

INDUSTRIJSKI  
FORUM **IRT** 2019



**VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ  
ZA STROKO**

Portorož, 3. in 4. junij 2019

[forum-irt.si](http://forum-irt.si)

# 11. INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

## **VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO**

Zbornik foruma

**Urednik**

Darko ŠVETAK

Portorož, 3. in 4. junij 2019

Naslov: **11. Industrijski forum IRT - VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO**

Urednik: Darko ŠVETAK, PROFIDTP, d. o. o., Škofljica

Organizator: PROFIDTP, d. o. o., Škofljica

Glavni pokrovitelj: ABB, d. o. o., Ljubljana

Pokrovitelji: BOHLER International GmbH  
BTS Company, d. o. o.  
METTLER TOLEDO, d. o. o.  
SECO TOOLS, d. o. o.  
SIJ Ravne Systems, d. o. o.  
TOPOMATIKA, d. o. o.  
YASKAWA SLOVENIJA, d. o. o.

Medijski partnerji: Revija IRT3000  
Revija OBRTNIK-PODJETNIK  
Revija VENTIL  
Revija Računalniške novice

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)  
621(082)

INDUSTRIJSKI forum IRT (11 ; 2019 ; Portorož)

Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma / 11. industrijski forum IRT, Portorož, 3. in 4. junij 2019 ; urednik Darko Švetak ; [organizator Profidtp]. - Škofljica : Profidtp, 2019

ISBN 978-961-94025-7-3  
1. Gl. stv. nasl. 2. Švetak, Darko  
COBISS.SI-ID 299785472

*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

## Več kot nas je, več znamo in naredimo

Rek »Več glav več ve« je praksa že zdavnaj potrdila. Danes živimo v svetu, polnem znanja. Zato nihče ne ve vsega, niti približno. Celo največji sistemi in analitični stroji, kakršna sta spletni iskalnik Google ali IBM-ov Watson, še zdaleč ne vedo vsega, čeprav so v očeh povprečnega človeka marsikdaj videti vsevedni, celo vsemogočni.

Zgodovina nas je naučila, da tudi več rok lahko naredi več. Ljudje se še danes čudimo nekaterim starim objektom, npr. zidu, ki je nekoč obdajal kitajski imperij, ali pa piramidam sredi puščav. Očitno je človeku dano ustvarjati, graditi, biti nekaj več in ne zgolj obstajati. Cilj doseči in ustvariti nekaj več pa lahko tako posamezniki, predvsem pa podjetja in podjetniki, podobno kot akademiki, uresničimo le s sodelovanjem.

Zgovorne primere in projekte, ki so v preteklem letu nastali v svetu domače industrije in akademskega okolja, si lahko ogledate v zborniku, ki ga držite v rokah. Nanj sem skoraj čustveno navezan. V mojih očeh predstavlja neke vrste življenjepis oziroma CV domače industrije. Kako uspešno so nosilci znanj v industriji in 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.

Posameznih dosežkov ne bom izpostavljajal, saj je slednje naloga strokovne komisije, ki podeljuje priznanje TARAS. To bo, tako kot v preteklih letih, romalo v roke nosilcev projekta, ki dokaže najuspešnejše sodelovanje gospodarstva in znanstvenoraziskovalnega okolja na področju inoviranja, razvoja in tehnologij. Cilj projekta TARAS – povezati industrijo z raziskovalno in izobraževalno sfero – je dosežen. Tudi z njegovo pomočjo so se industrijska okolja začela povezovati z akademsko sfero in izobraževalnimi ustanovami. Ne nazadnje je to danes nujno potrebno – fakultete in srednje šole ne bi smele kar »pavšalno« izobraževati kadrov po nekih programih iz (pol)pretekle zgodovine. Sodobna industrija namreč potrebuje kadre, ki bodo premogli vrsto ustreznih znanj in bodo znali že kaj delati, namesto da so podjetja pravzaprav tista, ki morajo kadre izobraževati skoraj »od začetka« – na področjih, kjer jih potrebujejo.

Sodelovanje industrije in izobraževalne sfere je koristno za vse vpletene. Fakultete in šole vidijo, kaj dejansko potrebuje industrija in pridobijo dostop do realnega industrijskega okolja. V njem se lahko najbolje preizkusita teorija in praksa ter raziskujejo nove možnosti. Industrija pa po drugi strani potrebuje tudi sveže ideje – te pa so tako v mladih in še neobremenjenih glavah kot tudi v glavah izkušenih inženirjev. Ker pa, kot rečeno, nihče ne ve vsega, je prav, da se tudi ideje družijo in plemenitijo. Najboljša različica pa ugleda luč sveta v obliki izdelka in rešitve, na katerega/o smo lahko vsi ponosni.

Industrijski forum IRT bo še naprej spodbujal inovativnost, razvojno usmerjenost in tehnološko odličnost podjetij in izobraževalnih ustanov. Vse naštetu namreč nujno potrebujemo, če želimo biti globalno konkurenčni in uživati visoko kakovost življenja.

Portorož, junij 2019

Darko ŠVETAK



PROFIDTP, d. o. o.

Škofljica

---

**Na povezavi ali preko črtne kode, lahko dostopate do mape, kjer se nahaja zbornik letošnjega Industrijskega foruma IRT 2019**

<http://bit.do/zborniki-ifirt>

QR Code:



<http://bit.do/zborniki-ifirt>

---

# VSEBINA

## Strokovni prispevki foruma

<b>DAN 1 - DVORANA 1</b>	3
<b>NOVI ZLITINI V PRAHU, KI STA NAMENJENI DODAJANJU MATERIALA PO PLASTEH</b> Marianne KAPP voestalpine BÖHLER Edelmetall GmbH & Co KG/ Voestalpine Slovenija	5
<b>STROJNI VID, KLJUČNA OMOGOČITVENA TEHNOLOGIJA I4.0</b> Jure SKVARČ Kolektor Orodjarna, PE Vision	9
<b>SMARTFORMING - PAMETNA ORODJA ZA OBLIKOVANJE PLOČEVINE</b> Tomaž SAVŠEK <sup>1</sup> , Petra JANEŽIČ <sup>2</sup> , Inda BALAGIČ <sup>3</sup> , Stjepan FLEGARIČ <sup>4</sup> , Klemen ŽUŽEK <sup>2</sup> , Katja POPOVIČ <sup>2</sup> , Mitja CEROVŠEK <sup>1</sup> , Boštjan PILETIČ <sup>1</sup> , Mario ŠTORGA <sup>4</sup> <sup>1</sup> TPV d.o.o., Novo mesto <sup>2</sup> Gorenje Orodjarna, d.o.o., Velenje <sup>3</sup> CADCAM Design Centar, Zagreb <sup>4</sup> Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu	13
<b>INDUSTRIJSKA METROLOGIJA KOT POMEMBEN STEBER STRATEGIJE INDUSTRIJA 4.0</b> Simon SMOLNIKAR RLS, d. o. o.	19
<b>DAN 2 - DVORANA 1</b>	23
<b>RECONCELL: POTREBA PO VARNI PRILAGODLJIVOSTI ZA INDUSTRIJO!</b> Michael Pravits <sup>1</sup> , Aleš Ude <sup>2</sup> , Igor Kovač <sup>2</sup> , Miha Deniša <sup>2</sup> <sup>1</sup> Pilz Ges. m. b. H. <sup>2</sup> Inštitut Jožef Stefan	25
<b>ROBOTSKA CELICA ZA REZKANJE TERMOIZOLACIJSKIH ELEMENTOV</b> Peter KEREC <sup>1</sup> , Aleš KLUN <sup>1</sup> , Robert LOGAR <sup>1</sup> , Nejc PREGEL <sup>2</sup> <sup>1</sup> ABB d.o.o. <sup>2</sup> Isomat d.o.o.	31
<b>STREGA STROJEV V VISOKOPRODUKTIVNI PROIZVODNJI</b> Hubert KOSLER <sup>1</sup> , Aljoša ZUPANČIČ <sup>1</sup> , Damian ŠIRAJ <sup>2</sup> , Erlih ARKO <sup>2</sup> , Damir SMAILOVIČ <sup>2</sup> , Matej MERKAČ <sup>1</sup> <sup>1</sup> Yaskawa Slovenija d. o. o. <sup>2</sup> Yaskawa Ristro d. o. o.	35
<b>AVTOMATIZACIJA PROIZVODNJE V LIVARNI TITAN</b> Oliver TOPIČ, Darko PODRŽAJ PS, d.o.o., Logatec	39
<b>UNIKATNI DIMENZIJSKI MERILNI SISTEMI ZA REŠEVANJE KOMPLEKSNIH MEROSLOVNIH IZZIVOV</b> Nejc DEMŠAR Vodja razvoja, LOTRIČ Meroslovje, d.o.o.	45
<b>ODKRIVANJE POVRŠINSKIH IN SKRITIH NAPAK NA OSNOVI AKUSTIČNEGA ODZIVA PREIZKUŠANCEV</b> Samo ŠALI <sup>1</sup> , Matjaž ROT <sup>2</sup> <sup>1</sup> SaliGuitars & SaliHangboards <sup>2</sup> Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani	49
<b>KALIBRACIJA MERILNIKOV UV-A SVETLOBE</b> Gašper FAŠUN SIJ Ravne Systems d.o.o., LABORATORIJI	53

<b>RAZVOJ AVTOMATSKIH NAPRAV ZA PREIZKUŠANJE TESNOSTI IZDELKOV</b> Jure KOKALJ <sup>1</sup> , Edvard DOLENC <sup>1</sup> , Janez KOKALJ <sup>1</sup> , Miha NASTRAN <sup>2</sup> <sup>1</sup> KNT d.o.o. <sup>2</sup> Kolektor ETRA d.o.o.	59
<b>CELOVITE REŠITVE OBDELOVALNIH PROCESOV ZA OBDELAVO ULITKOV IN OSTALIH OBDELOVANČEV</b> Bogdan KUKOVIČ UNIOR d.d.	63
<b>PREDNOSTI UPORABE ADAPTIVNIH REZKALNIH STRATEGIJ</b> Mario LONČAR, Boštjan RAZBORŠEK, Mirko FICKO, Simon KLANČNIK, Ivo PAHOLE Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo	67
<b>OCENA OBDELOVALNOSTI IN STROŠKOV KRIOGENEGA FREZANJA JEKLA ZA POBOLJŠANJE 42CrMo4</b> Rok SRAKA, Damir GRGURAŠ, Franci PUŠAVEC Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Katedra za menedžment obdelovalnih tehnologij	71
<b>RAZVOJ IN RAZISKAVA SISTEMA ZA PULZIRAJOČE VISOKOTLAČNO DOVAJANJE HLADILNO-MAZALNE TEKOČINE V PROCESU STRUŽENJA</b> Matjaž KERN, Franci PUŠAVEC UL, Fakulteta za strojništvo	75
<b>DAN 2 - DVORANA 2</b>	83
<b>NASPROTNA OBLIKA GRAVURE V ORODJU ZA BRIZGANJE</b> Andrej GLOJEK <sup>1</sup> , Matjaž ROT <sup>1</sup> , Mladen KRČIČ <sup>2</sup> , Žiga Thomas KOGOJ <sup>2</sup> <sup>1</sup> TECOS <sup>2</sup> Orodjarstvo Knific	85
<b>TLAČNI SENZOR ZA NADZOR PROCESA BRIZGANJA PLASTIČNIH MATERIALOV</b> Domen ROVŠČEK <sup>1</sup> , Aljaž PODOBNIK <sup>1</sup> , Boštjan BERGINC <sup>1</sup> , Dragan KUSIČ <sup>2</sup> <sup>1</sup> Hidria d.o.o. <sup>2</sup> TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije	89
<b>BIOOSNOVANI POLIMERNI MATERIALI – VEČ KOT LE BIOPOLIMERI. VLOGA DODATKOV, KOMPATIBILIZATORJEV, POLNIL IN OJAČAL</b> Thomas WILHELM, Silvester BOLKA, Gregor KRAFT, Janez SLAPNIK Fakulteta za tehnologijo polimerov	93
<b>TRENDI V INDUSTRIJI SVETLOBNE OPREME AVTOMOBILOV</b> Aleš Adamlje HELLA SATURNUS SLOVENIJA D.O.O.	97
<b>RAZVOJ POLIMERNE IZVEDBE AVTOMOBILSKE KOMPONENTE OLJNEGA SEPARATORJA</b> Luka BERTONCELJ <sup>1</sup> , Robert KOCBEK <sup>1</sup> , Gregor ČEPON <sup>2</sup> , Blaž STARC <sup>2</sup> , Martin ČESNIK <sup>2</sup> , Silvester BOLKA <sup>3</sup> , Miha BOLTEŽAR <sup>2</sup> <sup>1</sup> Iskra ISD Plast d.o.o. <sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za dinamično strojev in konstrukcij (LADISK) <sup>3</sup> Fakulteta za tehnologijo polimerov Slovenj Gradec (FTPO)	101
<b>NAPREDNA 3D - DMLS TEHNOLOGIJA</b> Mario ŠINKO <sup>1</sup> , Matic VOGRIN <sup>1</sup> , doc. dr. Miha ČEKADA <sup>2</sup> <sup>1</sup> MARSI, Mario Šinko s.p. <sup>2</sup> Institut "Jožef Stefan"	109
<b>AVTOMATIZACIJA BRIZGANJA OPTIČNIH ELEMENTOV</b> Anet ROŽIČ, Matija OBOLNAR, David ŠENICA Hella Saturnus Slovenija d.o.o.	113
<b>OPTIMIZACIJA BRIZGANJA PA 66 GF35 S FLASH DSC</b> Silvester BOLKA <sup>1</sup> , Luka BERTONCELJ <sup>2</sup> , Robert KOCBEK <sup>2</sup> , Tamara ROZMAN <sup>1</sup> , Rebeka LORBER <sup>1</sup> , Teja PEŠL <sup>1</sup> , Rajko BOBOVNIK <sup>1</sup> , Thomas WILHELM <sup>1</sup> <sup>1</sup> Fakulteta za tehnologijo polimerov <sup>2</sup> Iskra ISD Plast d.o.o.	117

<b>3D TISKANJE KONČNIH IZDELKOV S HP MULTI JET FUSION TEHNOLOGIJO</b> David FISTER, Andrej SUHADOLC CGS plus d.o.o.	.....	123
<b>MOŽNOSTI OBDELAVE 3D TISKANIH KOVINSKIH IZDELKOV Z ABRAZIVNIM TOKOM</b> Luka KASTELIC, Davorin KRAMAR, Franci PUŠAVEC Katedra za menedžment obdelovalnih tehnologij, FS UNI-LJ	.....	127
<b>GRAVIMETRIČNA ANALIZA HITRO HLAPLJIVIH OLJ ZA IZREZOVANJE ELEKTROPLOČEVINE</b> Ines BERGOČ, Špela BOLKA, Urška ŽONTA Hidria d.o.o.	.....	133
<b>ANALIZA VPLIVA PARAMETROV ŽARJENJA, MIKROSTRUKTURE IN FAKTORJA OBLIKE NA KINETIKO RAZOGLJIČENJA PODEVTEKTOIDNEGA OGLJIKOVEGA JEKLA C45 MED ŽARJENJEM V ZRAČNI ATMOSFERI</b> Matija ZORC, Milan BIZJAK, Borut KOSEC, Katja ZUPANČIČ, Aleš NAGODE Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za materiale in metalurgijo	.....	137
<b>DAN 2 - DVORANA 3</b>	.....	143
<b>KONCEPT INTELIGENTNEGA POGONKEGA SKLOPA</b> Martin Stepančič <sup>1,2</sup> , Andrej Biček <sup>3</sup> , Miha Erjavec <sup>4</sup> , Simon Kulovec <sup>4</sup> , Leon Žlajpah <sup>1</sup> <sup>1</sup> Institut Jožef Stefan, Ljubljana <sup>2</sup> Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana <sup>3</sup> Nela d.o.o., Železniki <sup>4</sup> Podkrižnik d.o.o., Nazarje	.....	145
<b>MECODES – A NEW COLLABORATION SOLUTION FOR THE ECAD/MCAD INTEGRATION</b> Reni BANOVIČ, Zlatko ŠIMUNEC CAD/CAM Group	.....	155
<b>NAPREDNE FUNKCIJE POGONSKIH SISTEMOV</b> Peter SKOPEC ControlTech d.o.o.	.....	159
<b>OPTIMIZACIJA PROCESA TLAČNEGA LITJA</b> Cosimo RAONE <sup>1</sup> , Flavio CHECCETTO <sup>1</sup> , Peter Grubelnik <sup>2</sup> , Milan KAMBIČ <sup>2</sup> <sup>1</sup> MotulTech Baraldi <sup>2</sup> Olma d.o.o.	.....	163
<b>SINERGIJE DIGITALIZIRANEGA UPRAVLJANJA PROIZVODNJE IN KAKOVOSTI V PRAKSI</b> Klemen LISEC <sup>1</sup> , Jochen KINAUER <sup>2</sup> , Dušan BOŽIČ <sup>1</sup> <sup>1</sup> Inden d.o.o., Cesta v Mestni log 88a, 1000 Ljubljana, Slovenija <sup>2</sup> camLine GmbH, Industriering 4a, 85238 München, Germany	.....	169
<b>ODLIČNOST UPRAVLJANJA PROCESOV – DIGITALNA TRANSFORMACIJA (PRIMERI V PRAKSI)</b> Robert OREHEK Tom PIT d.o.o.	.....	173
<b>FIELD - PROGRAMSKA OPREMA ZA UPRAVLJANJE PAMETNIH TOVARN</b> Franc ŽABERL FANUC ADRIA d.o.o.	.....	177
<b>»POKA-YOKE« - AVTOMATIZACIJA IN INFORMATIZACIJA ROČNIH MONTAŽNIH PROCESOV V PROIZVODNJI</b> Tim VRBANČIČ, Janez TANCEK INEA RBT, d.o.o.	.....	181
<b>DAN 2 - DVORANA 4</b>	.....	187
<b>INDUSTRIJSKI PROCESI VARJENJA, DIMNI PLINI IN VPLIV ZAŠČITNIH PLINOV NA ZMANJŠANJE EMISIJ</b> Edvard Bjelajac Messer Slovenija d.o.o.	.....	189

<b>SLCR – ČIŠČENJE, ODSTRANJEVANJE POVRŠINSKIH NANOSOV, OZNAČEVANJE S SVETLOBO. POKUKAJMO V SVET LASERSKEGA OBDELOVANJA POVRŠIN</b> Olav G. SCHULTZ SLCR Lasertechnik GmbH	.....	197
<b>SOFTSYNCHRO® - KO Z VPENJALNO GLAVO NAVOJNEGA SVEDRA DOBITE VEČ</b> Rok VOLK EMUGE-FRANKEN tehnika d.o.o.	.....	201
<b>STEADYLINE - PREMAGOVANJE IZZIVOV DOLGIH PREVISOV REZALNIH ORODIJ</b> Zoran SVENŠEK SECO TOOLS SI d.o.o.	.....	209
<b>CRADLE TO CRADLE® DESIGN INNOVATIONS</b> Marko KRAJNER <sup>1</sup> , Roman KUNIČ <sup>2</sup> <sup>1</sup> 3ZEN d.o.o. <sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	.....	215
<b>PATENTNO VARSTVO</b> Stanislav KALUŽA Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino	.....	219
<b>RAZVOJ SISTEMA ZA VREDNOTENJE IN DODELJEVANJE DELOVNIH MEST DELAVCEM Z OMEJITVAMI</b> Noka KUNEJ, Aljoša NOVAK, Ana ŠUŠTERŠIČ, Marko BARIŠIČ, Matevž MOČILNIKAR HELLA Saturnus Slovenija d.o.o.	.....	225
<b>PROBLEMATIKA JAVNEGA POTNIŠKEGA PROMETA V MESTNI OBČINI NOVO MESTO</b> Matej BABIČ <sup>1</sup> , Janez POVH <sup>2</sup> , <sup>1</sup> Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto, Slovenija, <sup>2</sup> Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Slovenija	.....	231
<b>POSTER SEKCIJA</b>	.....	235
<b>RECIKLIRANJE BIODOMPOZITOV</b> Silvester BOLKA, Teja PEŠL, Rebeka LORBER, Tamara ROZMAN, Rajko BOBOVNIK, Thomas WILHELM Fakulteta za tehnologijo polimerov	.....	237
<b>VPLIV ČASA SKLADIŠČENJA NA LASTNOSTI BRIZGANIH IZDELKOV IZ PA 66 GF15</b> Silvester BOLKA Fakulteta za tehnologijo polimerov	.....	243
<b>STEREOLITOGRAFIJA: PRIPRAVLJENA NA IZDELAVO KONČNIH IZDELKOV?</b> Janez SLAPNIK <sup>1</sup> , Tanja STILLER <sup>2</sup> , Andreas HAUSBERGER <sup>2</sup> , Franc HANŽIČ <sup>3</sup> , Slavko CEHNER <sup>3</sup> , Urban CEHNER <sup>3</sup> , Damian MURGEC <sup>3</sup> , Irena PULKO <sup>1</sup> , Thomas WILHELM <sup>1</sup> <sup>1</sup> Fakulteta za tehnologijo polimerov, <sup>2</sup> Polymer Competence Center Leoben, GmbH, <sup>3</sup> Doorson, d.o.o.	.....	247
<b>FINLISTI IZBORA TARAS 2019</b>	.....	251
<b>KOMERCIALNI OGLASI PODJETJI</b>	.....	257

# 11. INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

## **Strokovni prispevki**

Portorož, 3. in 4. junij 2019



# 11. INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

**Prvi dan**

**Dvorana 1**

Portorož, 3. in 4. junij 2019



## NOVI ZLITINI V PRAHU, KI STA NAMENJENI DODAJANJU MATERIALA PO PLASTEH

**Marianne KAPP**

voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG/ Voestalpine Slovenija

### IZVLEČEK

Pri tej predstavitvi bosta predstavljeni dve nedavno razviti zlitini v prahu, za namen uporabe pri tehnologijah dodajanja materiala po plasteh. Trenutno se zlitine, kot sta 1.2709 in 17-4PH, zaradi njihovega enostavnega dodajanja po plasteh s tehnologijo selektivnega laserskega pretaljevanja, pogosto uporablja pri tehnologijah dodajanja materiala po plasteh. Med tem zlitina 1.2709 izkazuje dobro trdoto in mehanske lastnosti, zlitina nima odpornosti na korozijo. To pa omejuje njegovo uporabo še posebej v industriji injekcijskega brizganja polimerov. Po drugi strani pa je zlitina 17-4Ph, zaradi visoke vsebnosti kroma, korozijsko odporna, vendar pa ima premajhno trdoto za številne aplikacije v orodjarstvu. Zato je bil razvit nov razred materiala in sicer BÖHLER M789 AMPO, ki združuje ti dve lastnosti. Medtem ko doseže stopnjo trdote 52 HRC, je BÖHLER M789 AMPO hkrati odporen proti koroziji in se zelo enostavno 3D tiska.

