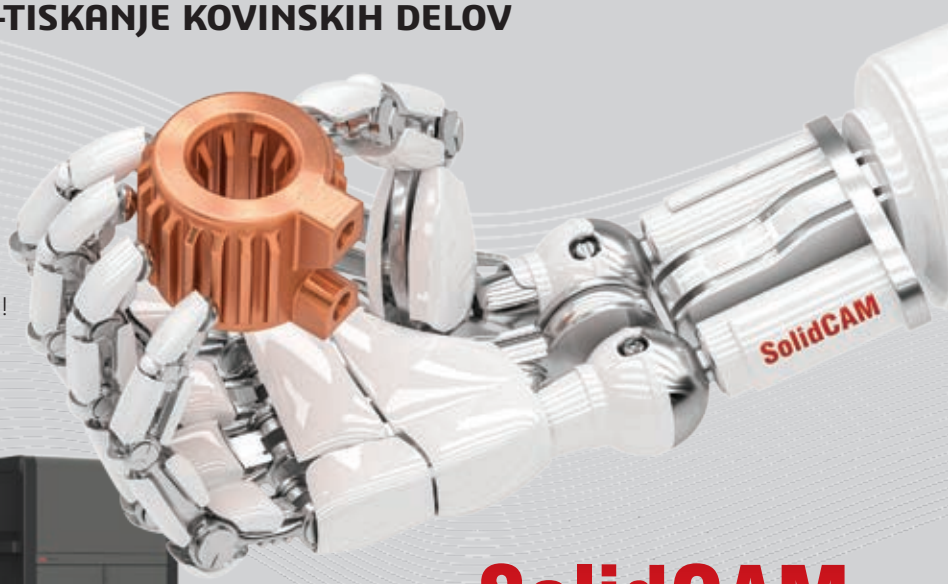
STROŠKOVNO UČINKOVITO 3D-TISKANJE KOVINSKIH DELOV

3D tiskalniki Desktop Metal so odlična rešitev za izdelavo funkcionalnih prototipov in 3D tiskanje malih in srednjih serij. Zaradi čistega postopka delovanja so primerni tudi za postavitev v pisarniško okolje, njihova uporaba pa je povsem enostavna. Ne izgubljajte časa z dolgimi dobavnimi roki za prototipe in tako občutno skrajšajte čas za razvoj vašega izdelka!

Desktop Metal Shop System



Desktop Metal Studio System



SolidCAM
Additive Manufacturing
powered by
Desktop Metal

SolidWorld
3D advanced solutions
SLOVENIJA

Za več informacij pokličite 01 / 422 49 00
ali obiščite www.solidworld.si

HD7 HD8
Industrial Robot in Hygienic Design

YASKAWA

KLJUČNE PREDNOSTI

- Higiensko oblikovanje: inkapsulirano ohišje, brez izpostavljenih vijakov
- Robotski priključki iz spodnje strani
- Notranji povezi paket vključno z ethernet
- Higiensko oblikovane robotske osi in prirobnica
- Nizko oddajanje delcev v okolico
- Mast - Food Grade Grease
- Razred zaščite IP69K

ČIŠČENJA ROBOTA

- Poseben premaz: odlična mehanska in kemična odpornost
- Zunanji deli robota s certifikatom FDA
- Protimikrobna, gladka površina
- Izbrana in preverjena zasnova tesnjenja robotskih osi

YASKAWA Slovenija d.o.o. • T: +386 (0)1 83 72 410 • YSL-info@yaskawa.eu.com • www.yaskawa.si

PREDSTAVLJAMO IN NAPOVEDUJEMO

INDUSTRIJSKI FORUM

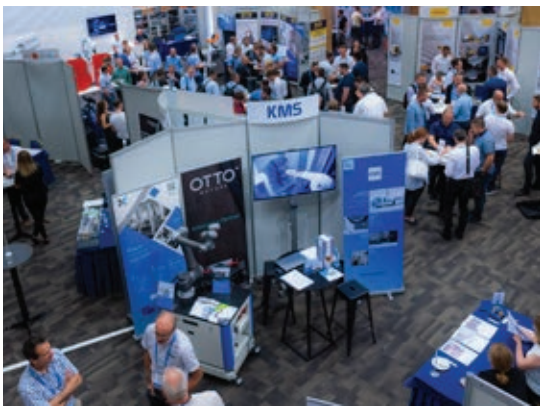
IRT ADRIA 25

Strokovni dogodek za industrijo

Industrijski forum IRT3000 je dvodnevni strokovni dogodek, ki že več kot 15 let ustvarja prostor za izmenjavo informacij, znanj, idej in pogledov na dosežke industrijske panoge. Revija IRT3000 ga je doslej organizirala v Sloveniji, z naslednjim letom pa se dogodek uveljavlja tudi na širšem področju Zahodnega Balkana.