Zaradi enostavnega 3D tiskanja so maraging jekla postala delovni konji tehnologij dodajanja materialov po plasteh. Vendar pa je za številne aplikacije potrebna boljša odpornost na obrabo ozirom višja trdota kot 52 HRC, zato so karbidi neobhodni. Zato je bil nedavno v obliki prahu razvit še en razred materiala BÖHLER W360 AMPO, ki je visoko ogljikovo orodno jeklo. V tem prispevku bomo razložili prednosti in izzive te zlitine in razpravljali o možnih uporabe.



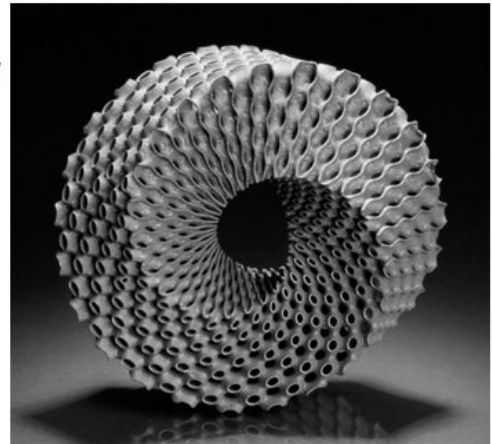
# New alloy solutions for powders for additive manufacturing

Forum IRT Forum Slovenia, 3 June 2019

Dr. Marianne Kapp, Head of Product- and Process Development  
Voestalpine Böhler Edelstahl

# ADDITIVE MANUFACTURING VOESTALPINE BÖHLER EDELSTAHL'S VISION

- » BÖHLER Edelstahl positions itself in the next years as a **world wide supplier of high quality powder and powder related printing know-how for Additive Manufacturing.**
- » To reach this goal **steel base and Ni-base powder** types are used (to be complemented by **Titanium**), designed for **customer specific applications.**
- » Our customers benefit from a **tailor made** solution for specific applications.



voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG  
 2 | 3<sup>rd</sup> June 2019 | Forum IRT Forum

voestalpine  
 ONE STEP AHEAD.

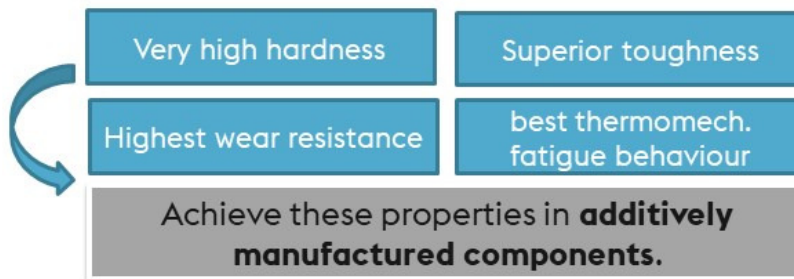
## New Alloy Solutions for AM **W360 AMPO**



» The idea

W360 is BEGs **TOP die casting grade**

W360	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
[wt%]	0,50	0,20	0,25	4,50	3,00	0,55



voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG  
 3 | 3<sup>rd</sup> June 2019 | Forum IRT Forum

voestalpine  
 ONE STEP AHEAD.

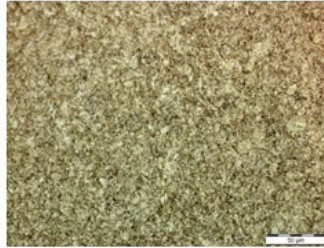
## New Alloy Solutions for AM



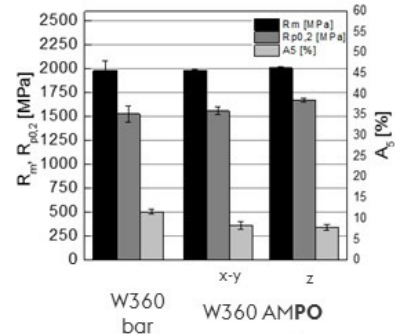
### W360 AMPO

» **Mechanical properties & microstructure** of printed part after heat treatment to 55 -57 HRC

<b>Tensile strength (Rm)</b>	1970 - 2010 Mpa
<b>Yield strength (Rp0,2)</b>	1500 - 1670 Mpa
<b>Hardness</b>	55 - 57 HRC
<b>Elongation (%)</b>	6,6 - 8,1
<b>Toughness (ISO V)</b>	8 - 14 J



Fine grained martensitic microstructure  
 ■ ASTM 11  
 ■ NADCA HS1



voestalpine

ONE STEP AHEAD.

voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG

4 | 3<sup>rd</sup> June 2019 | Forum IRT Forum

## New Alloy Solutions for AM



### M789 AMPO

» The idea



voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG

5 | 3<sup>rd</sup> June 2019 | Forum IRT Forum

voestalpine

ONE STEP AHEAD.

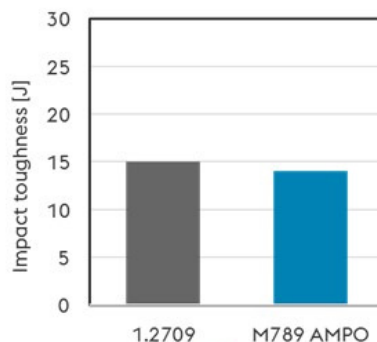
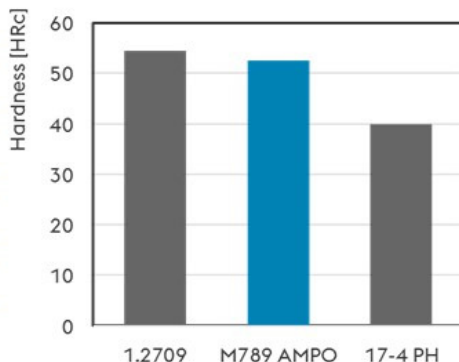
# New Alloy Solutions for AM

## M789 AMPO



### » Evaluation of printed part properties: Mechanical properties

<b>Tensile strength (Rm)</b>
1780 – 1880 MPa
<b>Yield strength (Rp0,2)</b>
1760 – 1810 MPa
<b>Hardness</b>
50 – 54 HRC
<b>Elongation (%)</b>
4.5 – 7.6 %
<b>Toughness (ISO V)</b>
6 – 14 J



voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG  
 6 | 3<sup>rd</sup> June 2019 | Forum IRT Forum

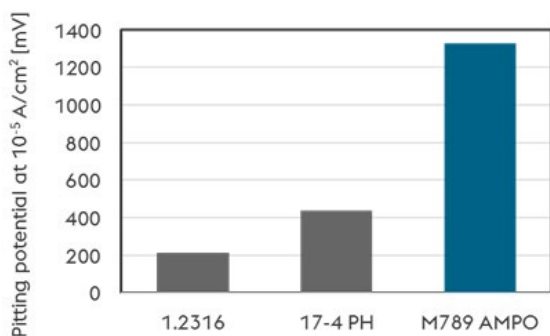


# New Alloy Solutions for AM

## M789 AMPO



### » Evaluation of printed part properties: Corrosion properties



Current potential scans using synthetic sea water + HCl @ pH=4, room temperature, nitrogen purging

voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG  
 7 | 3<sup>rd</sup> June 2019 | Forum IRT Forum



## STROJNI VID, KLJUČNA OMOGOČITVENA TEHNOLOGIJA I4.0

**Jure SKVARČ**  
Kolektor Orodjarna, PE Vision

### IZVLEČEK

Sistemi strojnega vida so naprave, ki iz slik, ki jih zajemajo raznovrstne kamere samodejno izluščijo koristne informacije. Na ta način omogočajo izvajanje kontrole kakovosti, vodenje strojev in naprav, nadzor in identifikacijo komponent, branje kod in oznak ter zagotavljajo dragocene podatke za optimizacijo proizvodnje.

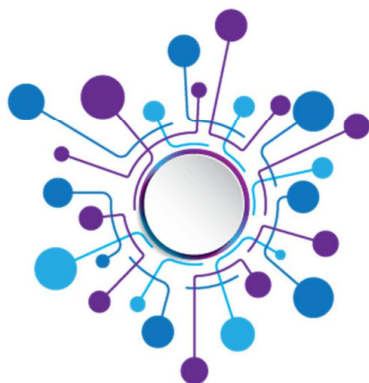
Tehnologije strojnega vida so ključne tehnologija pametnih tovarn. Nobene druge naprave ne zbirajo in interpretirajo toliko podatkov kot naprave strojnega vida. Ideja je zajeti in razumeti slikovno informacijo in posredovati rezultate v vrednostno verigo v vsaki fazi proizvodnje. Pri tem ne gre le za odkrivanje napak, ločevanje dober-slab izdelek ampak za samodejno proženje inteligentnih ukrepov. Pri tem metode umetne inteligence prebojno spreminjajo zmogljivosti sistemov strojnega vida in omogočajo izvedbo popolnoma novih rešitev, ki se širijo tudi izven industrijskega okolja.

Tovarne prihodnosti bodo zasnovane tako, da bodo zagotavljale največje koristi pri najnižji možni porabi materiala in energije. Povezani in prožnejši proizvodni procesi podprti s strojnimi vidom bodo utrli pot novim poslovnim modelom.

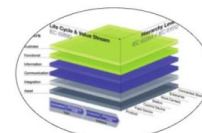
## Tehnologije v ekosistemu tovarn prihodnosti



## Povezljivosti in interoperabilnost



**OPC UA**

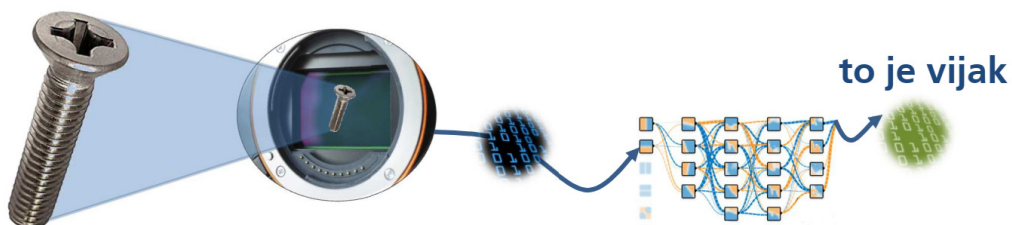


**KOLEKTOR**

Jure Skvarč, IFIRT 2019

2019 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

## Strojni vid – največji vir podatkov

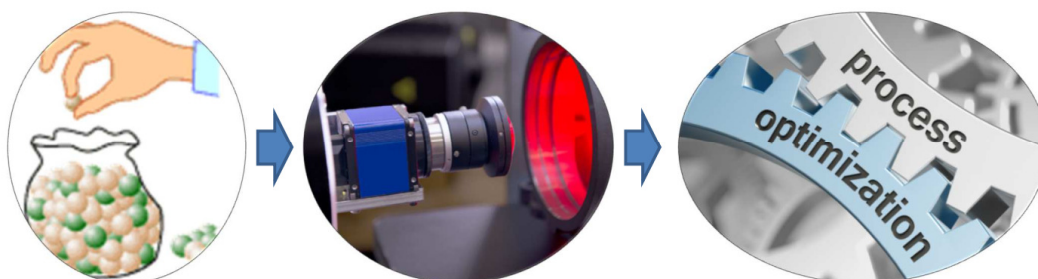


**KOLEKTOR**

Jure Skvarč, IFIRT 2019

2019 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

## Proti proizvodnji brez napak (ZDM)

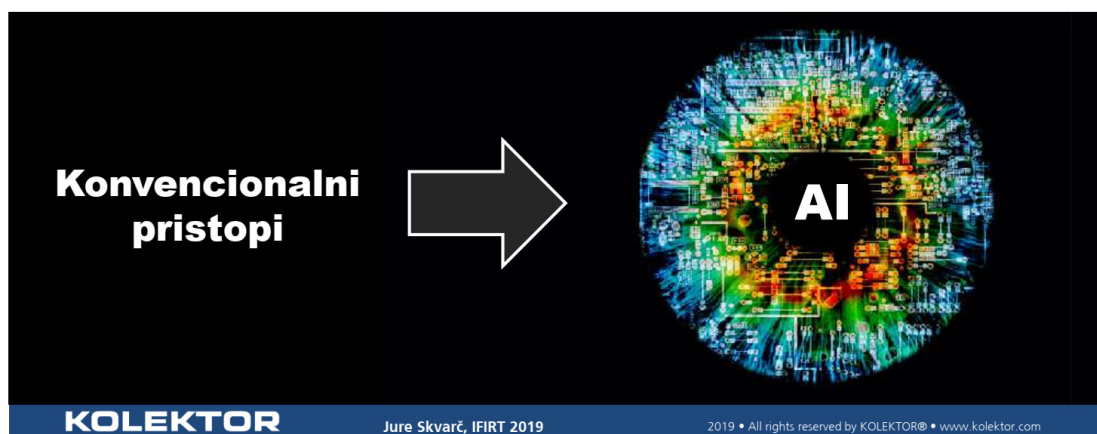


**KOLEKTOR**

Jure Skvarč, IFIRT 2019

2019 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

## Umetna inteligenca, nova kategorija

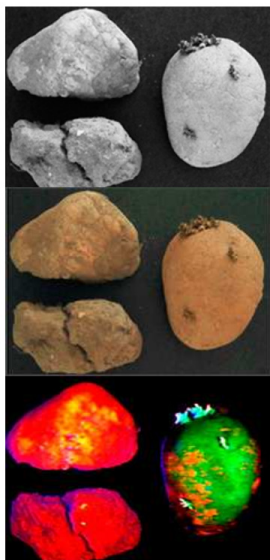


**KOLEKTOR**

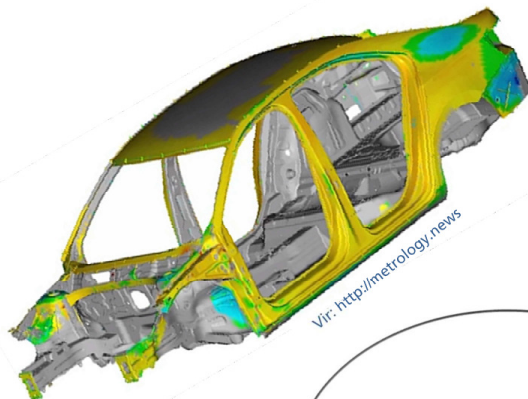
Jure Skvarč, IFIRT 2019

2019 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

## Novi in zmogljivejši senzorji



Vir: <http://perception-park.com>



Vir: <http://metrology.news>



**KOLEKTOR**

Jure Skvarč, IFIRT 2019

2019 • All rights reserved by KOLEKTOR® • [www.kolektor.com](http://www.kolektor.com)

## Prilagojena strojna oprema



**KOLEKTOR**

Jure Skvarč, IFIRT 2019

2019 • All rights reserved by KOLEKTOR® • [www.kolektor.com](http://www.kolektor.com)

## SMARTMFORMING - PAMETNA ORODJA ZA OBLIKOVANJE PLOČEVINE

Tomaž SAVŠEK<sup>1</sup>, Petra JANEŽIČ<sup>2</sup>, Inda BALAGIĆ<sup>3</sup>, Stjepan FLEGARIĆ<sup>4</sup>, Klemen ŽUŽEK<sup>2</sup>,  
Katja POPOVIČ<sup>2</sup>, Mitja CEROVŠEK<sup>1</sup>, Boštjan PILETIČ<sup>1</sup>, Mario ŠTORGA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>TPV d.o.o., Novo mesto

<sup>2</sup>Gorenje Orodjarna, d.o.o., Velenje

<sup>3</sup>CADCAM Design Centar, Zagreb

<sup>4</sup>Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

### IZVLEČEK

Oblikovanje pločevine je eden pomembnejših procesov v moderni industrijski proizvodnji. Številne komponente v avtomobilski in v industriji hišnih aparatov so izdelane iz pločevine. Procesi oblikovanja pločevine so vse zahtevnejši zaradi vse bolj kompleksnega dizajna, novih tehnologij in materialov, zahtev po zagotavljanju kvalitete in sledljivosti v velikoserijski proizvodnji ter ne nazadnje zaradi zahtev po zmanjševanju energijskega in ogljičnega odtisa. Danes se v avtomobilski industriji več kot 35% pločevinastih delov izdeluje iz novih materialov kot je visoko trdnostno jeklo in ta odstotek se še povečuje.

V okviru projekta SmartMForming razvijamo pametno orodje za oblikovanje pločevine z uporabo senzorjev, aktuatorjev in centralnega računalnika, ki omogočajo »on-line« upravljanje. S celovitim naborom senzorjev spremljamo geometrijo izdelka, sile prebijanja in snemanja ter stanje orodja in stiskalnice. Na podlagi teh informacij orodje izvaja potrebno korekcijo geometrije, v sistem za upravljanje proizvodnje pa sporoča stanje izdelkov, orodja in stroja.

Glavna prednost predstavljenega orodja je, da ni potrebno vlagati v dodatno opremo ali stroje (stiskalnice). Obstajajo tudi druge prednosti, kot so skrajšanje tehnološkega časa, povečanje kakovosti proizvodov, zmanjšanje stroškov orodja v življenjskem ciklu in najpomembnejša, večje zmogljivosti izdelave kompleksnejših izdelkov.

### ABSTRACT

Sheet metal forming is one of the most important processes in modern industrial production. A number of components in the automotive and household appliances industries are made of sheet metal. The processes of sheet metal forming are becoming increasingly demanding due to the increasingly complex design, new technologies and materials, the requirements for quality and traceability in large-scale production and, last but not least, the requirements for energy and carbon footprint reduction. Today in the automotive industry, more than 35% steel parts are made of high-strength steels and this number is still increasing.

Within the SmartMForming project we are developing intelligent sheet metal forming tools using sensors, actuators and a central computer that enable on-line management. With a comprehensive set of sensors, we monitor product geometry, breakage and recording forces, and state of the tool and press. Based on that information, the tool implements the necessary geometry correction, and sends the state of the products, tools and machine to the production management system.

The main advantage of this concept is that there is no need for investing into additional equipment or machines (presses). There are also other advantages: shortening technological time, increasing product quality, reducing costs of the tool during the lifetime cycle and the most important, higher capability of manufacturing products that are more complex.

### 1 UVOD

Gorenje Orodjarna kot projektni koordinator skupaj s podjetjema TPV in CADCAM Design Centar v okviru programa EUREKA uspešno izvaja razvojno raziskovalni projekt z nazivom »Pametna orodja za oblikovanje pločevine«

(akronim: »SmartMForming«)<sup>1</sup>. Projekt traja tri leta in se zaključí januarja 2020.

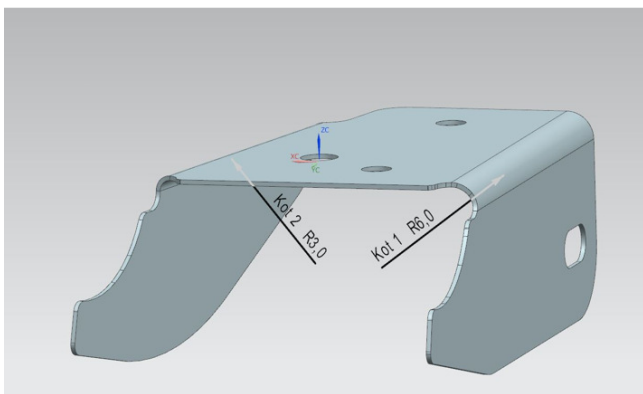
Glavni izziv in cilj projekta je povezan z razvojem in izdelavo pametnih orodij, ki temelji na optimizaciji proizvodnega procesa oblikovanja pločevine v končni izdelek. Eden najpogosteje

<sup>1</sup> Projekt sofinancira Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.



Senzorji omogočajo spremljanje lastnosti materiala, pogoje delovanja orodja in stroja ter proizvodne parametre. S tem omogočamo »on-line« nadzor nad orodjem ter kakovostjo izdelkov, kar danes v industriji še ni stalna praksa. S pomočjo teh senzorjev spremljamo stanje orodja, preprečujemo morebitne preobremenitve in s tem poškodbe orodja ter optimiziramo proces oblikovanja glede na vhodni material. V okviru projekta smo si zastavili cilj, da so vsi senzorji in aktuatorji preko centralne procesne enote povezani in združljivi s MES sistemom za upravljanje proizvodnje. Na ta način bomo zagotavljali oddaljen nadzor in obdelavo podatkov. Prav tako bomo lahko stanje spremljali na standarden način kot pri drugih obdelovalnih strojih v proizvodnji.

Iz nabora izdelkov smo kot testni izdelek zbrali odprešek, kjer sta glede na definirano obliko predvideni rezilna in vlečna operacija (Slika 2). Demonstracijsko prototipno orodje smo prilagodili tako, da ga lahko testiramo za upogibanje in rezanje. S tem bomo obravnavali največja tveganja, ki se pojavljajo pri tem izdelku. Orodje bo za potrebe testiranja izdelovalo samo en kos istočasno. To nam bo omogočalo sprotne korekcije, stroški izdelave orodja bodo nižji, prav tako bo tudi testiranje preglednejše, saj bomo pridobili samo tiste informacije, ki so potrebne za nadaljnjo analizo.



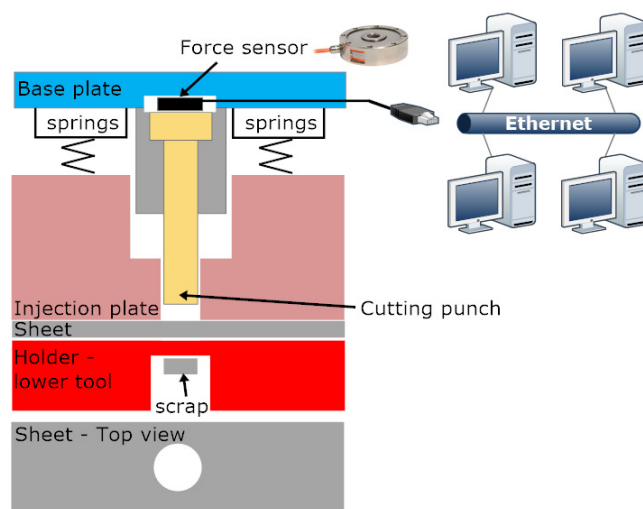
Slika 2: 3D model testnega izdelka.

### 2.1 Prva – rezilna operacija

V prvi operaciji rezilni noži prebijejo luknji na kosu. Glavno tveganje pri tej operaciji je obraba, odkrušenje ali celo lom nožev zaradi prevelike sile. Prav tako je pomembna izvlečna sila, ki jo v praksi izračunamo s pomočjo empirične enačbe. Zaradi tega je pomembno, da natančno vemo,

kakšne sile nastanejo med procesom rezanja. Prav tako je pri povečani snemalni sili nevarnost loma noža.

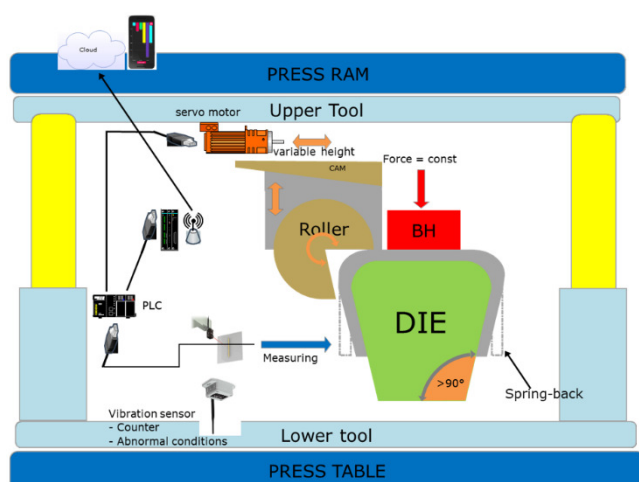
Silo, ki je potrebna za to operacijo, spremljamo s pomočjo senzorjev sile. Shematski prikaz rezilne operacije je prikazana na Sliki 3. Senzor bo prednapet, kar pomeni, da bomo lahko merili tudi silo pri izvleku. Pridobili bomo torej podatek o obremenitvi noža in matrice tako pri rezanju kot tudi pri snemanju.



Slika 3: Shematski prikaz prve - rezilne operacije

### 2.2 Druga – upogibna operacija / kalibracija

V drugi operaciji se upogneta oba zavihka izdelka, prav tako se lahko kos kalibrira. V ta namen smo vgradili servo mehanizem, senzorje in posebno sestavo orodja. Tradicionalne metode popravljanja oz. zmanjševanja elastičnega izravnava vključujejo modeliranje in popravljanje celotnega orodja v skladu z rezultati numeričnih simulacij elastičnega izravnava in kasnejšimi meritvami. Pri orodju, ki ga razvijamo v sklopu projekta, to ne bo potrebno, saj bo laserski triangulacijski senzor odčital vrednost, »on-line« posredoval podatke v podatkovni oblak, kjer se bo orodje s pomočjo servo mehanizmov za dodatno upogibanje pločevine ustrezno prilagodilo. Induktivni senzor bo odčital pozicijo drsnika (CAMA). Servo mehanizem bo potisnil CAM, slednji bo premaknil krožni drsnik (Roller oz. Rotary Bender), ta pa bo upognil pločevino za vrednost elastičnega izravnava. Orodje se bo torej prilagodilo in optimiziralo samodejno glede na material in debelino pločevine. Shematski prikaz druge operacije je prikazan na Sliki 4.



Slika 4: Prikaz druge - upogibne operacije

## 2 NUMERIČNE SIMULACIJE ELASTIČNEGA IZRAVNAVANJA

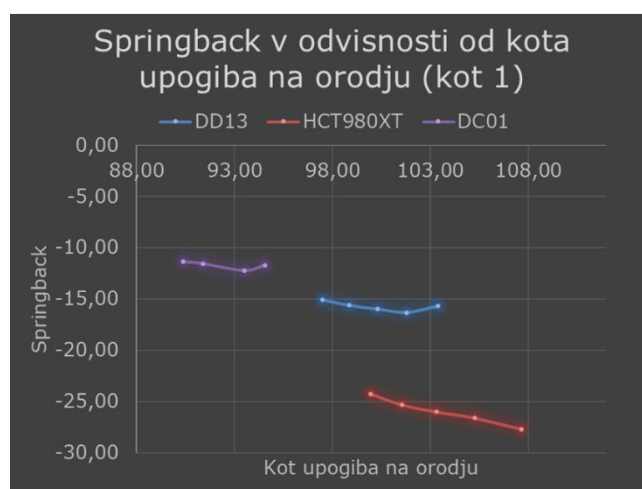
Elastično izravnavanje po plastični deformaciji izdelka oziroma »springback effect« nastane zaradi elastičnih deformacij pri oblikovalnem procesu. Na to deformacijo vpliva veliko parametrov: materialne lastnosti in debelina pločevine, stopnja deformacije, upogibni polmer pestiča ter oblika izdelka (kot in način upogiba). Materiali z večjo natezno trdnostjo in mejo plastičnosti bodo imeli pri enaki debelini pločevine manjšo sposobnost oblikovanja in posledično večje elastično izravnavanje. Na slednje vpliva tudi debelina pločevine – debelejša pločevina bodo imele pri enakem materialu manjši »springback effect« [3][4].

Prva faza preverjanja izvedljivosti izdelka oz. kosa je bila narejena s pomočjo numeričnih simulacij in programskega paketa Autoform. Numerične simulacije so bile izvedene z različnimi debelinami in materiali v skladu z metodo. Za izbrani kos smo izbrali nabor materialov, najbolj pogosto uporabljenih v avtomobilski industriji in najpogostejših debelin (med 1 mm in 1.5 mm). Rezultate simulacij smo primerjali, predvsem smo bili pozorni na elastično izravnavanje. Tabela 1 prikazuje materialne podatke pločevin, ki smo jih uporabili pri testiranju orodja.

Tabela 1: Materialni podatki pločevine

Material	Debelina pločevine	Natezna trdnost $R_m$
DC01 (1.0330)	1,2 mm	334,9 MPa
DD13 (1.0335)	1,4 mm	334,5 MPa
HC340LA (1.0548)	1,5 mm	483 MPa
HCT980X (1.0944)	1,45 mm	1036 MPa

Na začetku preizkusa orodja smo uporabili enak material in različne debeline pločevine – pri tem smo preizkusili delovanje orodja in pregledali izdelke. Pri naslednjih preizkusih smo uporabili različne materiale in različne debeline, ter spreminjali kot upogiba na krožnem drsniku. Slika 5 prikazuje elastično izravnavanje v odvisnosti od kota upogiba na orodju.

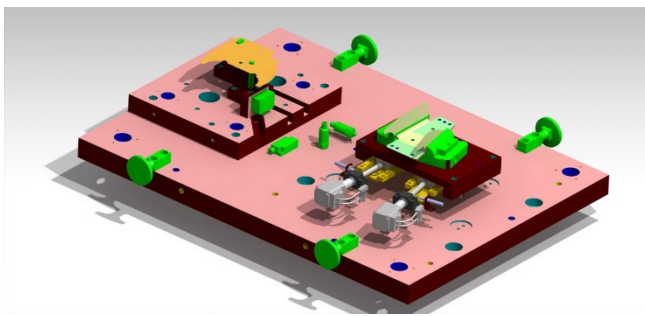


Slika 5: Elastično izravnavanje v odvisnosti od kota upogiba na orodju

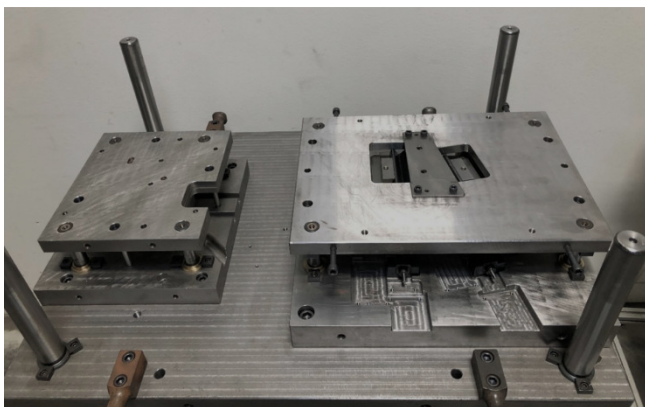
## 3 ZAGONI / PREIZKUSI ORODJA

Za potrebe zagona in preizkusa pametnega orodja v simuliranem industrijskem okolju smo v CAD okolju skonstruirali in nato izdelali prototipe orodij. V nadaljevanju so prikazani shematski prikaz (Slika 6) in fotografija prototipa (Slika 7) zgornjega dela testnega orodja ter shematski prikaz (Slika 8) in fotografija prototipa (Slika 9) spodnjega dela testnega orodja.

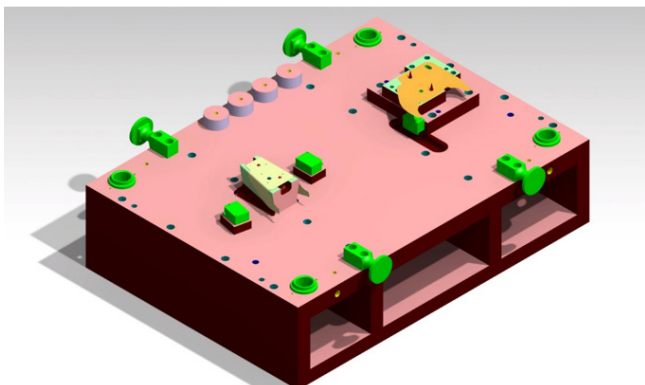
Prototipno orodje se bo najprej testiralo v testnem okolju v Gorenje Orodjarni, sledilo pa bo testiranje v simuliranem industrijskem okolju v podjetju TPV, kjer bo orodje povezano tudi v MES sistem.



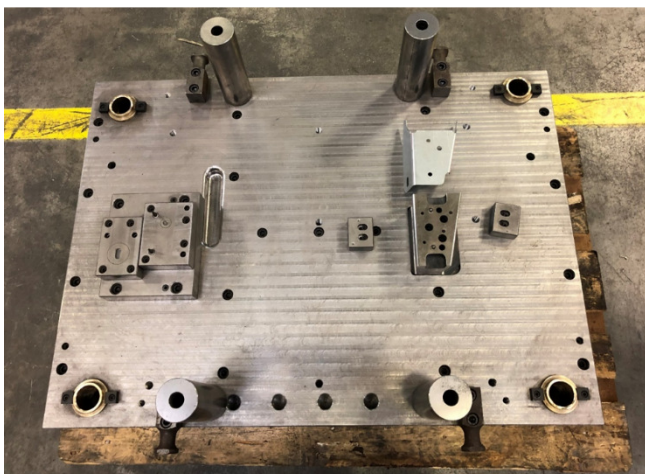
Slika 4: Shematski prikaz zgornjega dela orodja



Slika 5: Prototip zgornjega dela orodja.



Slika 6: Shematski prikaz spodnjega dela orodja



Slika 7: Prototip spodnjega dela orodja.

#### 4 PAMETNO ORODJE IN MES

Sistem za upravljanje proizvodnje (Manufacturing Execution System ali MES) je računalniški sistem za nadzor in optimizacijo elementov proizvodnega procesa v realnem času, ki služi povezovanju proizvodnega in poslovnega okolja. Prav tako služi povezovanju pametnih orodij na eni strani ter ostalih informacijskih in komunikacijskih sistemih v proizvodnih in poslovnih procesih.

Pred začetkom uvedbe MES sistema je potrebno izpeljati postopek namestitve ustrezne systemske infrastrukture, ki zagotavlja zanesljivost IKT okolja, podpira obseg in rast poslovnih podatkov in omogoča ustrezno hitrost vhodno izhodnih operacij informacijskega sistema. Vse obstoječe informacijske rešitve (ERP, DMS in ostale), baze podatkov in operacijski sistemi morajo biti pripravljeni na spremembe in na vključitev novega sistema v novo (razširjeno) informacijsko okolje. Potrebno in smiselno je nadgraditi infrastrukturo za potrebe procesne tehnike v podjetju in določiti standarde na področju procesne tehnike in opreme (PLC, procesna oprema, komunikacijska oprema, standardizacija delovnega mesta v proizvodnji, usmeritve na področju priklopa strojev in pametnih orodij v proizvodnji).

V povezavi z razvojem demonstratorja za projekt SmartMForming smo z vidika MES pripravili naslednja izhodišča:

- MES nastopa v vlogi izvajanja avtomatskega zajema podatkov iz strojev in pametnih orodij ter standardiziranega obveščanja in analiziranja pridobljenih podatkov.
- MES je lahko dodana vrednost izgradnje pametnih tovarn ter pametnih orodij in proizvodnih sistemov.
- Obstaja potreba po določitvi standardov na področju procesne tehnike in opreme, ki bodo uporabljeni tudi pri pripravi zahtev za razvoj in izdelavo pametnih orodij za oblikovanje pločevine.

V okviru teh aktivnosti je podjetje TPV pripravilo specifikacijo PLC konfiguracije. Dokument predstavlja osnovno specifikacijo za prenos podatkov iz različnih senzorjev in krmilnikov do centralne procesne enote pametnega orodja. Dokument je izdelan s ciljem,

da se definira smernice in zahteve za nove stroje, naprave in orodja, ki bodo tako »MES-ready«.

Priklop strojev in pametnih orodij je smiselno izvajati postopoma. Pred prehodom v živo je potrebno na sistem priključiti vse stroje in pametna orodja, iz katerih bomo v realnem času v proizvodnji pobirali podatke in jih uporabljali za nadaljnjo obdelavo in pripravo poročil. Pri tem je potrebno upoštevati različna stanja opreme, strojev in orodij na posameznih proizvodnih lokacijah. Stanje se lahko razlikuje glede na proizvodno tehnologijo, nivoja obstoječe avtomatizacije strojev in orodij (ročna delovna mesta, stroji in orodja s krmilniki, stroji in orodja z ali brez informacijske opreme) ter relacije delavec : stroj: (ročno delavno mesto, 1 delavec : 1 stroj, 1 delavec : M strojev, N delavcev : 1 stroj, N delavcev : M strojev).

Izzivi, ki so bili zaznani in obravnavani v okviru projekta so predvsem naslednji:

- raznolikost tipov strojev (stopnja naprednosti uporabljene tehnologije, vrste krmilnikov, razpoložljivost dokumentacije strojev, dosegljivost dobaviteljev strojev ter stopnja znanja dobavitelja posameznega stroja),
- načrtovanje, razvoj in vzpostavitev delujočega vmesnika med rešitvama MES (proizvodni informacijski sistem) in ERP (poslovno informacijski sistem),
- kompleksnost potreb rešitve MES, ki zahteva izdelavo prilagodljive, robustne in v realnem času delujoče rešitve ob upoštevanju vseh možnih kombinacij na relaciji delavec : stroj.

## 5 SKLEP

Pametna orodja za oblikovanje pločevin so kot poseben segment »pametnih izdelkov« postala del koncepta Industrija 4.0. Komponente orodij, ki se uporabljajo v proizvodnih podjetjih, morajo biti povezane v internet stvari. V nasprotju s klasičnimi oblikovalnimi orodji za oblikovanje pločevine se pri pametnih orodjih uporabljajo senzorji in aktuatorji. Senzorji dajejo informacije o obdelovancih, stanju orodij in procesih v realnem času. Na podlagi teh informacij ter z uporabo ustreznih algoritmov in aktuatorjev je mogoča regulacija parametrov proizvodnega procesa v realnem času.

Prispevek predstavlja inovativno metodo za oblikovanje pločevine v pametnem orodju. Metoda omogoča celovito obdelavo kompleksnih zahtev pri proizvodnji izdelkov iz pločevine in je primerna za metodološki pristop k razvoju pametnega proizvoda v industriji [2].

Z izvajanjem projekta SmartMForming bodo projektni partnerji dosegli cilje, ki bodo pripomogli k hitrejšemu in uspešnejšemu strokovnemu delu razvojnikov pri razvoju, izdelavi in uporabi pametnih orodij, kar je izredno pomembno za dolgoročno konkurenčnost na trgu. Kljub temu, da projektne partnerje v prihodnosti čaka še veliko dela, so že sedaj pridobili veliko novega znanja in kompetenc, ki jih bodo s pridom izkoristili pri pridobivanju novih in zahtevnejših projektov, tako s področja avtomobilske industrije kot v drugih sektorjih.

Viri:

- [1] Bor-Tsuen, L., Kun-Min, H., Kuan-Yu, S., Cheng-Yi, H.: *Development of an automated structural design system for progressive dies*. Int J Adv Manuf Technol, 68: 1887-1899, 2013.
- [2] Flegarić, S., Savšek, T., Štorga, M.: Metoda za analizo pametnega orodja za oblikovanje pločevin (angl. Method for analysis of smart sheet metal forming tools strip layout): predstavljeno na *4. mednarodni znanstveni konferenci razvoja industrijskega inženiringa - Priložnosti, potenciali, izzivi*, 8. april, Otočec pri Novem mestu, Zbornik povzetkov, str. 7. 2019.
- [3] Gusel, L.: *Vpliv stopnje deformacije na elastično izravnavanje hladno vlečene zlitine CuCrZr*. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za preoblikovanje, 2000.
- [4] Loebbe, C., Hoppe, C., Becker, C., Tekkaya, A.E.: *Closed Loop Springback Control in Progressive Die Bending by Induction Heating*. Int. J. Precis. Eng. Manuf., 16(12): 2441-2449, 2015.
- [5] Moghaddam, M.J., Soleymani, M.R., Farsi, M.A.: *Sequence planning for stamping operations in progressive dies*. J Intell Manuf, 26:347-357, 2013.
- [6] Zheng, Q., Zhuang, X., Zhao, Z.: *State-of-the-art and future challenge in fine-blanking technology*. Production Engineering, 13: 61-70, 2018.

## INDUSTRIJSKA METROLOGIJA KOT POMEMBEN STEBER STRATEGIJE INDUSTRIJA 4.0

**Simon SMOLNIKAR**  
RLS, d. o. o.

### IZVLEČEK

*Sodobna proizvodna podjetja se srečujejo z velikimi pritiski trga glede zagotavljanja visokih standardov na področju kakovosti in hkrati s pritiski zniževanja cen izdelkov. Razumna odločitev podjetij je zato vlaganje v razvoj in tehnološko nadgradnjo procesov ter tehnologij s ciljem optimizacije proizvodnih procesov. Temu trendu sledijo tudi tehnološka podjetja, ki v partnerskih povezavah s proizvodnimi podjetji dosegajo izvrstne razvojne rezultate. Eno izmed področij avtomatizacije procesov je metrologija, ki zadnje čase zelo napreduje in sledi smernicam uresničevanja scenarija industrija 4.0.*

### 1 UVOD

V zadnjih nekaj letih se industrijska podjetja srečujejo z globalnimi izzivi, kako optimirati proizvodne procese s ciljem povečati svojo konkurenčnost v globalni konkurenci. Glavni izzivi so, kako povečati produktivnost in hkrati zadržati ali celo zvišati raven kakovosti proizvodov v celotnem proizvodnem procesu podjetja. Dolgoletne izkušnje in sodelovanje tehnoloških podjetij z industrijo omogočajo, da se razvijajo in umeščajo v proizvodne procese tehnologije, ki proizvodnim podjetjem omogočajo celovit nadzor nad kakovostjo proizvodov v celotnem proizvodnem procesu v podjetju. Nadzor in avtomatizacija procesov ter planiranje aktivnosti na podlagi pridobljenih podatkov iz proizvodnje je eden izmed ključnih stebrov pri uresničevanju strategije industrija 4.0.

Trendi kažejo, da je treba vse razpoložljive napredne tehnologije povezati v celovit sistem in s tem podjetjem omogočiti, da z njimi enostavno nadzirajo in upravljajo svoje procese.

Prav to je eden izmed ključnih stebrov industrije 4.0, ki se v sklopu podjetij imenuje tudi strategija pametne tovarne.

V pričujočem prispevku so izpostavljene nekatere tehnologije, sledi pa njihova umestitev v proizvodne procese za doseganje celovite

avtomatizacije, optimizacije in zagotavljanje kakovosti proizvodnih procesov v industriji.

### 2 RAZVOJ INDUSTRIJSKE METROLOGIJE

#### 2.1 Namen

Z zavedanjem, da morajo za doseganje svoje učinkovitosti in konkurenčnosti še nadgraditi svoje procese, tehnološka podjetja zadnje čase stremijo k iskanju tehnoloških rešitev, ki jim bodo omogočale čim bolj avtomatizirano in optimirano sprotno spremljanje procesov. Naprednejša proizvodna podjetja se zavedajo, da morajo velik del svojih naporov usmeriti v zagotavljanje uresničevanja in doseganja kvalitativnih in kvantitativnih kazalnikov v podjetju. Le tako bodo lahko uspešno konkurirala na svetovnem trgu in si ustvarila dodano vrednost, ki jim bo omogočila razvoj in napredek. Tehnološka podjetja tako natančno spremljajo razvoj in potrebe proizvodnih podjetij, s ciljem usmeriti razvojne zmogljivosti v razvoj tehnologij, ki bodo pripomogle k zagotavljanju optimizacije in avtomatizacije obvladovanja kakovosti v celotnem proizvodno-obdelovalnem procesu.

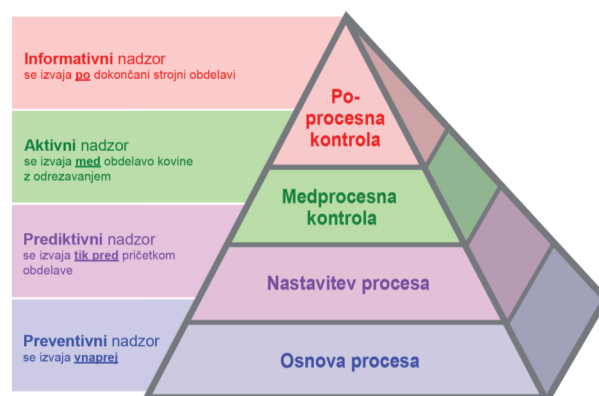
V proizvodnji procesi potekajo v različnih fazah in z različno dinamiko, zato je bila izdelana piramida procesov (Slika 1). Ta jasno obravnava procesne zahteve in cilje, ki se morajo upoštevati, da se

lahko zagotovi vitkost proizvodnje. Da se proizvodnja lahko začne ustrezno planirati, je treba zagotoviti ustrezno stabilnost osnovnih proizvodnih procesov (angl. *Process foundation*), v katerih lahko delujejo stroji. Ta raven je povsem preventivna in podjetjem omogoča, da z dobro kontrolo čim manj procesnih napak prenašajo v proizvodni proces in s tem omejijo zagonske stroške v proizvodnji. Ko v podjetju ustvarimo stabilno okolje, lahko na naslednji ravni, pri nastavitvi procesa (angl. *Process setting*), že posvetimo pozornost proizvodu, na katerem se bodo izvajale operacije.