Industrijski forum IRT povezuje soustvarjalce industrijske panoge: industrijska podjetja z najrazličnejših področij, razvojno-raziskovalne organizacije in predstavnike akademske sfere.

Dogodek bogati razstava visokotehnoloških podjetij, ki obiskovalcem foruma predstavljajo svoje najnovejše dosežke, napredne tehnologije, razvojne rešitve in inovacije za večjo konkurenčnost podjetij.



RAZSTAVA | POSLOVNI DEL | STROKOVNA PREDAVANJA | RAZISKOVALCI

Prihodnost je tukaj.

Industrijski forum IRT
Motnica 7 A, 1236 Trzin

info@forum-irt.si

www.forum-irt.si

Hidravlična olja

srce hidravličnih sistemov

OLMA®
www.olma.si

Olma d.o.o., Poljska pot 2, 1000 Ljubljana,
tel.:(01) 58 73 600, faks: 54 63 200,
e-pošta: order@olma.si, http://www.olma.si

Quaker Houghton Forward Together | MOTUL TECH Baraldi | tribo-chemie | setral Competence in Lubricants | SLOVENOIL | STORM

FAST MOVING TECHNOLOGY

STÄUBLI

MAGNETNI VPENJALNI SISTEM ZA ORODJA

Vodilna tehnologija v industriji in prvorazredne storitve.

Na področju brizganja plastike, predstavlja skrajšanje časa menjave orodij ključni dejavnik pri doseganju produktivnosti.

Novi magnetni sistem za vpenjanje orodij QMC 123 se odlikuje z izjemno enostavnostjo uporabe, varnostjo in zanesljivostjo pri hitri menjavi orodij, medtem ko ga podpira globalna servisna mreža podjetja Stäubli. Uporabniku prijazen zaslon na dotik IMAG, kratek čas vpenjanja in natančno silo zaklepanja, ki jo zagotavlja sistem, dopolnjujejo namestitev, usposabljanje in podpora pri uporabniku s strani podjetja Stäubli.