V konkretnem primeru proizvodnega procesa to pomeni pozicioniranje kosov v prostoru, pripravo in kontrolo orodij. S sodobnimi tehnologijami lahko obdelovalni stroji že sami v sklopu zagona izvedejo avtomatske operacije in pripravijo stroj za začetek proizvodnega procesa.

Ko je stroj pripravljen za serijsko proizvodnjo, je treba zagotoviti tudi spremljanje kakovosti izdelave med procesom (angl. *In-process control*). Z ustrezno izbiro tehnologij se lahko zagotovi sprotna kontrola in s tem ustrezno avtomatsko ukrepanje ob odstopanju od zahtevanih toleranc. Merilni sistemi se lahko ustrezno avtomatizirajo, kar omogoča avtomatske korekcije na stroju in s tem zanesljivejše in hitrejše upravljanje procesov. Po končanem proizvodnem procesu se izvajajo še neodvisne meritve (angl. *Post-process monitoring*) na izbranih proizvodih, s čimer v podjetju zagotovijo končno in neodvisno kontrolo izven proizvodnje.

Ob upoštevanju vseh navedenih ravni in ob ustreznem vključevanju merilne opreme v same procese se celoten proces kontrole proizvoda, od vpeljave v proizvodnjo do odpreme iz proizvodnje, v celoti avtomatsko obvladuje. To se izraža v optimizaciji časovne komponente, pa tudi v kakovosti proizvodov in učinkovitosti proizvodnje.



Slika 1: Piramida procesov

## 2.2 Rezultati

Da bodo podjetja lahko dosegla celovito optimizacijo proizvodnih procesov, bodo morala vpeljati tehnologije na vseh ravneh, kot je opisano v piramidi procesov.

Glavni cilji, ki so se izoblikovali skozi sodelovanje in spremljanje proizvodnih podjetij, so:

### 2.2.1 Celovita kontrola nad kakovostjo proizvodnega procesa

Vse se začne pri obvladovanju proizvodnih orodij. Če se orodja za proizvodnjo obvladujejo, potem se podjetja lahko usmerijo k cilju zagotavljanja ustreznih količin in kakovosti proizvodov, kot je bilo dogovorjeno s kupcem. Vendar se je treba zavedati, da je v procesu proizvodnje veliko dejavnikov, ki jih je treba nadzorovati, sicer so možna odstopanja od začrtanih kakovostnih ciljev, ki so si jih podjetja postavila pred začetkom proizvodnje.

### 2.2.2 Popolno zavračanje slabih proizvodov

Ob pravilnem načrtovanju in vpeljavi tehnologij v proizvodne procese se podjetja lahko izognejo dodatnim stroškom, ki se pojavijo zaradi izmeta. Z ustreznim pristopom so lahko vsi procesi znotraj proizvodnje pod ustrezno kontrolo, kar omogoča spremljanje gibanja odstopanj in ustrezno sprotno korekcijo. S tem se podjetja izognejo nepotrebnim zastojem in dodatnim stroškom zaradi potrebne izvedbe korektivnih ukrepov in posledično zastoja proizvodnje.

### 2.2.3 Obvladovanje in obdelava podatkov za odločanje

V okviru strategije pametne tovarne je eno izmed ključnih področij obvladovanje podatkov in njihova ustrezna uporaba. S tem ciljem tudi tehnologije ustrezno komunicirajo s stroji in omogočajo prenos vseh potrebnih podatkov v mrežo ter s tem možnost, da se ustrezno obdelajo in omogočijo uporabnikom, da se ustrezno odzovejo in sprejmejo potrebne odločitve. Prednost sodobnih rešitev je, da ob ustrezni namestitvi na stroje oziroma poleg njih omogočajo komunikacijo med samim proizvodnim procesom ter s tem zagotovijo že sprotno korigiranje parametrov na strojih. Z vsem tem podjetja ne izgubljajo dragocenega časa in virov, ki so potrebni za izvajanje korektivnih ukrepov.

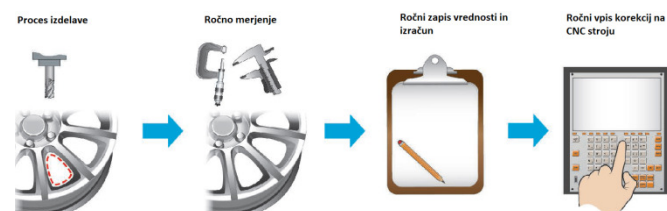
### 2.3 Primeri iz prakse kot dokaz smiselnosti vpeljave novih tehnologij

V zadnjih letih na področju vpeljave novih tehnologij zaznavamo velike premike. Primeri dobre prakse nam kažejo, da se ob ustrezno in profesionalno pripravljenem projektu lahko pokažejo rezultati takoj in da v zelo kratkem času upravičijo investicijo. Za dobro izvedenim projektom morajo stati projektne skupine, ki jih sestavljajo nosilci procesov na strani investitorja in nosilci tehnologij na strani ponudnika. Osnova dobro pripravljene projekta je pregled stanja v proizvodnji in natančen popis procesov ter specifik, ki jih ima vsak proizvodni proces. Po popisu procesa je treba izvesti scenarij, kaj in kje nam nove tehnologije omogočajo, da optimiramo proces in tako izboljšamo kvalitativno in kvantitativno shemo procesa.

V nadaljevanju je prikazan eden izmed primerov delovanja proizvodnega podjetja s klasičnimi metodami spremljanja kakovosti. Sledi primer vpeljave sodobnih merilnih sistemov.

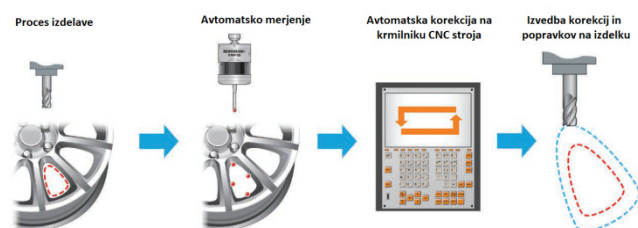
Podjetje se je pred uporabo naprednih tehnologij na obdelovalnih strojih posluževalo ročnih tehnik merjenja in korigiranja proizvodnega procesa. Zaradi seštevka vseh napak, ki so se pojavljale med ročnim postopkom pri tem procesu, je moralo podjetje v večini primerov obdelavo platišč izvesti

dvakrat, da so lahko dosegli zahtevane tolerance v razredu od  $\pm 0,05$  mm do  $\pm 0,10$  mm. Izmet na letni ravni je bil 705 kosov oziroma 3 % celotne proizvodnje platišč. Zelo velik dejavnik pri izdelavi je bil tudi sam proizvodni čas. Podjetje je za izdelavo enega platišča potrebovalo 27 minut.



Slika 2: Klasičen proces kontrole v proizvodnji

Po celovitem posnetku stanja v proizvodnji in postavitvi projektnih ciljev se je vpeljava sodobnih tehnologij izkazala za izjemno pametno odločitev. Rezultati vpeljave avtomatskega sistema na obdelovalnem stroju so prinesli 80-odstotno znižanje ponovljenih obdelav na izdelkih. Izmet se je povsem izničil. Celoten čas proizvodnega cikla za eno platišče se je skrajšal za 48 %, hkrati pa se dosežajo na izdelku tolerance pod  $\pm 0,02$  mm.



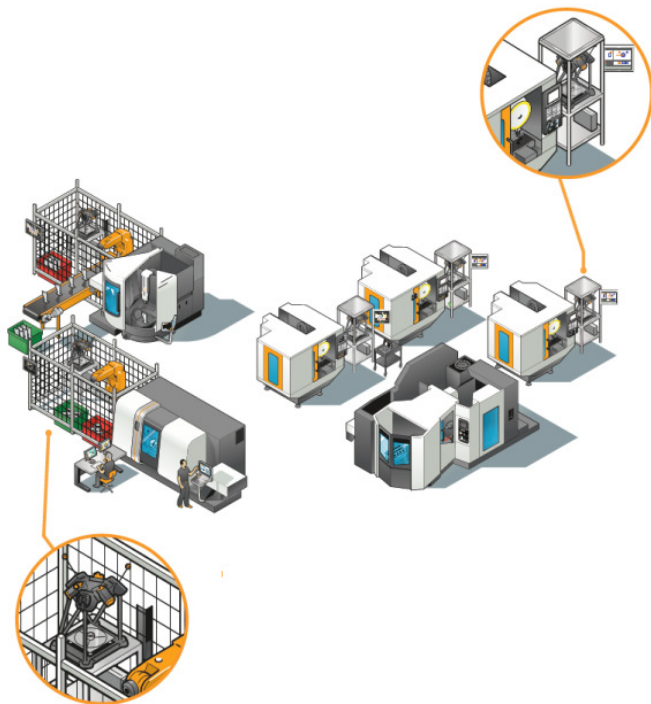
Slika 3: Avtomatski proces kontrole v proizvodnji

Poleg omenjenih izboljšav je vpeljava novih tehnologij podjetju prinesla še:

- povečanje avtomatizacije in zmanjšanje vpliva človeškega dejavnika na proizvodni proces,
- povečan izkoristek in s tem razpoložljivost proizvodnih kapacitet podjetja,
- skrajšanje dobavnih rokov in posledično izboljšanje odnosov s kupci.

Podobno strategijo vpeljave naprednih tehnologij lahko izvedemo na vseh ravneh piramide procesov. Na spodnji sliki je prikazana ideja lokalne avtomatizacije proizvodnih celic s ciljem povezovanja teh celic v skupen nadzorni sistem.

Vsa komunikacija med posameznimi proizvodnimi celicami poteka sproti (v realnem času). Odgovorni v podjetju imajo tako lahko pod nadzorom proizvodne procese in hkrati ustrezno sledijo dinamiki doseganja proizvodnih planov, tako kvalitativnih kot kvantitativnih.



Slika 4: Integracija proizvodnih celic v celovit sistem nadzora in upravljanja v podjetju

### 3 SKLEP

Proizvodna podjetja po vsem svetu se soočajo s pritiski kupcev, da poleg najkonkurenčnejših cen zagotavljajo še najboljšo kakovost izdelkov. Vse te cilje je mogoče dosegati tudi ob vpeljavi tehnologij za kontrolo kakovosti v sami proizvodnji. Avtomatizirani procesi kontrole omogočajo podjetjem optimizacijo proizvodnih ciklov in s tem pomemben vpliv na proizvodne stroške. Hkrati uporaba vseh pridobljenih informacij omogoča odločevalcem v podjetjih izhodišče za planiranje procesov s ciljem dolgoročne optimizacije in konkurenčnosti podjetja.

Viri:

- [1] Spletna stran: <http://www.renishaw.com>
- [2] Interni dokumenti podjetja Renishaw
- [3] Bledowski, K.: The Internet of Things: Industrie 4.0 vs. the Industrial Internet, 2015.
- [4] Spletna stran: <http://www.plattform-i40.de>
- [5] Spletna stran: [www.foodengineeringmag.com](http://www.foodengineeringmag.com)

# 11. INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

**Drugi dan**

**Dvorana 1**

Portorož, 3. in 4. junij 2019



## RECONCELL: POTREBA PO VARNI PRILAGODLJIVOSTI ZA INDUSTRIJO!

Michael Pravits<sup>1</sup>, Aleš Ude<sup>2</sup>, Igor Kovač<sup>2</sup>, Miha Deniša<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pilz Ges. m. b. H.

<sup>2</sup>Inštitut Jožef Stefan

### IZVLEČEK

Inštitut Jožef Štefan je razvil visoko fleksibilno, rekonfigurabilno in modularno robotsko celico, ReconCell, v skladu z zahtevami, ki jih potrebuje za paradigmo Industrija 4.0.

Ta rekonfigurabilna robotska celica predstavlja proizvodno celico z najvišjo stopnjo prilagajanja izdelkom, ki jih je potrebno obdelati.

ReconCell je popolnoma prosto konfigurirljiva celica, ki se lahko rekonfigurira in v kateri sta 2 robota, pasivni heksapodi kot pritrilni elementi, P&P vmesniki, togi prilagodljivi okvir za spremembo funkcije celice, da se samodejno prilagodi različnim izdelkom.

Vendar pa je za distribucijo te celice v Evropski uniji treba upoštevati zakonske zahteve glede varnosti.

Tu je podjetje Pilz pripravilo oceno tveganja za Inštitut Jožef Štefan in razvilo varnostni koncept, pod pogojem, da se fleksibilna funkcija same celice ne spremeni.



## A Reconfigurable robot workCell for fast set-up of automated assembly processes in SMEs

Presented by:  
Aleš Ude  
Jožef Stefan Institute



## Motivation for the ReconCell project

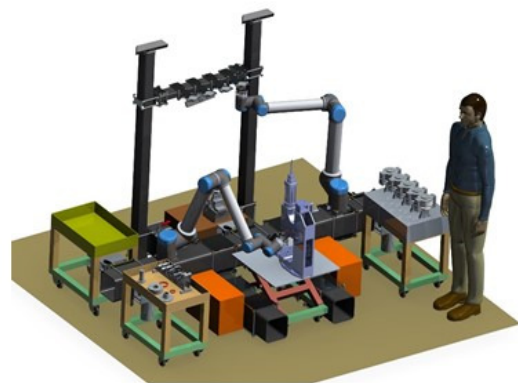
- Only ca. 20 % of production is performed by robots
- Robots are used primarily for large batch size production
  - Most SMEs, however, do also ‘few-of-a-kind’ production
- Set-up times for automated robot solutions are still too long → robot solutions are expensive
  - Require engineering knowledge about assembly processes
  - Require programming skills
  - Vision is still an issue
  - Require a lot of fine-tuning by trial and error
  - SMEs avoid the use of robots because of these complexities and costs
- Assembly is still done manually
  - Production moves to ‘low wage countries’
  - Risk: Engineering knowledge follows production



Typical industrial assembly problem

## Objectives

- Design a new kind of a **reconfigurable robot workcell**.
- Attractive not only for large production lines but also **few-of-a-kind production**, which often takes place in SMEs.
- Enable fast **reconfiguration** and **re-programming** of the workcell using innovative robotics technologies.
- Reconfiguration and re-programming through well designed **user interfaces** to perform new assembly tasks.
  - Reduce reliance on experts.



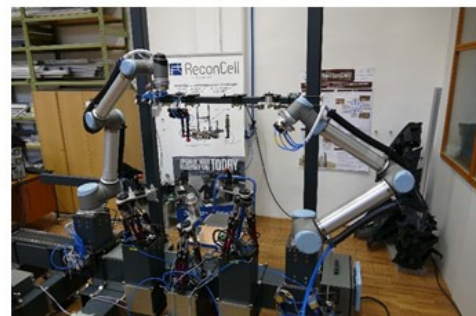
## Main features of ReconCell

- Integration of:
  - Smart, affordable reconfigurable workcell design
  - Programming by demonstration, a teaching interface to guide the user
  - Learning and adaptation capabilities, force control
  - 2D & 3D vision, visual monitoring
  - Cooperative autonomous robots
  - Robot assembly cell simulation and visual robot programming
  - Business modelling technologies
- Evaluation on real use cases provided by SMEs



## Workcell design & use cases

- Practical implementation of the workcell
  - *Key partners:* JSI, MMI, SDU, UGOE, HERMIA
  - *Key technologies:* 3D vision and monitoring, programming by demonstration, force control, simulation & reconfigurations, business intelligence
- Three use cases as examples of typical assembly problems in SMEs will be used to guide the design process
  - *Assembly of an automotive light (ELVEZ)*
  - *Assembly of a gripper for a wall-mounting robot (Precizika Metal)*
  - *Final assembly & customization of drive systems and control boxes (LogicData)*
- Preparation for exploitation
  - *Key partner:* Blue Ocean Robotics





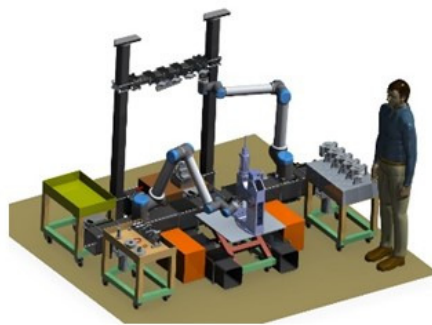
## ReconCell: The need of SAFE flexibility for Industry

Presented by:  
Pravits Michael BSc. MSc.  
Pilz Ges. m. b. H.



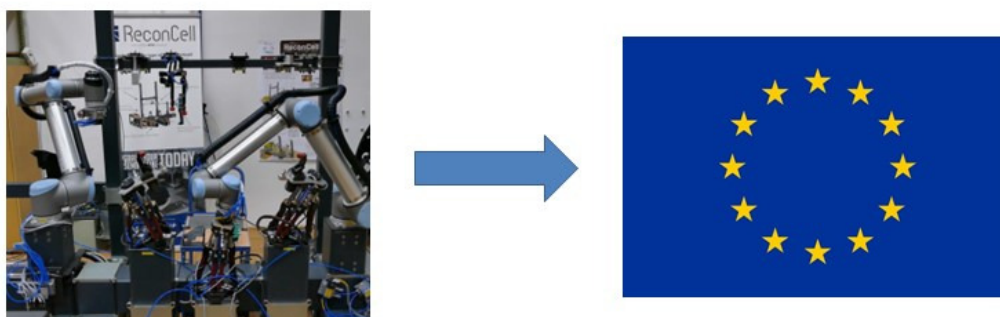
### Project ReconCell for Pilz

- IJS contact Pilz for doing a HRC feasibility study
  - In that case Pilz only had a few informations about the cell
    - Two HRC capable robots where used and CE is needed



## Project ReconCell for Pilz

- The issue now for IJS, is what are they supposed to do, to bring the ReconCell on EU market



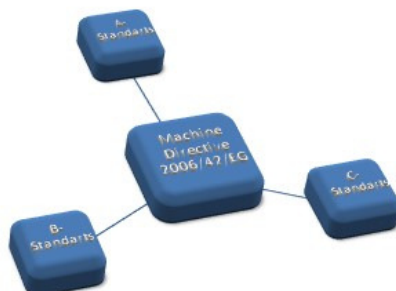
PILZ

3



## Project ReconCell for Pilz

The Central Theme (Ger.: Der rote Faden, Slo: rdeča nit):



In the English navy all the ropes of the royal fleet, from the strongest to the weakest, are spun in such a way that a red thread passes through the whole, which one can not wriggle out without dissolving everything.

This should show that even the smallest pieces are indicated that they belong to the crown.

PILZ

4



## Project ReconCell for Pilz



## Project ReconCell for Pilz

- Next step for IJS is now implementation of safety actions
- After implementing IJS should do a validation of their safety concept
  - Every part is working
  - Presumptions of faults
- Documentation is needed
- CE Marking on the cell

## ROBOTSKA CELICA ZA REZKANJE TERMOIZOLACIJSKIH ELEMENTOV

Peter KEREČ<sup>1</sup>, Aleš KLUN<sup>1</sup>, Robert LOGAR<sup>1</sup>, Nejc PREGLJ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ABB d.o.o.

<sup>2</sup>Isomat d.o.o.

### IZVLEČEK

*Isomat d.o.o. je visoko specializirano tehnološko podjetje, kjer razvijajo inovativne in trajnostne rešitve s področja termalne izolacije. V letošnjem letu smo skupaj razvili in zagnali drugo robotsko celico za izrezovanje termično izolativnih elementov posebnih oblik iz mineralne volne. Robotska rešitev vključuje kreiranje trajektorij za rezkanje v okolju MasterCam in nato prenos v ABB RobotStudio, kjer robotski programi za obdelovanje dobijo končno obliko.*



INDUSTRIJSKI FORUM IRT 2019, 3. IN 4. JUNIJ 2019

### Robotska celica za rezkanje termoizolacijskih elementov

V podjetju ISOMAT d.o.o

Peter Kerec, Aleš Klun, Robert Logar, ABB d.o.o.

---

## Robotska celica za rezkanje termoizolacijskih elementov

V podjetju Isomat d.o.o.

### Naslov:

Robotska celica za rezkanje termoizolacijskih elementov

**Avtorji:** Peter Kerec, Aleš Klun, Robert Logar(ABB d.o.o.), Nejc Pregl (Isomat d.o.o.)

### Povzetek:

Isomat d.o.o. je visoko spcializirano tehnološko podjetje, kjer razvijajo inovativne in trajnostne rešitve s področja termalne izolacije. V letošnjem letu smo skupaj razvili in zagnali drugo robotsko celico za izrezovanje termično izolativnih elementov posebnih oblik iz mineralne volne. Robotska rešitev vključuje kreiranje trajektorij za rezkanje v okolju MasterCam in nato prenos v ABB RobotStudio, kjer robotski programi za obdelovanje dobijo končno obliko.

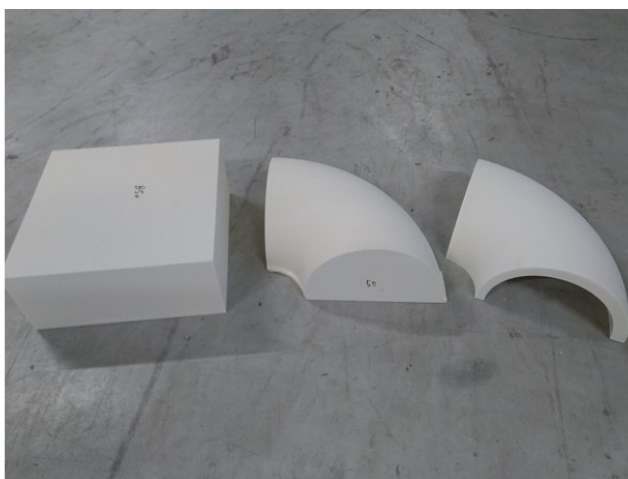
---

## Robotska celica za rezkanje termoizolacijskih elementov

Naloga – proces - izdelek

### Izdelava termoizolacijskih elementov

- Robotizacija v podjetju ISOMAT d.o.o.
- 3D robotsko rezkanje
- Prenos kode iz 3D modela v robotski program
- Cenejša in bolj prilagodljiva strojna oprema v primerjavi s CNC obdelavo
- Izdelava poljubnih kontur
- Izdelati čim več izdelkov z robotom

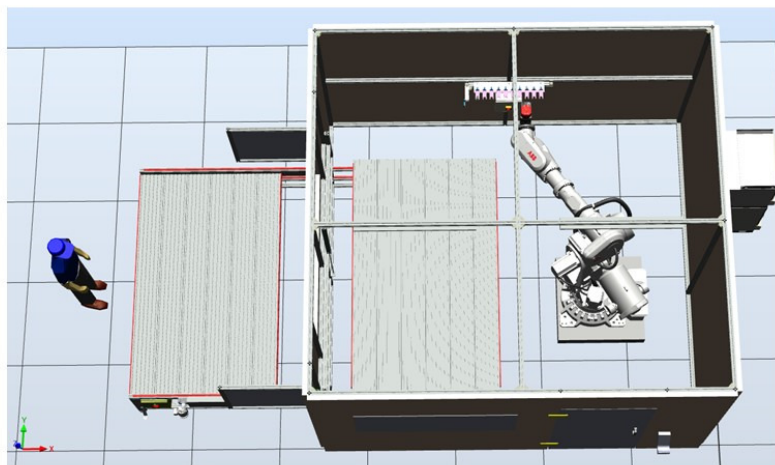


## Robotska celica za rezkanje termoizolacijskih elementov

Tloris robotske celice

### Opis delovnega procesa linije

- S pomočjo programa Mastercam in RobotStudio izdelamo program za ustrezen izdelek
- Delavec na vakuumsko vpenjalno mizo vpne izdelek
- Linearna dvonivojska miza
- Robot izbere ustrezno obdelovalno orodje



©ABB  
May 12, 2019

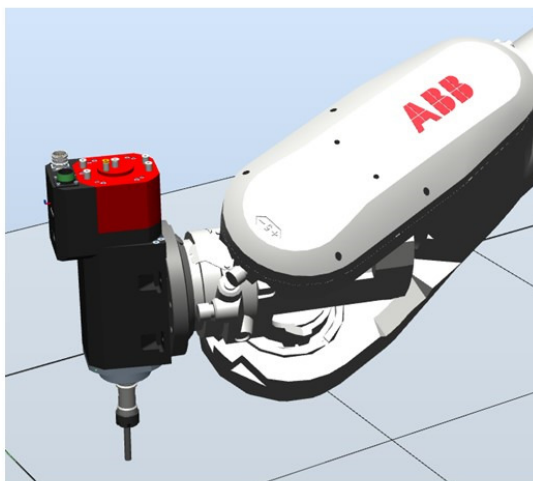
| Slide 4

ABB

## Robotska celica za rezkanje termoizolacijskih elementov

Visokoturni elektromotor

- Hlajenje z zrakom
- Avtomatska menjava orodij
- 3.6 KW
- 24.000 vrtljajev na minuto
- Natančno vpetje HSK E32



©ABB  
May 12, 2019

| Slide 5

ABB

---

## Robotska celica za rezkanje termoizolacijskih elementov

Izvedena robotizacija - zaključek

### Doseženi zahtevani obratovalni parametri in kakovost izdelkov

- Možna izdelava več različnih izdelkov
- Cenovno ugodna rešitev



## STREGA STROJEV V VISOKOPRODUKTIVNI PROIZVODNJI

Hubert KOSLER<sup>1</sup>, Aljoša ZUPANC<sup>1</sup>, Damian ŠIRAJ<sup>2</sup>, Erih ARKO<sup>2</sup>, Damir SMAILOVIĆ<sup>2</sup>,  
Matej MERKAČ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yaskawa Slovenija d. o. o.

<sup>2</sup>Yaskawa Ristro d. o. o.

### IZVLEČEK

Proizvodnja linija je opremljena s petimi robotskimi celicami s skupaj desetimi roboti, ki so opremljeni z univerzalnimi servo robotskimi prijemači za posluževanje s preko 300 tipi izdelkov. Umestitev robotskega posluževanja v proces izdelave katalizatorjev zagotavlja visoke taktne čase delovanja proizvodnje linije, enostaven prehod med različnimi tipi izdelkov, ter obvladovanje neponovljivih pozicij odvzema s pomočjo 3D robotskega vision sistema. Robotizacija strege strojev v visoko produktivnih proizvodnjah zahteva v postopku načrtovanja dinamično ekipo, interdisciplinarno povezovanje in optimalne rešitve.

### 1 UVOD

Naloga projekta je bila umestitev robotskega posluževanja v ključni del procesa izdelave katalizatorjev, to je v proces nanašanja katalita. Za podjetje Johnson Matthey smo že robotizirali dve proizvodnji liniji v tovarni v Skopju v Makedoniji. Na robotskih celicah smo uvedli nove rešitve, ki jih je podjetje uporabilo tudi na proizvodnih linijah v drugih državah. Spremenili smo koncept robotskih prijemač in jih opremili s servo motorji Yaskawa – zunanja robotska os. Omogočen je nadzor nad pozicijo prijemačnih prstov po celotnem delovnem območju in prijemanje izdelkov s kontrolo sile vpetja.

Zamenjali smo Vision sistem. Uporaba 3D kamer na principu triangulacije ponuja veliko prednosti pred 2D kamerami v smislu robustnosti prepoznave izdelkov. Z načinom programiranja smo omogočili boljši izkoristek prostora traku peči. Sodelovanje smo nadaljevali z robotizacijo on-line 100% kontrole izdelkov na eni liniji v Makedoniji (Backpressure machine tending) in robotizacijo dveh proizvodnih linij v tovarni na Poljskem.



Slika 1: Različne oblike izdelkov – Katalitov, ki se izdelujejo na avtomatizirani liniji

### 2 TEHNIČNO TEHNOLOŠKE ZAHTEVE

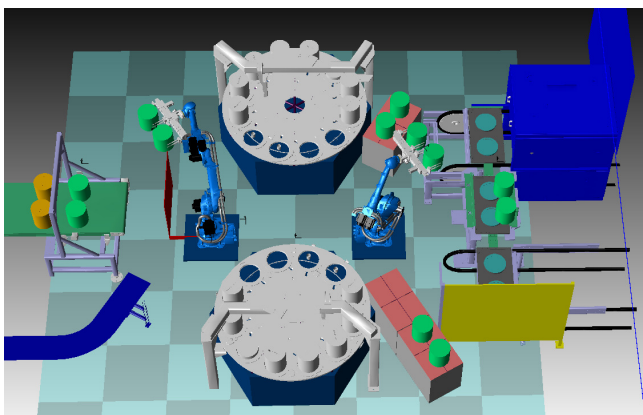
Katalizatorji so zelo občutljivi in krhki izdelki, zato sta natančno prijemanje in odlaganje ključnega pomena. Istočasno pa je potrebna kar največja produktivnost sistema. Izdelki, za katere je zasnovana robotska linija so okrogli oziroma eliptični valji. Sistem mora delovati tudi pri temperaturi do 55 °C, v zraku so kislinke pare in fin keramični prah.

Proces izdelave katalizatorjev je razdeljen v tri korake. V prvem se na substrat nanese katalit z ene strani in se v prehodni komori posuši. V drugem koraku se izdelek obrne, nanese se katalit z druge strani, sledi sušenje v prehodni komori. V tretjem koraku se izdelek termično formira v pretočni peči. Za vsak korak izdelave je za strego strojev in manipulacijo z izdelki zahtevana robotska manipulacija.

Na izhodu iz peči je izdelek končan. Za določitev pozicije izdelka na traku smo uporabili 3D Vision sistem, ki z dvema kamerama pokriva širino traku 1600mm. Izdelke se prenese na trak, ki jih vodi v liniji na kontrolo in ročno pakiranje.

Vključitev robotov za strego v proizvodnjo linijo zajema štiri robotske celice za posluževanje strojev.

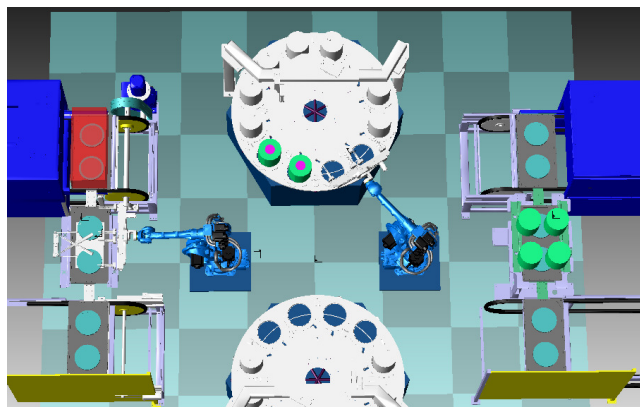
### 3 ZASNOVA ROBOTSKIH CELIC



Slika 2: Robotska celica 1

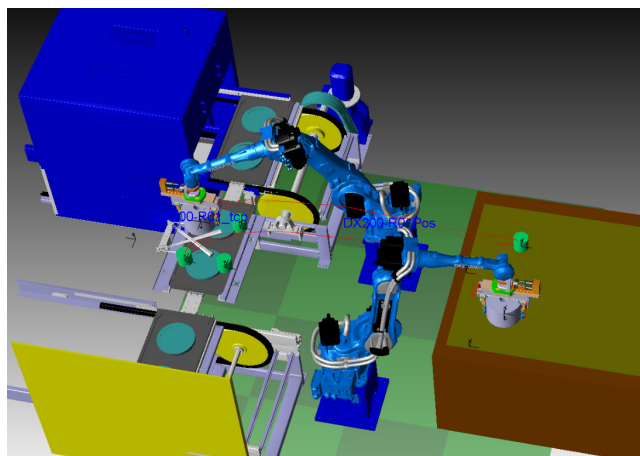
Prva robotska celica. Prvi robot z dvojnimi prijemalom prevzema izdelke iz vstopnega traku, ju obrne in prenese na gnezda rotacijske mize, ki transportira izdelke skozi proces nanosa katalita. Drugi robot na izstopni točki rotacijske mize odvzame par izdelkov in ju prenese na paleto komore za sušenje, ki povezuje robotsko celico 1 in 2.

V robotski celici 2 se nanese katalit še na drugo stran substrata. in Zasnova delovanja robotov je enaka kot v robotski celici 1.



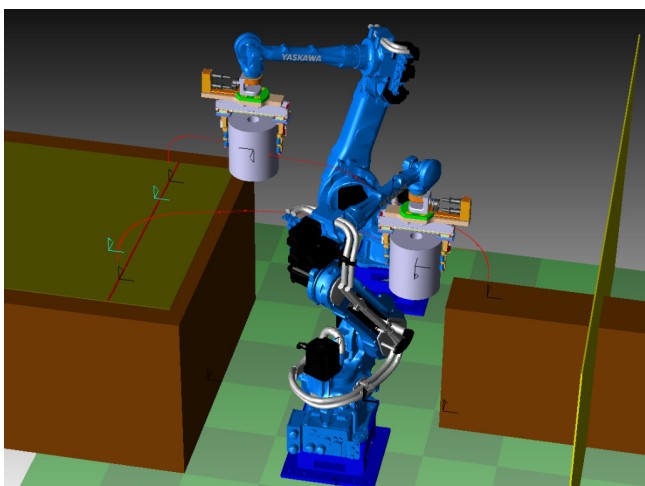
Slika 3: Robotska celica 2

V robotski celici 3 sodelujeta dva roboti, ki odvezmeta posušene kose iz drugega koraka in jih zlagata na kovinski trak na vstopu v peč. Optimalen izkoristek peči narekuje čim gostejše zlaganje obdelovancev. Roboti si delita skupni odzemni in odlagalni prostor. Fleksibilnost in izkoristek prostora se doseže z uporabo enojnih prijemal s prijemanjem izdelka odzgoraj.



Slika 4: Robotska celica 3

Na izstopu iz peči je naloga dveh robotov, da odvezmeta izdelke s kovinskega traku in jih preneseta na izstopni trak, ki se giblje s hitrostjo 10 m/min. Za določitev položaja izdelkov na kovinskem traku širine 1600 mm se uporablja Vision sistem z dvema 3D kamerama. Trak se pomika s hitrostjo 0,4–1,2 m/min.



Slika 5: Robotska celica 4

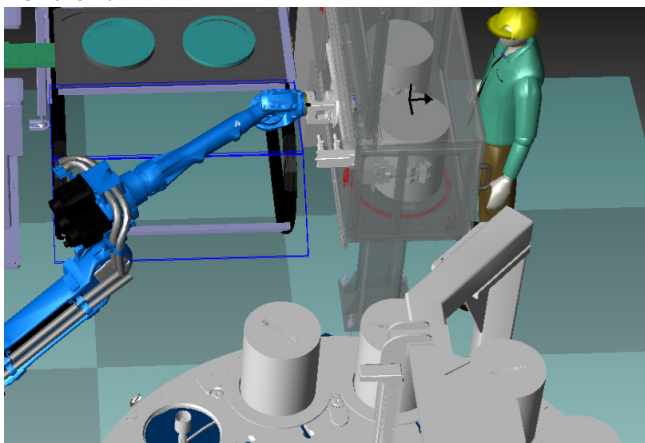
#### 4 NOVE ZAHTEVE ZA ROBOTIZACIJO

Proizvodnja na Poljskem je zasnovana za večje in težje izdelke in vključuje nove elemente v robotskih celicah.

Robotske celice so zasnovane za izdelke s premeri od 50 do 330 mm in višino od 50 do 381mm. Skupaj se v liniji obdeluje preko 300 tipov različnih izdelkov. Največja masa posameznega izdelka je 25 kg.

Uporabili smo robote Motoman tip MS80W z nosilnostjo 80kg in posodobili zasnovo robotskih prijemal – na novi linijah se uporablja samo še dve različni obliki prijemal: dvojno prijemalo za horizontalno prijemanje, ter enojno prijemalo za vertikalno prijemanje izdelka.

Poleg robotov smo zasnovali in dobavili tudi enote za kontrolo izdelkov za robotsko celico 1, 2 in 3 (QC station). Enote so namenjene robotskemu izločanju kosov za kontrolo in ponovnemu vračanju izdelkov v proces po kontroli.



Slika 6: QC station v robotski celici 1 in 2

QC station v robotski celici 1 in 2 je zasnovana za hkratno odlaganje dveh izdelkov, v robotski celici 3 pa za en izdelek. Gnezda za izdelke so ročno izmenljiva. Izdelek je opremljen z DMC kodo. Skozi celotni proces izdelave se orientacija izdelka ohranja in na vhodu v proces se na posameznih strojih prepozna izdelek z branjem kode. Ob vračanju izdelkov operater poskrbi za ustrezno orientacijo izdelka v QC postaji.

Dobavili smo transportne trakove za izločanje slabih oziroma potencialno popravljivih izdelkov iz robotske celice 1 in 2. Izvedba trakov je upoštevala doseg robota in razpoložljiv prostor, rezultat analize z off-line simulacijo pa je omogočil iskanje optimalne rešitve.

Robotsko celico 4 smo zasnovali tako, da je pripravljena za nadgradnjo z dvema roboti in opremo za on-line 100% kontrole izdelkov (Backpressure test). Nadgradnje zadnje robotske celice se je že integrirala v dveh proizvodnih linijah in sicer v Makedoniji (uporaba robotov MH50II) in na Kitajskem na proizvodnji liniji, ki je identična linijam na Poljskem (uporaba robotov MS80W).

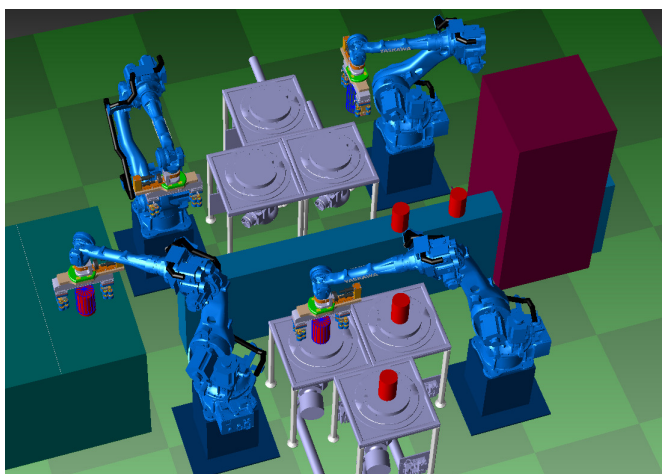
##### 4.1 Strega Backpressure testnih postaj

Umestitev dveh dodatnih robotov in uskladitev časov cikla proizvodnje, tako da strega enot za kontrolo sledi tudi najhitrejšemu času cikla izdelkov: 2,5s / izdelek. Poglobljena off-line analiza s simulacijo je osnova za umestitev novih enot v obstoječ koncept proizvodnje linije.

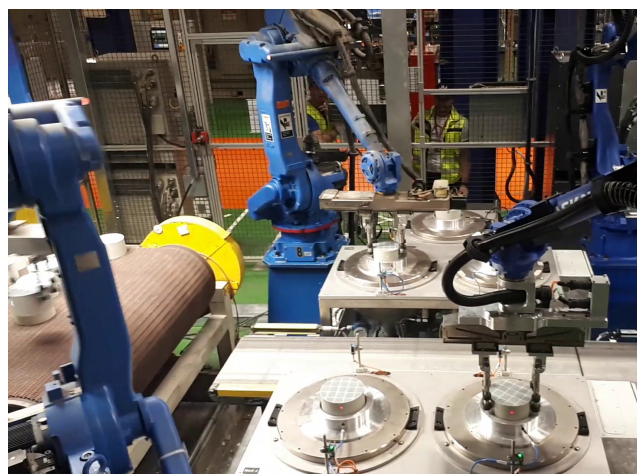
Robotska celica 4 ima dva načina delovanja:

- 100% kontrola se ne izvaja. Substrati iz pečice so nameščeni neposredno na izstopni transporter. Robot 9 in 10 sta v "Home" položaju in se ne premikata.

- Izvajanje 100% kontrole: Robota 7 in 8 odlagata substrate na enote za testiranje. Robota 9 in 10 substrate po testiranju odzmeta in jih odloži nazaj na izhodni trak robotske celice. Vsi izdelki (dobri in slabi) se odložijo na isti izhod in se izločijo na naslednji postaji.



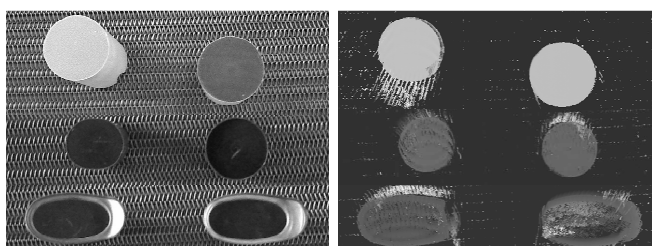
Slika 7: Robotska celica 4 s štirimi roboti za strego enot za izvajanje Backpressure testa za 100% kontrolo izdelkov.



#### 4.2 Robotske vid – 3D Vision sistem

V celici štiri je bil za določanje položaja katalizatorjev pred nalaganjem na trak uporabljen robotski vid. Njegovi nalogi sta ugotovitev položaja izdelkov za odvzem s tekočega traku na izstopu iz sušilne peči in nadzor pravilnega odlaganja na izstopni trak. Robotski vid omogoča zajemanje in obdelavo slike, zagotovljena je komunikacija med robotskim krmilnikom in slikovnim sistemom, omogočeno je izvajanje vzporednih opravil na robotskem krmilniku DX200 (parallel job), izključevanje sočasnega dostopa dveh robotov na isto mesto, preverjanje dostopnosti prijema pred odvzemu – izogibanje naletu (collision avoidance).

Za določitev položaja izdelka pri odvzemu je bila izbrana strukturirana osvetlitev, ki ima določene prednosti pred "klasično" sivinsko poslikavo.



Slika 8: Sivinska slika levo in sivinsko kodirana prostorska slika desno (sivina ustreza višini)

Zaradi narave tehnološkega procesa je trak kovinski, barva ali material izdelkov sta zelo podobna traku. Izbrani je pristop s strukturirano osvetlitvijo uporablja princip 2D-triangulacije in ob pomiku traku zajema prostorsko sliko prizora. Z izborom območja višine se preprosto izluščijo informacije, ki so nujne, npr. slika vrhne ploskve izdelka je super kontrastna in je dobra osnova za določitev vrednosti x, y, z oziroma položaja in usmerjenosti izdelka.

#### 5 SKLEP

Širok spekter dimenzij oziroma tipov izdelkov zahteva v postopku načrtovanja optimalne rešitve, interdisciplinarno povezovanje in dinamično ekipo. Ta je morala podrobno analizirati, preskusiti in optimizirati vse vsebinsko-tehnične vplivne dejavnike za doseg želenih ciljev.

Podpora kupca v vseh fazah projekta je pogoj za sodelovanje s podjetji, ki imajo v proizvodnjo razpršeno globalno. Prilagoditev robotizacije na nove tehnološke zahteve in iskanje novih rešitev v fazi priprave ponudbe. Pomembna je podpora po prodaji z zagotavljanjem zaloge ključnih komponent za takojšnjo dobavo, diagnostika napak z oddaljenim dostopom in 24-urna podpora in odzivnost.

Viri:

[1] <http://yaskawa.eu.com/>

## AVTOMATIZACIJA PROIZVODNJE V LIVARNI TITAN

**Oliver TOPIĆ, Darko PODRŽAJ**  
PS, d.o.o., Logatec

### IZVLEČEK

*V Livarni Titan, kjer so specializirani za proizvodnjo in obdelavo ulitkov, je bil način dela pred avtomatizacijo proizvodnje predvsem ročno brušenje ulitkov na kolutnih brusih in ročna strega CNC stružnic. Zaradi zelo težkega dela pri brušenju ulitkov so se v livarni odločili za uvedbo robotskih celic za brušenje ulitkov.*

*V prispevku je predstavljen razvoj robotskih celic za brušenje in razvoj robotskih celic za strego CNC strojev, ker je to v zadnjem času v številnih industrijskih procesih nepogrešljiv del moderne, ekonomične in predvsem človeku prijazne tehnologije. Zahteva za izdelavo takih robotskih celic je prišla od naročnika, ker je ročno delo zamudno, težko in človeku neprijazno, zato smo razvili robotske celice, kjer težko in monotono delo opravlja robot, hkrati pa zagotovimo velike serije izdelkov z nemotenim delom in brez prekinitev. Velike serije izdelkov sedaj naredijo v precej krajšem času. Skozi prispevek je opisan postopek načrtovanja takšnih robotskih celic.*

### 1 UVOD

V današnjem času je avtomatizacija procesov nepogrešljiv del vsake serijske proizvodnje. Glavni vzrok zakaj se podjetja odločajo za avtomatizacijo, je razbremenitev delavca, povečanje dobička, zagotavljanje kakovosti proizvodnje in predvsem skrajšati dobavne roke. Z optimizacijo proizvodnih procesov želimo povečati produktivnost, natančnost, ponovljivost in dvigniti nivo kvalitete izdelkom. Poleg tega želimo zaščititi delavca pred nevarnimi in težkimi pogoji dela. Veliko robotov opravlja težka dela, ki so za ljudi zelo neprijazna in nevarna. V proizvodnji se ljudje nahajajo v okoljih, kjer so prisotni vročina, umazanija. V livarni smo zato uporabili robote za brušenje in strego CNC strojev.