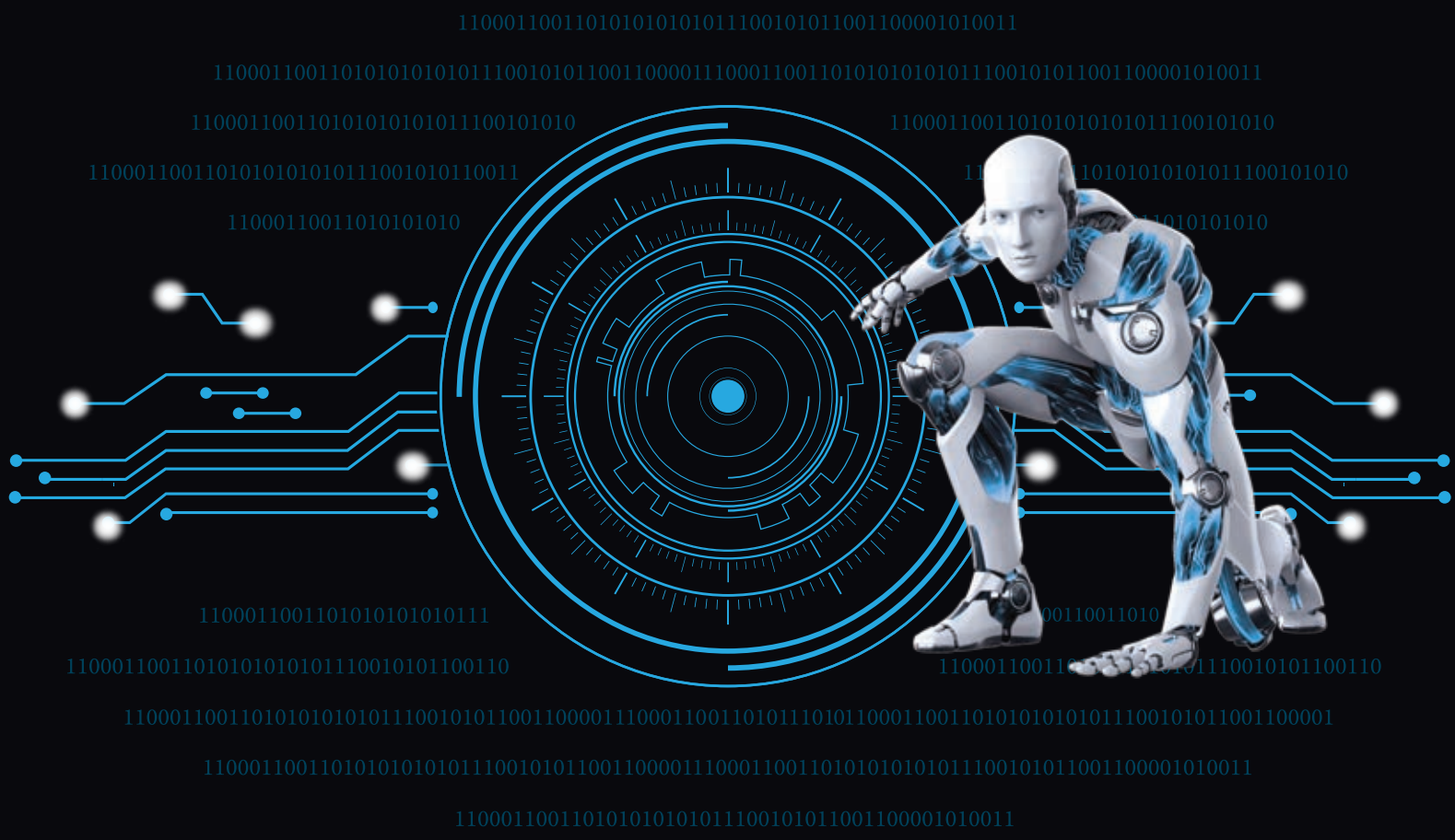
www.staubli.com

iCm

IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

11.-13. 2. 2025

Ljubljana



www.icm.si

Hoffmann Group

SAMO ODLIČNA ORODJA.

Enostavno spletno nakupovanje,
hitra dostava: v 24 urah!

www.hoffmann-group.com/si

INDUSTRIJSKI FORUM IRT 2025

NEPOGREŠLJIV VIR INFORMACIJ ZA STROKO

Predstavitev strokovnih prispevkov
Strokovna razstava | Aktualna okrogla miza
Podelitev priznanja TARAS

FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

Dogodek je namenjen vsem, ki delujejo v industrijskem okolju ali za industrijo. Na forumu predstavljamo dosežke in novosti, inovativne rešitve, primere prenosa znanja in izkušenj ter njihove uporabe v industrijskem okolju, pri čemer je pozornost usmerjena tako na nove zamisli, zasnove in metode, kot tudi na tehnologije in orodja. Forum je tudi prostor, kjer osvetlimo resnično stanje v industriji, njene zahteve in potrebe. Posebna pozornost je namenjena uspešnim aplikativnim projektom raziskovalnih organizacij, inštitutov in univerz, izvedenih v industrijskem okolju, ter prenosu uporabnega znanja iz znanstveno-raziskovalnega okolja v industrijo.

Priznanje TARAS za najuspešnejše sodelovanje znanstvenoraziskovalnega okolja in gospodarstva na področju inoviranja, razvoja in tehnologij.

Portorož, 9. in 10. junij 2025

www.forum-irt.si

INDUSTRIJSKI FORUM IRT
forum-irt.si

Dodatne informacije: Industrijski forum IRT, Motnica 7 A, 1236 Trzin I tel.: +386 51 322 442
e-naslov: info@forum-irt.si I www.forum-irt.si I Organizator dogodka: PROFIDTP, d. o. o., Gradišče VI 4, 1291 Škofljica
Organizacijski vodja dogodka: Darko Švetak, darko.svetak@forum-irt.si

INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2024
forum-irt.si

ISBN 978-961-95800-4-2