### 2 NAČIN DELA V LIVARNI PRED AVTOMATIZACIJO

Pred avtomatizacijo so v brusilnici vse izdelke brusili ročno na kolutnih brusih. Na mehanski obdelavi pa so ročno vstavljali izdelke/ulitke na obdelavo v CNC stružnice.

Zaradi zelo težkega ročnega dela pri brušenju ulitkov so se v livarni odločili za uvedbo robotskih celic za brušenje. Z avtomatizacijo in robotizacijo v livarni lahko delavci, ki so prej ročno brusili

ulitke sedaj opravljajo mnogo enostavnejše in manj zahtevno delo.



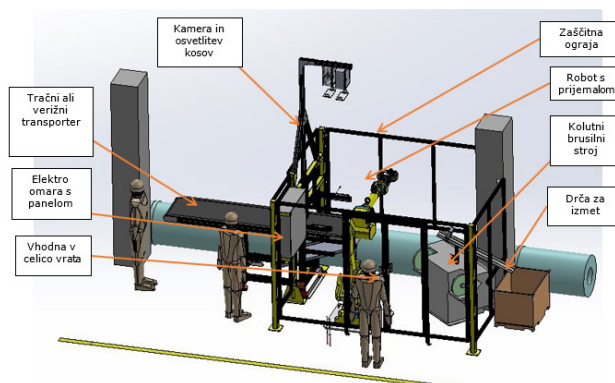
Slika 1: Ročno delovno mesto za brušenje

### 3. ZAHTEVE, KI SMO JIH DOBILI

Naročnik nam je predstavil in pokazal svojo proizvodnjo, kjer smo umestili robotske celice. Zahteve, ki smo jih dobili s strani naročnika so bile sledeče:

- postavitve robotske celice v brusilnico
- postavitve robotske celice v proizvodnjo mehanske obdelave

- v layout-u predvideti nadgradnjo in povečanje števila robotskih celic
- brusiti različne tipe izdelkov
- naredili robotsko strego CNC strojev za različne tipe izdelkov
- katere obstoječe brusilne stroje uporabiti
- predvideti uporabo obstoječega sistema za odsesavanje prahu
- minimalno število operaterjev za vse brusilne celice
- precej povečati število izdelanih izdelkov na izmeno zaradi krajših dobavnih rokov



Slika 3: Robotska celica za brušenje



Slika 2: Primer izdelkov za brušenje in obdelavo

## 4. IZVEDBA ROBOTSKIH CELIC

### 4.1 Robotska celica za brušenje ulitkov

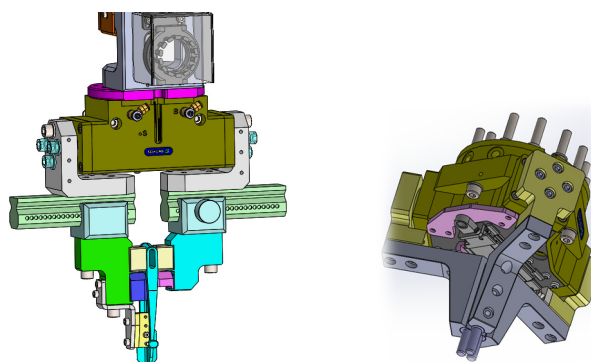
Robotska celica je namenjena brušenju različnih ulitkov z robotom. S pomočjo kamere pogledamo orientiranost izdelka na transportnem traku ali verižnem transporterju in ga z robotskim prijemalom primemo in odnesemo na pozicijo brušenja.

Robotska celica za brušenje je sestavljena iz naslednjih sklopov:

- robot z robotskim krmilnikom
- izmenljivo prijemalo za kose
- vhodni transportni trak ali verižni transporter z gnezdi
- zaščitna ograja z varnostnimi vrati
- elektro omara s panelom
- osvetlitev kosov z nastavljivimi lučmi
- drča za pobrušene kose

### 4.1.1 Prijemalo za brušenje

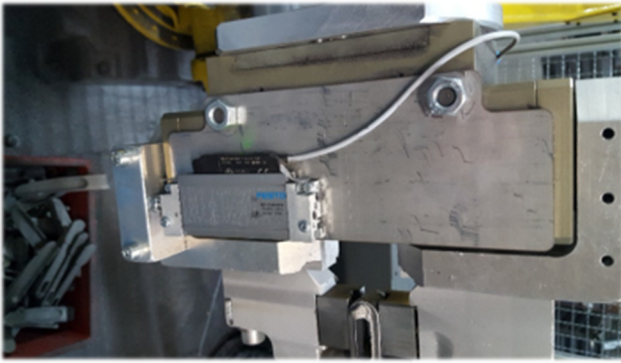
Na robotu je možno uporabljati paralelno ali triprstno prijemalo Schunk odvisno od tipa izdelka, ki ga brusimo. Prijemala so nastavljiva. Z zamenjavo prstov lahko pobiramo večino tipov izdelkov. Tip prijemala izbiramo tudi na panelu, ki služi kot opomnik operaterju ali tehnologu, katero prijemalo je v uporabi.



Slika 4: Paralelno in triprstno prijemalo za brušenje

### 4.1.2 Merilni sistem na prijemalu za brušenje

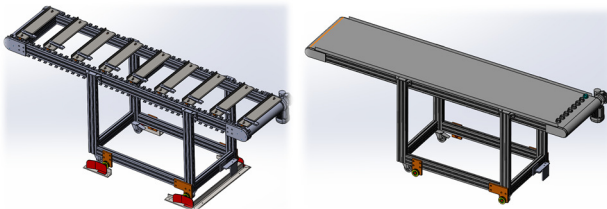
Za kontrolo pravilnega vpetja kosa so na prijemalu uporabljena mejna stikala. Stikala so nastavljena tako, da so aktivna v skrajnih legah prijemala. Za kontrolo pravilnega vpetja kosa je uporabljen zvezni merilec pomika Festo. Merilec pomika meri celotni hod prijemala z resolucijo desetinke milimetra. Pozicija se povečuje, ko gredo prsti narazen. Ker so ulitki med seboj različni, lahko s tolerančnim poljem vplivamo znotraj katerih mej je vpetje še dopustno.



Slika 5: Zvezni merilnik pomika prstov

#### 4.1.3 Dodajalni sistem za brušenje izdelkov

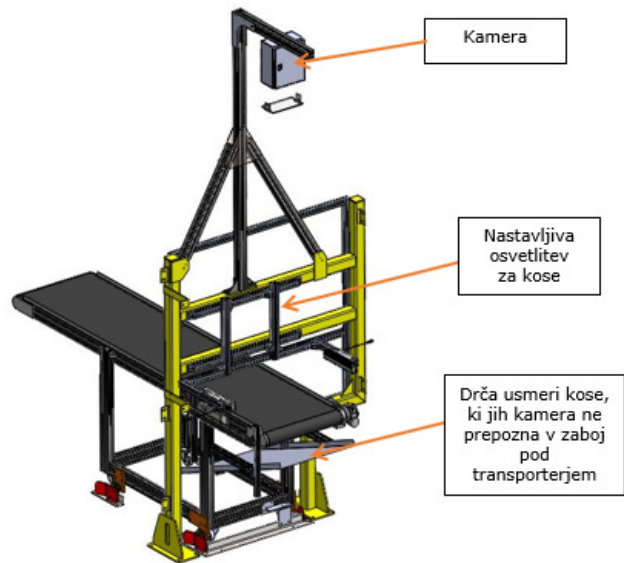
Za dodajalni sistem smo uporabili transportni trak ali verižni transporter, ki omogoča veliko avtonomijo robotske celice. Na transporterju se nahajata dve fotocelici. Fotocelica za detekcijo praznega transporterja skrbi za detekcijo praznega transportnega traku. Ta nam sporoča, da zmanjkuje kosov za obdelavo. Fotocelica na koncu transporterja služi za detekcijo kosov na koncu transporterja.



Slika 6: Verižni in tračni transporter

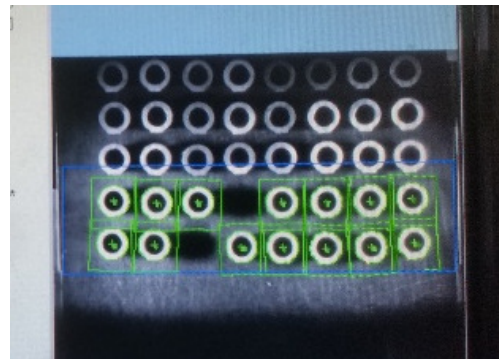
#### 4.1.4 Prepoznavanje izdelkov za brušenje

Ko kos prispe do končne fotocelice, se transporter ustavi in glavni krmilnik robotskemu krmilniku sporoči, naj sproži proces detekcije s kamero. V kolikor kamera kos pravilno prepozna, sporoči robotu njegovo pozicijo, nato ga robot pobere. Ko robot pobere kos, to sporoči krmilniku, ki ponovno sproži detekcijo s kamero. Ko kamera več ne zazna prisotnosti kosov, sproži pomik transporterja in cikel se ponovi.



Slika 7: Kamera in osvetlitev traku

Za prepoznavanje položaja in orientacije smo vgradili Fanuc iRVision sistem. Na koncu transportnega traku imamo posebno osvetlitev za kose, da kamera lažje prepozna obliko in orientacijo kosa.



Slika 8: Prepoznavanje kosov s kamero

#### 4.1.5 Delovanje robotske celice za brušenje

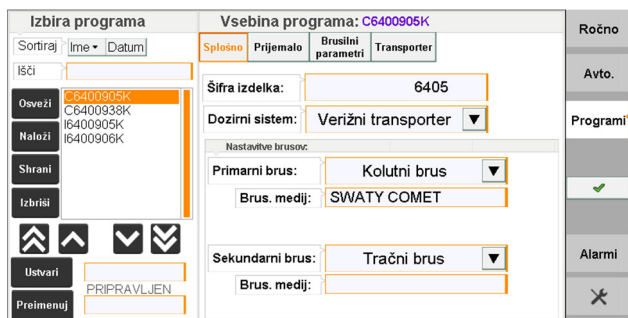
##### OPIS DELOVANJA:

- operater naloži oziroma sproti nalaga kose na tračni ali verižni transporter
- na koncu transporterja osvetlimo kose in preverimo pozicijo s kamero
- primemo kos z robotskim prijemalom
- odnesemo na pozicijo brušenja
- pobrusimo kos
- odložimo pobrušen kos na izhodno drčo

Robotska celica lahko deluje v ročnem ali avtomatskem režimu. Ročni režim je namenjen

testiranju posameznih komponent celice in upravljanju robota s teach pendantom. Ročni režim npr. uporabljamo pri programiranju robota za brušenje novih kosov. Pri avtomatskem režimu operater naloži kose na transportni trak, nato se cikel avtomatsko izvede dokler obdelan izdelek ne pade v zaboj.

Pri parametrih programa zavihek vsebuje splošne parametre in parametre povezane s prijemalom, transporterjem ter brušenjem kosa. Zavihek vsebuje 30 parametrov, ki se ciklično prenašajo na robotski krmilnik in so lahko uporabljeni v robotskem programu za brušenje. Vrednosti in vrste parametrov so lahko različne in se lahko poljubno določijo med pisanjem programa na robotskem krmilniku. Vrednosti se kopirajo v robotske podatkovne registre tipa R.



Slika 9: Stran za izbiro in nastavitve programa

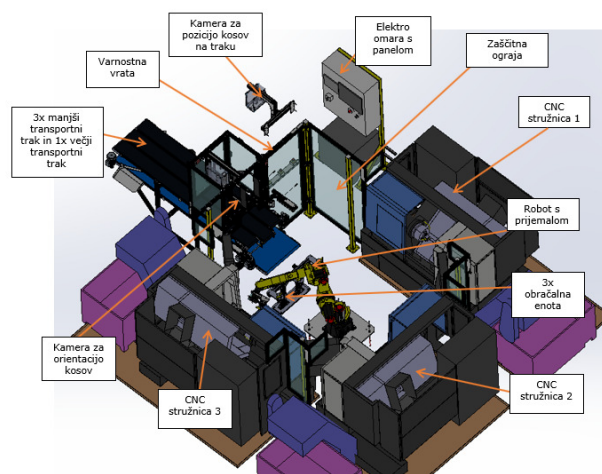
## 4.2 Robotska celica za strego CNC stružnic

Robotska celica je namenjena stregi treh enakih CNC stružnic. Za strego skrbi robot. Surovci v celico prihajajo po treh podajalnih transporterjih. Na vsakem transporterju so lahko različni tipi izdelka. Vsaki CNC stružnici je določen svoj transporter. Za izhod obdelovancev služi skupen izhodni transporter. Surovce na trak polaga operater, s traku pa jih s pomočjo kamere robot jemlje sam.

S pomočjo kamere robot tudi poskrbi za pravilen zasuk kosa, kar je pomembno pri vstavljanju kosa v vpenjalno glavo CNC stružnic. Za določen tip izdelka so dodane obračalne naprave, ki pravilno obrnejo kos za strego v stružnice.

Robotska celica za strego CNC stružnic je sestavljena iz naslednjih sklopov:

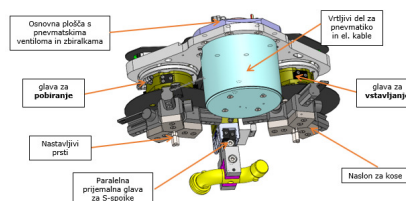
- robot z robotskim krmilnikom
- prijemalo s trojno glavo za manipulacijo izdelkov med tremi stružnicami
- 3x manjši vhodni transportni trak in en večji izhodni trak
- zaščitna ograja z varnostnimi vrati
- elektro omara z glavnim panelom
- osvetlitev kosov za nastavljivimi lučmi
- 2x kamera za pobiranje in orientiranje kosov
- 3x obračalna postaja
- 



Slika 10: Robotska celica za strego CNC strojev

### 4.2.1 Prijemalo za manipulacijo kosov

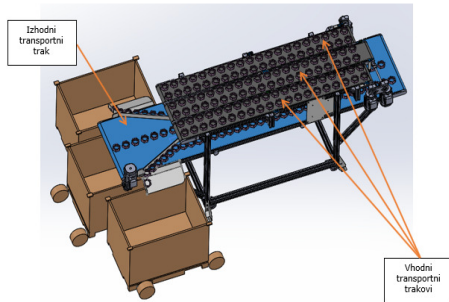
Robot je opremljen s prijemalom s trojno glavo. Glava, poimenovana »POBIRANJE« služi za pobiranje obdelanih kosov iz CNC strojev. Glava, poimenovana »VSTAVLJANJE« služi za vstavljanje surovcev v CNC stroj. Obe glavi imata mehansko nastavljiv odmik prstov, kar omogoča obdelavo večjega nabora surovcev z različnimi premeri. Tretja vpenjalna glava pa služi za pobiranje izdelkov, ki jih moramo preprijemat s transportnega traka in vstavljanje v obračalne postaje.



Slika 11: Trojno prijemalo na robotu

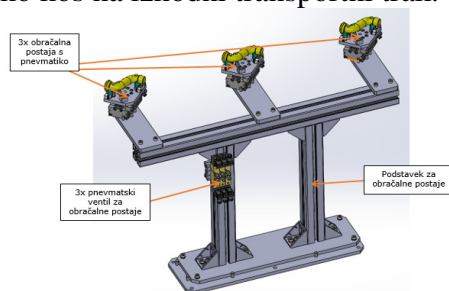
#### 4.2.2 Vhodni in izhodni transportni trakovi za strego stružnic

Vse tipe kosov, ki se obdelujejo na stružnicah jih operater zloži na 3 trakove. Vsak vhodni trak je namenjen svoji stružnici in na vsakem traku je lahko različen tip izdelka.



Slika 12: Vhodni transportni trakovi in izhodni transportni trak

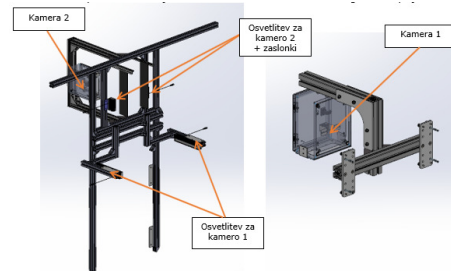
Kadar obdelujemo kose, ki jih moramo med prvo in drugo obdelavo obračati, s paralelno prijemalno glavo primemo te tipe izdelkov s transportnega traka in nesemo na obračalno postajo. Na obračalni postaji preprimemo kos in ga nesemo na 1. obdelavo v stružnico. Po 1. obdelavi nesemo kos nazaj na obračalno postajo in ga obrnemo ter primemo z drugo prijemalno glavo in nesemo na 2. obdelavo. Po drugi obdelavi odložimo kos na izhodni transportni trak.



Slika 13: Obračalne naprave

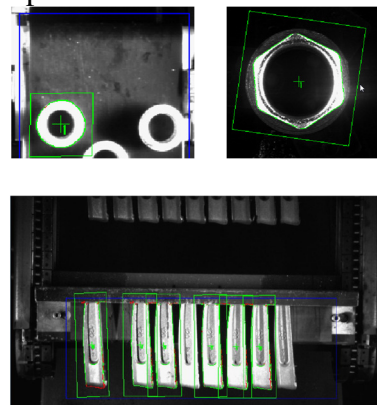
#### 4.2.3 Prepoznavanje izdelkov za strego stružnic

S kamero 1 prepoznamo pozicijo kosa na vhodnih trakovih. Kamero 2 rabimo za določene tipe izdelka, da jim lahko določimo še orientiranost glede na prijemalo.



Slika 14: Kameri in osvetlitev

Parameter robotskemu krmilniku poda informacijo, naj po končanem pobiranju surovca s transporterja, tega pokaže stranski kameri. To je potrebno storiti za kose, ki so na transporterju obrnjeni tako, da stropna kamera ne more prepoznati rotacije šest kotnika. Za kose, kjer je rotacijo šest kotnika mogoča že s stropno kamero ta opcija ni potrebna.



Slika 15: Prepoznavanje kosa

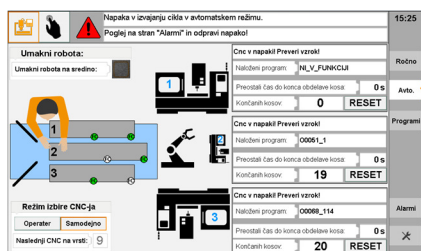
#### 4.2.4 Delovanje robotske celice za strego stružnic

##### OPIS DELOVANJA:

- operater naloži kose na transporterje
- na koncu transportnega traku osvetlimo kose in preverimo pozicijo s kamero
- kos primemo z robotskim prijemalom 1
- če nimamo določene orientiranost kosa, ga nesemo na pozicijo druge kamere in ga s pomočjo te kamere in osvetlitve orientiramo z robotom na prijemalu 1
- gremo na pozicijo vpenjalne glave v stružnici
- s prijemalom 2 prvo vzamemo že obdelan kos v stružnici
- s prijemalom 1 vstavimo nov kos v vpenjalno glavo

- s prijemalom 2 odnesemo končni izdelek na transportni trak
- kadar obdelujemo kose z dvema različnima obdelavama s tretjo prijemalno glavo primemo kos s transportnega traka in ga nesemo med 1. in 2. fazo obdelave na obračalno postajo
- po drugi obdelavi odložimo kos na izhodni transportni trak.

Robotska celica za strego CNC stružnic lahko deluje ravno tako v ročnem ali avtomatskem režimu. Na strani ročnega režima naložimo surovce na transportni trak in ga poženemo. Transporterji pomaknejo surovce do končnih fotocelic, nato se zaustavijo. Operater lahko tako ročno vzame kose s traku in jih ročno vloži v CNC stružnico.



Slika 16: Izbira komand na panelu

## 5. SKLEP

Z uvedbo robotskega brušenja so v livarni pridobili lažje delo za zaposlene delavce in delo brez prekinitev saj robot lahko dela 24 ur na dan vse dni v tednu brez prekinitev.

V proizvodnji imajo trenutno 4 robotske celice za brušenje in 2 robotski celici za strego CNC stružnic.

Vse štiri robotske celice za brušenje lahko poslužuje en operater.



Slika 17: Robotske celice za brušenje

Dve robotski celici za strego CNC, kjer je skupaj 6 stružnic lahko poslužuje en operater.



Slika 18: Robotska celica za strego CNC stružnic

## 6. NAČRTI V PRIHODNJE

Cilj v Livarni Titan je do leta 2020 postaviti vsaj 20 robotov oziroma robotskih celic v mehansko proizvodnjo za brušenje in obdelavo ulitkov. S to avtomatizacijo so, in bodo pridobili na mnogo področjih, predvsem na področju kvalitete, ker je kvaliteta različnih brušenih izdelkov konstantna in neodvisna od časa oziroma v kateri izmeni so izdelki narejeni.

Pridobili so tudi na produktivnosti. S produktivnostjo so znižali stroške in kar je danes najbolj pomembno so skrajšali čas od naročila do dobave. To pomeni, da so se dobavni roki bistveno skrajšali. S krajšimi dobavnimi roki pa pridobivajo tudi več naročil.



Slika 19: Robotske celice za brušenje

## 7 LITERATURA

- [1] Robotska celica za strego obdelovalnega centra, Boštjan Perovšek, Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani, Ljubljana 2014

## UNIKATNI DIMENZIJSKI MERILNI SISTEMI ZA REŠEVANJE KOMPLEKSNIH MEROSLOVNIH IZZIVOV

**Nejc DEMŠAR**

Vodja razvoja, LOTRIČ Meroslovje, d.o.o.

### IZVLEČEK

*Predstavitve dobre prakse razvoja po meri in reševanje specifičnih meroslovnih izzivov za izboljšanje kakovosti procesov. S prilagojenimi merilnimi karakteristikami, merilnim principom, nadgradnjami, konstrukcijo, stopnjo avtomatizacije in mestom vgradnje se zagotavlja visoka stopnja točnosti merjenja dimenzij in površin izdelkov, ki jih ni mogoče meriti s serijskimi merilnimi stroji.*

### 1 UVOD

Zaradi vse večjih zahtev kupcev, vse ostrejših standardov preverjan dobaviteljev ter smernic četrte industrijske revolucije se v različnih panogah industrije vse več pozornosti posveča kontroli kakovosti oz. dimenzijski ustreznosti specifičnih izdelkov. Z vidika merjenja lahko kot problematične štejemo izdelke velikih nazivnih mer – pločevinaste lamele, aluminijasti profili; izdelke iz specifičnih materialov – izolacija, pena, posebne vrste plastik ter specialne oblike izdelkov – velike cilindrične bale papirja, pločevine ... Vse več je tudi potreb po merjenju oz. zaznavanju prevelikih odstopanj površine – igla/srh na robovih, valovitost, ukrivljenost itd. Prav tako razvoj proizvodnjah procesov teži k zvečanju učinkovitosti postopkov kontrole kakovosti, ki se mora s čim višji frekvenco (v nekaterih primerih tudi sto odstotno) izvajati že med ali tik po določeni fazi v samem proizvodnem procesu. Obstajajo različni standardni predpisi za preverjanje dimenzijske ustreznosti. Nnamen "custom made" sistemov je avtomatizacija omenjenih predpisanih postopkov. Na trgu namreč ostaja nekakšna praznina med merjenjem izdelkov v laboratorijih pod strogimi okoljskimi pogoji ter merjenjem z vgrajenimi merilnimi sistemi na linijah (Built in). Po drugi strani je vse več potreb po razvoju sistemov za industrijsko merjenje, ki so zmogljivejši od ročnih merilnih orodij ter ob enem robustnejši in primernejši kot profesionalni, laboratorijski merilni stroji za laboratorijsko

merjenje (koordinatni merilni stroji, optični merilni stroji, komparatorji ipd.).



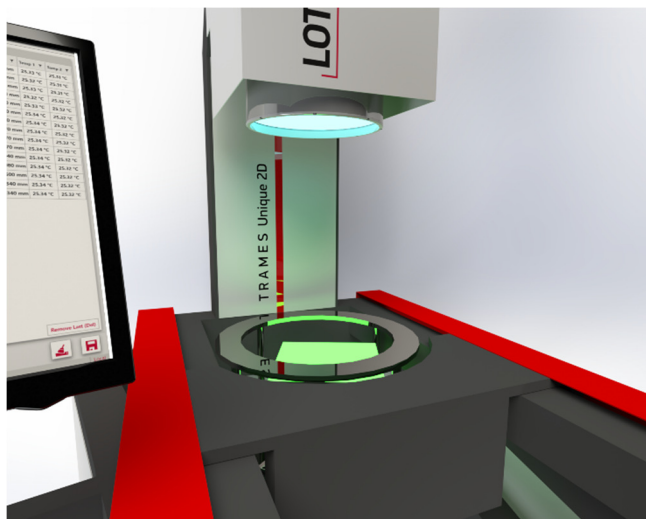
Slika 1: Primer specifične merjenja (pol)izdelkov.

### 2 KDAJ RAZVITI UNIKATEN MERILNI SISTEM?

- Lokacija in način merjenja – sistem nameščen znotraj proizvodnega procesa in ne v laboratoriju (proizvodnja, linija).
- Meroslovni nivo (zahtevnost) – nadgradnja ročnega merilnega orodja in poenostavitev profesionalnih merilnih naprav.
- (Pol)avtomatizacija merilnih postopkov in standardnih predpisov za kontrolo kakovosti z namenom doseganja večje ponovljivosti in zmanjševanja vpliva človeškega faktorja.
- Kontrola kontrole – preverjanje, kalibracija vgrajenih merilnih sistemov, nastavljanje rezalnih linij, strojev ipd.

- Kontrola kakovosti specifičnih izdelkov. Razvoj celotne merilne metode vključno z merilnim sistemom.

- skrb za napravo tekom celotne življenjske dobe (kalibracija, servis, OQ).



Slika 2: Primer unikatne merilne naprave s strojnim vidom (*Machine vision*).

Cilj je izgradnja kakovostne, visoko-tehnološke merilne naprave oziroma sistema, ki je v celoti prilagojen zahtevam uporabnika in izdelka.

### 3 POTEK RAZVOJA MERILNIH SISTEMOV

Razvoj in izgradnja potekata po v naprej definiranih stopnjah, glede na zahteve uporabnika, standardov, direktiv. Vsi sklopi so popolnoma prilagojeni in unikatni (mehanika, merilna zmogljivost, stopnja avtomatizacije, programska oprema ipd.).

Stopnje razvoja in izgradnje:

- vhodni parametri (zahteve uporabnika, standardov, direktiv),
- idejna zasnova,
- preverjanje/testiranje izvedljivosti,
- oblikovanje koncepta (Design qualification),
- izgradnja,
- kalibracija pred dobavo,
- postavitve in testiranje naprave,
- kalibracija na mestu uporabe,
- IQ (Installation qualification) in OQ (Operating qualification),

### 3.1 Vhodni parametri

Ključni del razvoja je podroben popis zahtev oz. določitev vhodnih parametrov. Vsi nadaljnji koraki temeljijo na vprašanjih: »Kaj merimo?« (predmet merjenja, dimenzija, oblika, površina, igla, ravnost, ukrivljenost) ter »Kakšno meroslovno zmogljivost potrebujemo?«. Nato definiramo merilni princip, vrednotenje rezultatov, obvladovanje podatkov, strego merilne naprave, stopnjo avtomatizacije ter posebne pogoje okolja (prah, vlaga, nečistoče, IP faktor). Na podlagi zbranih informacij nato zasnujemo koncept.

### 3.2 Izbira koncepta

Zaradi lažje zasnove predvsem pa večje fleksibilnosti se konceptualno naprave ločijo na:

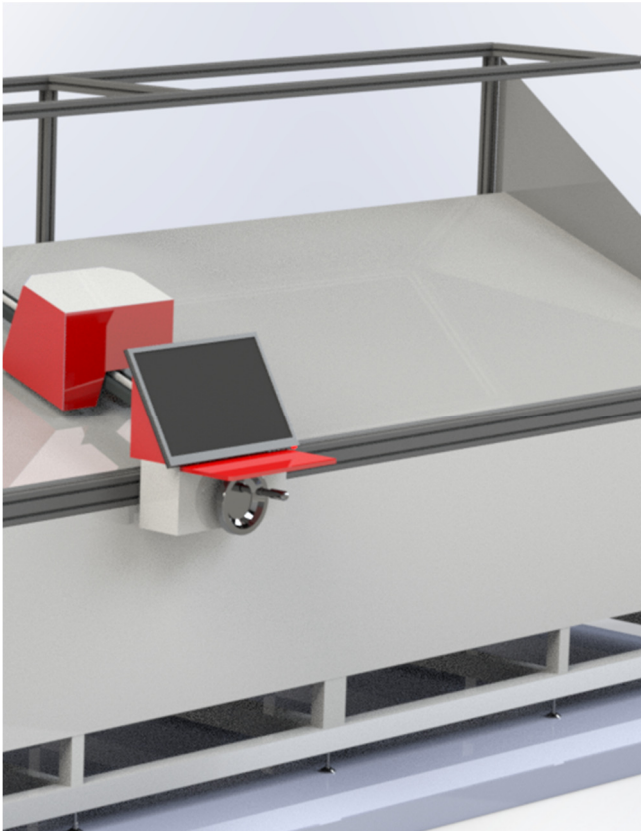
- Merjenje dimenzij v 1D, 2D ali 3D prostoru z možnostjo nadgradnje z različnimi ne-dimenzijskimi merilnimi sistemi (merjenje mase, sile, tlaka) – *TRAMES Unique*

in/ali

- kontrola površin v 1D, 2D ali 3D prostoru (skeniranje oblik, merjenje profilov, ukrivljenost, ravnost, merjenje igle, valovitosti)– *TRAMES Surface*.

### 3.3 Mehanika

Če se merilna sensorika, elektronika in programska oprema do neke mere gradijo modularno, slednje ne velja za mehanski oziroma konstrukcijski del. Tukaj gre za popolno prilagoditev glede na karakteristike izdelka, vgradnje in namen uporabe. Mehanski del je torej razvit in izdelan izključno za posamezen primer naprave. Merilna platforma, podporna konstrukcija, vpenjalni sistem, način avtomatizacije, precizna linearna vodila za pomik merjenca ali merilnih glav so posamezni unikatni sklopi vsakega sistema.



Slika 3: Optični merilni stroj na podporni konstrukciji dolžine 6 m.

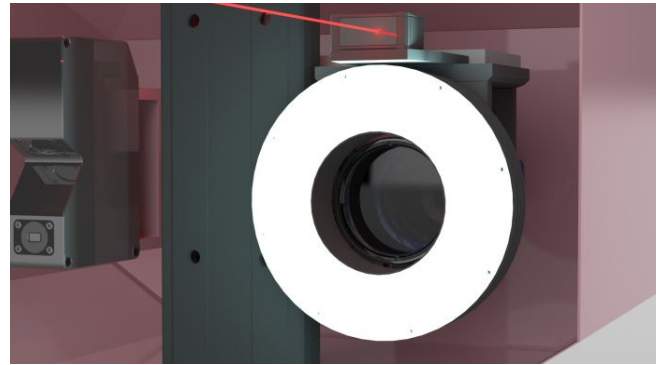
### 3.4. Merilna zmogljivost

Reševanje enostavnih in kompleksnih meroslovnih problemov je možno le z izbiro ustreznih meroslovnih principov in opreme. Ključni del razvoja prilagojenih merilnih enot je prav kompromis med kompleksnostjo merilne opreme in zahtevami uporabnika. Zmogljivost merilne opreme je tako pogojena z industrijskim okoljem, zahtevami merjenja ter preprosto uporabo. Cilj razvoja naprav je zmanjševanje vpliva človeškega faktorja na točnost in ponovljivost merjenja. Odvisno od zahtevnosti problema se izbira med naslednjimi tehnologijami za merjenje dimenzij:

- **Strojni vid** (*Machine Vision*) – optični merilni sistem (bi-telecentrične leče, iluminacija, kamera), 2D merjenje dimenzij z mikronsko točnostjo.
- **Lasersko merjenje in skeniranje** – merjenje razdalj, raztezkov, ukrivljenosti, ravnosti, igle, valovitosti (laserska

triangulacija 1D, lasersko skeniranje 2D, 3D).

- **Prilagojena mehanska tipala** – za specifične izdelke (npr. mehki materiali) ter težka industrijska okolja, ki so popolnoma prilagojeni izdelkom.



Slika 4: Kombinacija merilnih sistemov: Triangulacijski laser, laserski skener in 2D optični sistem.

### 3.5. Programska oprema

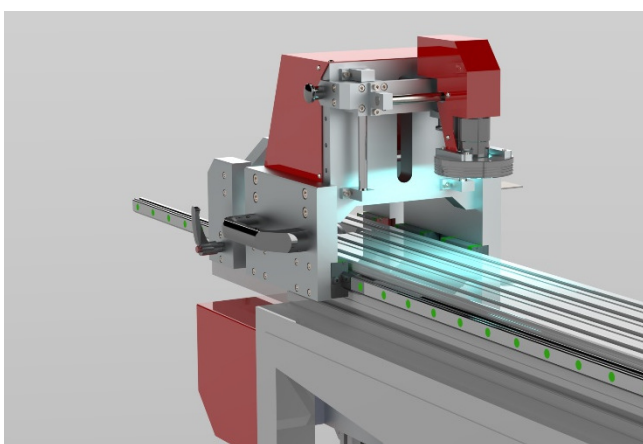
Ker gre pri vsakem stroju za unikatni razvojni projekt, mora biti tudi pripadajoča programska oprema izredno fleksibilna. To pomeni, da je možno pri vsaki kombinaciji merilnih senzorjev, avtomatizacije in konstrukcije uporabiti enako programsko opremo z možnostjo prilagoditve. Vzporedno z ostalimi sklopi se tako razvija tudi programska platforma TMS (Trames Measuring Software), prednost kater je uporabniku prijazen uporabniški vmesnik. Industrijski merilni sistemi niso namenjeni za delo v laboratoriju, temveč v proizvodnji, kjer uporabniki navadno niso strokovnjaki s področja meroslovja. Namen programa je torej izvesti hitro in točno meritev, dobljene podatke obdelati ter kreirati poročilo oz. posredovati slednje v na primer interno bazo ali sistem.

## 4 PRIMERI DOBRE PRAKSE

V nadaljevanju so predstavljeni trije realizirani projekti razvoja in izgradnje unikatnih merilnih sistemov.

#### 4.1. Eno-dimenzionalni optični merilni sistem (TRAMES Unique 1D)

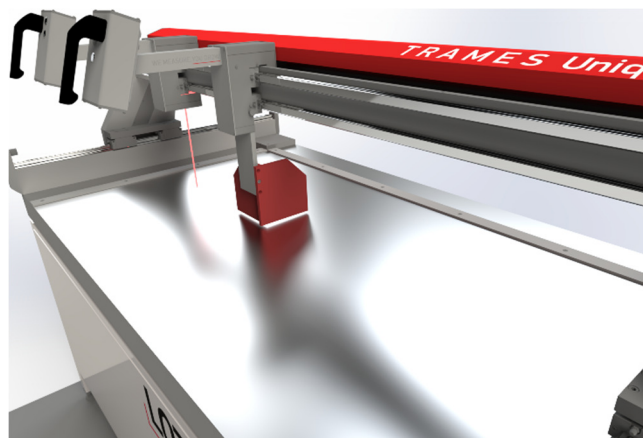
- Namen: Merjenje dolžine izdelkov iz gume.
- Princip: Optični merilni sistem z ročnim pomikom merilne glave.
- Merilna zmogljivost:
  - o merilno območje: 0 mm–4000 mm,
  - o točnost: 0,01 mm + 0,008 mm/m (pogoji okolja 20 C°, 50 % H),
  - o korekcije temperaturnih raztezkov merjenja.
- Pnevmatško vpenjanje merjencev.



Slika 5: 1D Merilni sistem za merjenje dolžine.

#### 4.2. Tro-dimenzionalni kombinirani merilni sistem (TRAMES Unique 3D+)

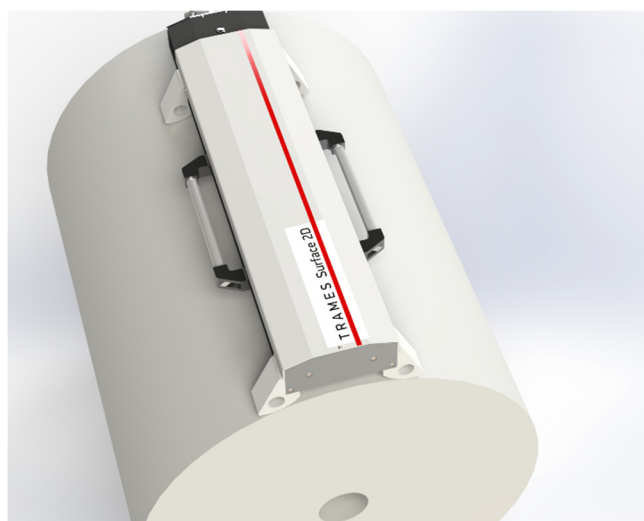
- Namen: Merjenje 3D dimenzij, mase in gostote izolacijskih materialov (volna, pena, folija, umetne mase).
- Princip:
  - o tehtalna platforma
  - o XY: mehansko tipalo,
  - o Z: lasersko točkovno tipalo,
  - o merilno območje: X: 3000 mm; Y: 1200 mm,
  - o točnost: 0,01 mm + 0,008 mm/m (pogoji okolja 20 C°, 50 % H),
  - o korekcije temperaturnih raztezkov merjenja.
- Pnevmatško vpenjanje merjencev



Slika 6: 3D merilni sistem za merjenje dimenzij izolacije z vgrajenim tehtalnim modulom.

#### 4.3. Prenosni skenirni merilni sistem (TRAMES Surface 2D)

- Namen: skeniranje površine zvitkov papirja v dvodimenzionalnem prostoru z namenom merjenja valovitosti oz. ustreznosti navitja papirja.
- Princip: laserska triangulacija na avtomatski merilni glavi (X Z).
- Merilna zmogljivost:
  - o merilno območje: Z (laser): +/-25 mm; X (letev): 800 mm,
  - o točnost: 0,01 mm .
- Prenosna naprava za uporabo na različnih lokacijah.



Slika 7: Prenosni 2D laserski merilni sistem.

## ODKRIVANJE POVRŠINSKIH IN SKRITIH NAPAK NA OSNOVI AKUSTIČNEGA ODZIVA PREIZKUŠANCEV

**Samo ŠALI<sup>1</sup>, Matjaž ROT<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>SaliGuitars & SaliHangboards

<sup>2</sup>Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

### IZVLEČEK

*Za odkrivanje površinskih in skritih (podpovršinskih) napak na izdelkih smo naredili algoritem in programsko opremo, ki omogočata delo v realnem času. Z relativno enostavno merilno opremo (A/D pretvornik, mikrofoni) smo tako ustvarili metodo, ki na osnovi akustičnega odziva preizkušancev v določenih primerih zmora praktično 100-odstotno zanesljivo odkrivanje napak. Tipične napake, ki jih lahko odkrivamo na ta način, so razpoke, lunke in podobno. Ali je neki tip preizkušanca primeren za analizo z našo metodo, lahko ugotovimo z enostavnim in hitrim preliminarnim testom. Preizkušanece vzbudimo z nemerjenim mehanskim impulzom, njegov akustični odziv oziroma spremembo zvočnega tlaka pa na relativno majhni oddaljenosti merimo z mikrofonom. Metoda omogoča hitrost analize približno en kos na sekundo, prav tako pa je cenovno ugodna in omogoča relativno enostavno umeščanje v že obstoječ proizvodni proces. Nadalje je metoda načeloma primerna za poljubne oblike in teže preizkušancev, opazili pa smo, da je manj uspešna pri kosih, ki so lažji od 200 g. Predvidevamo, da glede vrste materiala, če govorimo o kovini ali plastiki, ni omejitev, naše izkušnje pa so za zdaj omejene na kovinske izdelke. Slabost metode je občutljivost na obliko, lokacijo in velikost napake, saj se lahko zgodi, da vsi trije dejavniki na akustični odziv preizkušanca vplivajo tako, da napaka v merjenem signalu ni dovolj značilna za zaznavo. Kljub temu menimo, da ima naša metoda zaradi enostavne uporabe v realnem času in nizkih stroškov ogromen potencial v srednje- in velikoserijski proizvodnji.*

### 1 UVOD

Odkrivanje površinskih in podpovršinskih (skritih) napak na polizdelkih ali izdelkih je vsakodnevna problematika v srednjoserijski in velikoserijski proizvodnji. To je še toliko bolj res, če govorimo o avtomobilski industriji oziroma o kosih, ki morajo ustrezati strogim kriterijem glede statične in dinamične trdnosti ter obenem izpolnjevati tudi stroge optične kriterije. Obe trdnosti bosta zaradi kakršnihkoli napak na izdelanem kosu prizadeti, zato je logično, da želimo te napake v fazi proizvodnje čim prej odkriti. To bo zmanjšalo izgube časa in sredstev za manipulacijo z neuporabnimi kosi, hkrati pa preprečilo vse težave v zvezi z našimi dolžnostmi do kupca polizdelkov/izdelkov. Prav tako si želimo napake odkriti v realnem času, torej kar na tekočem traku za vsak izdelek posebej. To v praksi nemalokrat predstavlja nepremostljiv problem, saj je odkrivanje napak z obstoječimi metodami, kot sta rentgen ali kombinacija feromagnetne metode in ultravijolične svetlobe, zamudno, naporno in včasih daleč od

zanesljivega. Slika 1 kaže tipičen kovinski izdelek po uporabi magnetnega prahu oziroma tekočine pod UV-svetlobo, kjer postanejo napake na površini vidne v obliki svetlih peg in linij.

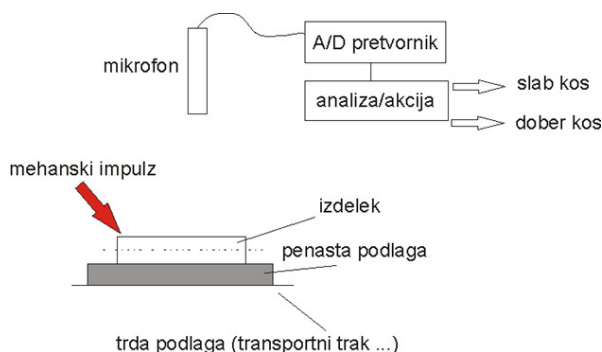
Po pregledu obstoječega stanja v svetu smo ugotovili, da za relativno majhne kose obstajajo namenske naprave, ki na osnovi akustičnega odziva izdelke s kritično napako in preko nje, ločijo od izdelkov, ki napak nimajo, ali pa so pod kritično mejo. Ocenili smo, da metoda ne zahteva toliko »high-techa« kot pa »know-howa«, in se lotili lastno zasnovanega algoritma, posledično pa softvera za odkrivanje površinskih in skritih napak na osnovi akustičnega odziva preizkušancev.



Slika 1: Napake na površini pod UV-svetlobo (vir: Marovt, d. d., Stranice, Slovenija).

## 2 METODA IN REZULTATI

Koncept meritve akustičnega odziva preizkušancev je prikazan na sliki 2. Princip metode za detekcijo napak temelji na merjenju akustičnega odziva preizkušancev, ki so načeloma lahko poljubne oblike. Iz izkušenj ugotavljamo, da je metoda lahko uspešnejša pri težjih kosih. Po naši oceni teža kosa nad 200 g zagotavlja več možnosti za uspeh kot pri kosih z manjšo težo. Merjen je le signal z mikrofonom, torej odziv preizkušanca oziroma njegova lastna nihanja. Ob tem naj omenimo, da je naša metoda izredno neobčutljiva na vpetje testiranih kosov, če je to izvedeno v razumnih pogojih. Iz modalne analize je namreč znano, da so meritve lastnih frekvenc natančne le na prosto vpetem kosu, kar pomeni, da je ta vpet na dolge elastične vrvice s čim manjšo maso. Kot rečeno, pa je pri naši metodi praktično vseeno, ali kos visi na vrvicah, ali pa počiva na podlagi iz mehkega ter podajnega materiala, denimo na penasti gumi.



Slika 2: Koncept merjenja akustičnega odziva preizkušancev.

Metoda je relativno neobčutljiva tudi na hrup iz okolja. Predmet merjenja so namreč diskretne frekvence, torej lastne frekvence testiranih kosov na mehki podlagi, ali (približno) prosto vpetih. Te frekvence so seveda vsaj načeloma neodvisne od okoliškega hrupa, ki lahko na vsebino meritev vpliva le preko interferenčnega učinka, če predpostavimo, da zmoremo učinek hrupa ločiti od koristnega signala. Malo verjetno je, da bi bil učinek interference takšen oziroma tako močan, da bi meritev rezultirala v nični amplitudi za merjene frekvence. Kljub vsemu ocenjujemo, da je priporočljivo v primeru hrupa iz okolice (recimo več kot 70 dB ob testni napravi za katerokoli frekvenco med 100 Hz in 20 kHz) mesto merjenja zvočno izolirati.

Podobno kot za vpliv vpetja in vpliv okoliškega hrupa lahko tudi za način vzbujanja trdimo, da je metoda tudi v tem pogledu precej neobčutljiva. Praksa je pokazala, da je ne glede na težko kosov (do nekaj kilogramov) masa jeklenega udarnega kladivca pribl. 200 g povsem ustrezna. Na kratko, vsi drugi pogoji vzbujanja ustrezajo tistim, ki jih dosežemo pri ročnem vzbujanju s kratkim in odločnim udarcem po preizkušancu.

Jedro oziroma izhodišče programa za realizacijo naše metode je osnovna nadzorna plošča z grobimi navodili za uporabo posameznih modulov in kratkim opisom delovanja. Na kontrolni plošči so poleg tega še štiri opcije, in sicer:

- learning (učenje),
- verification (verifikacija in kontrola rezultatov učenja),
- automatic detection (samodejno zaznavanje napak),
- manual detection (zaznavanje napak na osnovi ročno določenih pogojev).

### A. Modul »learning«

Funkcija tega modula je snemanje referenčnih slabih in dobrih kosov, ki pozneje v fazi »detection« služijo za odločanje, ali je testirani kos dober ali slab. Velikost napake na slabih kosih določa, kateri kosi bodo v fazi zaznavanja napak (detection) prepoznani za slabe; to bodo torej kosi, katerih napaka je vsaj tako značilna kot

napaka na referenčnih slabih kosih. Modul v grobem rečeno omogoča (i) izbiro frekvence vzorčenja, (ii) izbiro števila zajetih diskretnih točk v signalu, (iii) okno za obdelavo signala v časovni domeni zaradi zmanjšanja napak meritve, (iv) izbiro nivoja signala za začetek meritve, (v) vklop/izklop funkcije, ki prepreči več meritev na istem preizkušancu (v primerih, kjer gre za relativno dolgo trajajoč signal). Uporabnik lahko interaktivno uporabi prikazani frekvenčni spekter za izluščenje določenih parametrov. Na voljo so mu delo s kurzorjem, povečanje poljubnih odsekov na grafu frekvenca-amplituda in podobno. Amplituda na grafu se prikazuje v enotah Vpeak in je proporcionalna napetosti v posnetem signalu. Zaradi irelevantnosti absolutnih vrednosti amplitud je seveda ta del analize nebitven za delovanje programa in metode kot take.

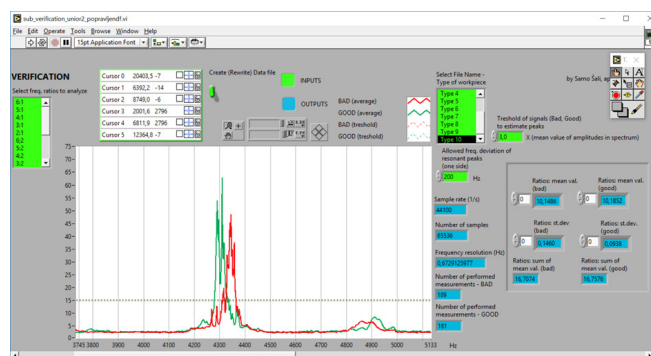
## B. Modul »verification«

V tem delu programa lahko uporabnik preveri, ali je vsebina posnetih signalov uporabna za nadaljnjo obdelavo. Podobno kot v fazi »learning« lahko uporabnik z grafom dela interaktivno ter tako z večjo natančnostjo razbira parametre, denimo položaj frekvenčnih vrhov, njihove amplitude in podobno. V posebni tabeli uporabnik določi razmerja lastnih frekvenc, ki jih želi uporabiti pozneje v fazi izločanja slabih kosov. Faza »verification« pokaže srednje vrednosti ter standardne deviacije teh razmerij, kar nam koristi pri oblikovanju oziroma pri samem razumevanju pomena parametrov meritve, na kateri sloni metoda.

Slika 3 prikazuje nadzorno ploščo modula »verification« za primer analize jeklenih kosov simetrične oblike in teže približno 600 g. Analiza je bila opravljena v področju 0 do 22 kHz, na sliki pa je ena od mnogih lastnih frekvenc dobrih (zelena linija) in slabih (rdeča linija) kosov v tem frekvenčnem pasu. Frekvenčna ločljivost analiziranih spektrov je bila 0,673 Hz, frekvenca vzorčenja 44,1 kHz, zajetih je bilo 65536 diskretnih točk v enem signalu. Slika 3 prikazuje tipično situacijo v realnem okolju, ko se lastne frekvence dobrih kosov ne razlikujejo značilno od frekvenc za slabe kose. To pomeni, da nam standardna statistična analiza merjenih lastnih

frekvenc po vsej verjetnosti ne more ponuditi v praksi uporabnih rezultatov. V konkretnem primeru sta obe liniji rezultat testiranja vzorca s skoraj 200 dobrimi in podobnim številom slabih kosov.

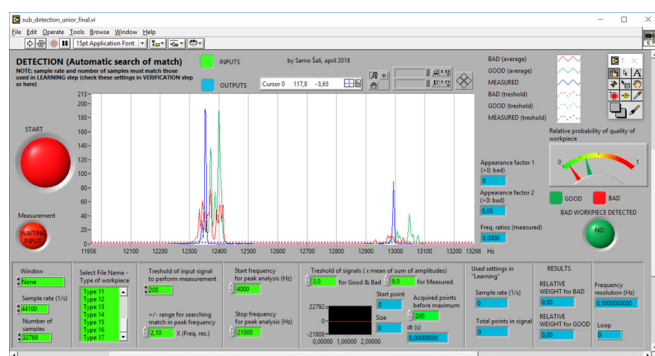
Napake na preizkušancih so bile predhodno ugotovljene s feromagnetno metodo v kombinaciji z UV-svetlobo; tipična napaka je bila nekaj desetink milimetra globoka razpoka, povečini krajša od 30 mm. Predvidoma kosi niso vsebovali lunckerjev. Koliko globoko sega razpoka od površine proti notranosti materiala, je s konvencionalno feromagnetno metodo pravzaprav nemogoče ugotoviti, zato je naša metoda lahko v tem pogledu logično in učinkovito dopolnilo k boljšemu razumevanju napak oziroma velikosti napak v preizkušancih.



Slika 3: Vrednosti lastne frekvence za dobre (zeleno) in slabe (rdeče) kose.

## C. Modul »automatic detection«

Slika 4 prikazuje nadzorno ploščo modula »automatic detection«, kjer zelena in rdeča linija v skladu z gornjim opisom predstavljata predhodno posnete referenčne dobre in slabe kose, modra linija pa predstavlja trenutno merjeni kos za ozko izbran frekvenčni pas.

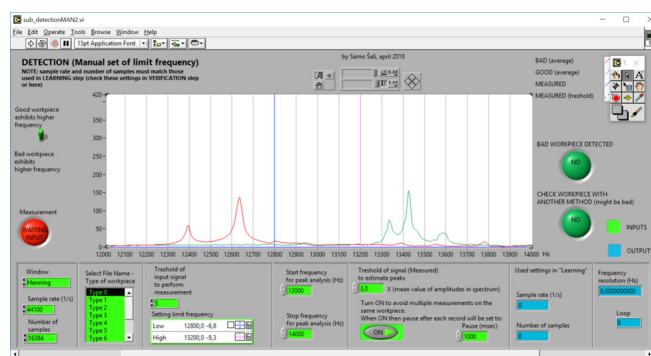


Slika 4: Zaznavanje morebitnih napak iz signala akustičnega odziva preizkušanca (modra linija).

Ta modul v praksi omogoča zelo raznolike pogoje pri snemanju signalov. Tako lahko uporabimo denimo le en posnetek za detekcijo, lahko pa jih na enem in istem kosu izvršimo celo serijo, enega za drugim ali pa z nastavljivo pavzo med njimi. Vse to je seveda povezano z dejanskimi okoliščinami, kot so velikost oziroma akustična narava kosov, pogoji pri snemanju odziva itd. Zmogljivost oziroma hitrost metode je načeloma lahko okoli enega kosa na sekundo ob avtomatskem vzbujanju preizkušancev in pri uporabi ustrezno zmogljivega računalnika.

#### D. Modul »manual detection«

V določenih primerih, kadar je akustični odziv dveh različnih skupin preizkušancev (npr. slabi in dobri oziroma počeni in brez razpok itd.) značilno različen že pri vizualnem ocenjevanju izmerjenih akustičnih odzivov, lahko uporabimo kar ta modul, pri katerem enostavno določimo mejno frekvenco ali mejni pas (če nismo prepričani v diskretno mejno frekvenco), ki deli obe analizirani skupini preizkušancev. V primeru uporabe mejnega pasu in v primeru, da merjeni kos pade v to mejno področje, program predlaga dodatno metodo za preverjanje kakovosti tega kosa. Opisano je za primer diskretne frekvence za vzorca dobrih in slabih kosov prikazano na sliki 5, kjer modra in vijolična navpična črta predstavljata spodnjo in zgornjo mejo mejnega področja. Takšne situacije, kjer je razlika med dobrimi in slabimi kosi tako očitna, so v praksi seveda zelo redke.



Slika 5: »Ročna« določitev mejnega področja med dobrimi (zeleno) in slabimi (rdeče) kosi.

### 3 SKLEP

Izredno visoka hitrost testiranja, delovanje brez potrošnih sredstev ter primernost za širok spekter oblike in teže preizkušancev, predstavljajo veliko prednost naše metode v primerjavi s konvencionalnimi metodami za odkrivanje napak. Slabost metode je, da napake zazna posredno, v določenih primerih lahko torej lokacija, oblika in velikost napake vplivajo na merjeni signal tako, da napaka ni izražena v akustičnem odzivu izdelka. To je toliko bolj res, kadar gre za ekstremno majhne razlike med t. i. dobrimi in slabimi kosi, torej, kadar so napake v primerjavi z velikostjo izdelka kritično majhne. Tudi dimenzijska nenatančnost lahko bistveno vpliva na merjene parametre. Po drugi strani pa ta nenatančnost po navadi značilno spremeni frekvenčno sliko merjenega signala tako, da je njeno ločevanje od napake v kosu relativno enostavno. Vse to seveda lahko ugotovimo s preprostim preliminarnim preizkusom in tako določimo perspektivnost metode za vsak tip preizkušanca posebej.

## KALIBRACIJA MERILNIKOV UV-A SVETLOBE

Gašper FAŠUN

SIJ Ravne Systems d.o.o., LABORATORIJI

### IZVLEČEK

*Ustrezno kalibrirana merila so prvi pogoj za uspešno izvedene meritve, ki jim lahko zaupamo. Pri kalibraciji merilnikov UV-A svetlobe je nujno potrebno, da znamo določiti vplive na rezultat kalibracije, ter jih ustrezno upoštevati. Pri primerjalni metodi kalibracije med največja vpliva zagotovo spadata pozicioniranje merilnikov ter temperatura, ki ju lahko s pomočjo testiranja ustrezno upoštevamo.*

### 1. UVOD

Kljub temu, da UV svetlobe ne vidimo s prostim očesom, za nas že dolgo časa ni več neznanka. Z razvojem umetnih virov sevanja tega dela spektra svetlobe, so se razvile tudi številne aplikacije. Poleg uporabe v zdravstvu, biologiji, kozmetiki, se je njena uporabnost pokazala tudi v industriji. Da pa lahko zagotovimo ustrezne meritve, je v prvem koraku nujno, da zagotovimo meritve, ki jim lahko zaupamo. In ravno kalibracija merilnikov UV svetlobe, je eden izmed pomembnih korakov v to smer. Za kalibracijo merilnikov je potrebno poglobljeno razumevanje teoretičnih osnov, ki so povezane s svetlobnimi viri, in senzorji za merjenje obsevanosti z UV svetlobo. S pomočjo razumevanja teoretičnega ozadja lahko namreč uspešno odpravimo težave, ki se nam pojavijo na poti, do uspešno izvedene kalibracije.

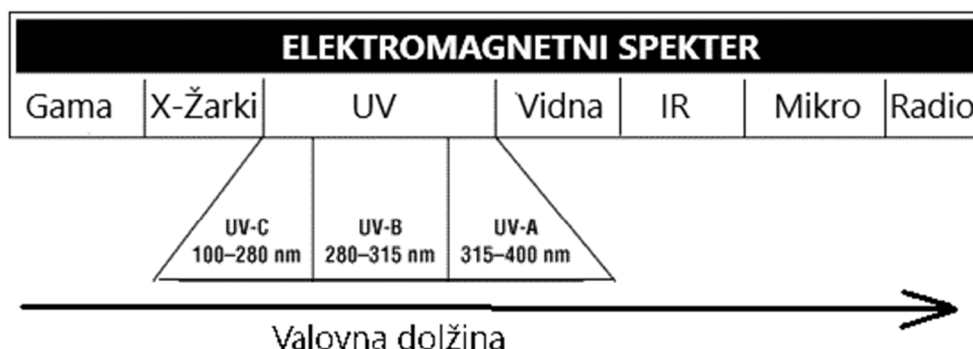
### 2. TEORETIČNE OSNOVE

Svetlobo uvrščamo med elektromagnetno sevanje, ki se širi skozi prostor in jo fizikalno obravnavamo in merimo enako, kot vse vrste elektromagnetnega sevanja [1]. Svetlobo lahko razvrstimo v elektromagnetni spekter (*slika 1*) glede na valovno dolžino, ki jo navadno označimo z  $\lambda$ , ali pa glede na frekvenco  $\nu$ . Obe količini sta med seboj neposredno povezani preko hitrosti svetlobe z enačbo:

$$c = \nu \cdot \lambda \quad (1)$$

Svetlobo lahko obravnavamo tudi v okviru kvantne teorije. V tem opisu vpeljemo t.i. kvante energije, ki jih imenujemo fotoni. To so delci brez mase in so nosilci elektromagnetne interakcije. Fotonom lahko določimo energijo s pomočjo valovne dolžine ali frekvence:

$$W = \frac{h \cdot \nu}{\lambda} \quad (2)$$



Slika 1: Elektromagnetni spekter svetlobe.

### 2.1. Karakteristike UV svetlobe

Ultravijolična oz. UV svetloba je del elektromagnetnega spektra in predstavlja približno 10% sončnega spektra. Valovna dolžina UV svetlobe je krajša, kot valovna dolžina vidne svetlobe, zato je s prostim očesom ne zaznamo, saj nase oči niso občutljive na tako kratko valovno dolžimo. Valovna dolžina UV svetlobe je med 10 nm in 400 nm. Znotraj tega območja pa UV sevanje razdelimo še na tri pod-območja

Tabela 1: Razdelitev UV svetlobe na območja, glede na valovno dolžino.

Območje	Valovna dolžina [nm]
UV-C	10-280
UV-B	280-315
UV-A	315-400

Takšno delitev temelji na bioloških učinkih UV sevanja [1]. Sonce seva UV svetlobo v vseh treh območjih, ker pa nas obdaja ozonska plast, se v tej plasti skoraj v celoti absorbirata UV-C ter UV-B svetloba (več kot 99% UV-C in več kot 90% UV-B). Visok procent absorpcije za ti dve območji je za nas izrednega pomena, kajti kot smo omenili, se z nižanjem valovne dolžine viša energija sevanja, torej UV-C in UV-B predstavljata tudi večjo nevarnost za opekline in druge zdravstvene težave, ki bi se lahko pojavile zaradi izpostavljenosti tem delu spektra svetlobe.

Površje Zemlje torej doseže največ UV-A svetlobe, ki pa je v našem primeru tudi najbolj

pomembna, saj se ukvarjamo s kalibracijo senzorjev UV-A svetlobe. UV-A svetlobo zaradi svoje »dolge« valovne dolžine, njena vrednost je med 315 nm in 400 nm, imenujemo tudi dolgovalovno ultravijolično sevanje. Za človeka je to območje UV svetlobe najmanj škodljivo, saj ima najmanjšo energijo (*enačba 2*).

### 2.2. Vir UV-A svetlobe

Za kalibracijo merilnikov UV-A svetlobe je torej pomembno, da ima vir zadostno količino izsevane svetlobe v zahtevanem območju spektra.

V našem laboratoriju uporabljamo živosrebrno obločno sijalko z nazivno močjo 350 W (*slika 2*). Sijalka vsebuje plin (argon ali ksenon) in tekoče živo srebrno, ki se pod visokim tlakom upari. Po segretju sijalke, lahko tlak doseže vrednosti nekaj 10 barov. Da dosežemo električni preboj plina je potrebna visoka napetost med anodo in katodo. Preboj povzroči ionizacijo plina znotraj steklenega ohišja sijalke. Ionizacijo plina vidimo kot električni oblok, ki je izvor svetlobe v našem viru. Svetloba, ki izhaja iz živosrebrne sijalke ima visoko vrednost korelirane barvne temperature (med 6000 K in 6500 K) in je dobra aproksimacija za barvno temperaturo sonca [2].



Slika 2: Živosrebrna sijalka.

Ker ima temperatura velik vpliv na tlak v steklenem ohišju, so sijalke občutljive tudi na zračne tokove. Zaradi tega, in tudi zaradi varnostnih razlogov, je potrebno, da sijalko zapremo v ohišje. Sijalka deluje pod visokim tlakom, in vsaka majhna poškodba, ki morda s prostim očesom ni vidna, lahko povzroči, da sijalko raznese.



Slika 3: Ohišje za živosrebrno sijalko proizvajalca LOT Quantum Design [3].

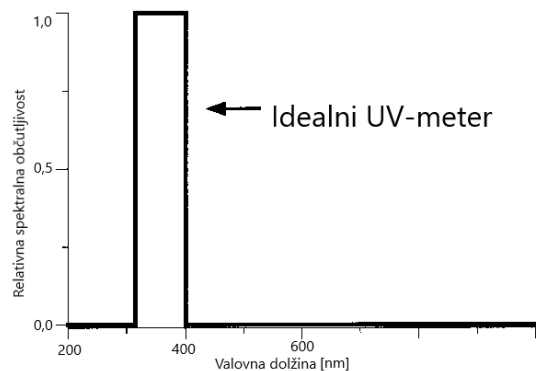
### 2.3. Senzorji za merjenje UV svetlobe

Za merjenje ultravijoličnega sevanja najpogosteje uporabljamo UV radiometre, ki merijo obsevanost v enotah  $W/m^2$ . Obsevanost je merilo za količino sevalnega toka, ki pada na neko ploskev oziroma ploskovno gostoto sevalnega toka.

$$E = \frac{\partial P}{\partial A} \quad (3)$$

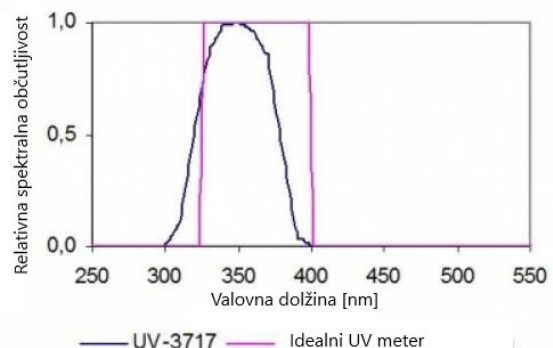
V zgornji enačbi predstavlja  $P$  svetlobni tok, ki ga merimo v Watt-ih in  $A$  površino, na katero pada svetlobni tok [4].

Glavna lastnost merilnikov UV-A svetlobe, je njihova spektralna občutljivost. Idealni merilnik bi imel relativno spektralno občutljivost znotraj območja 315 nm do 400 nm enako 1 (torej 100%), zunaj tega območja pa bi bila občutljivost merilnika enaka 0 (slika 4).



Slika 4: Relativna spektralna občutljivost idealnega merilnika UV-A svetlobe.

Žal pa zaenkrat v realnem svetu za uporabo še ni na voljo idealnega UV-A metra. Relativna spektralna občutljivost realnih merilnikov ima obliko Gaussove krivulje. Sama oblika krivulje se med merilniki različnih proizvajalcev ne ujema popolnoma. Vendar pa za večino merilnikov velja, da so najbolj občutljivi pri valovni dolžini 365 nm.



Slika 5: Relativna spektralna občutljivost realnega UV-A metra, senzor proizvajalca Gigahertz Optik UV-3717 [6].

## 2.4. Uporaba UV filtra

Zaradi potrebe po kalibraciji senzorjev pri valovni dolžini 365 nm, je nujna uporaba UV filtra z omenjeno valovno dolžino. Naloga filtra je, da prepusti le svetlobo z določeno valovno dolžino, ostali del spektra pa blokira. Podobno kot pri realnih merilnikih, tudi v tem primeru ne moremo govoriti o točno določeni valovni dolžini. Zaradi tega, sta za nas pomembni dve značilnosti filtrov:

- centralna valovna dolžina (CWL),
- širina krivulje prepustnosti na polovični višini (FWHM).

Krivuljo prepustnosti lahko tudi v tem primeru opišemo z Gaussovo krivuljo. Pomembno je, da imajo CWL (maksimalna vrednost krivulje) pri željeni vrednosti, ter da je karseda dobro določena, in da je FWHM čim manjša. Kajti FWHM nam določa širino krivulje. Manjša kot je FWHM, bolj se približamo točno določeni vrednosti valovne dolžine.

## 2.5. Rezultat meritve

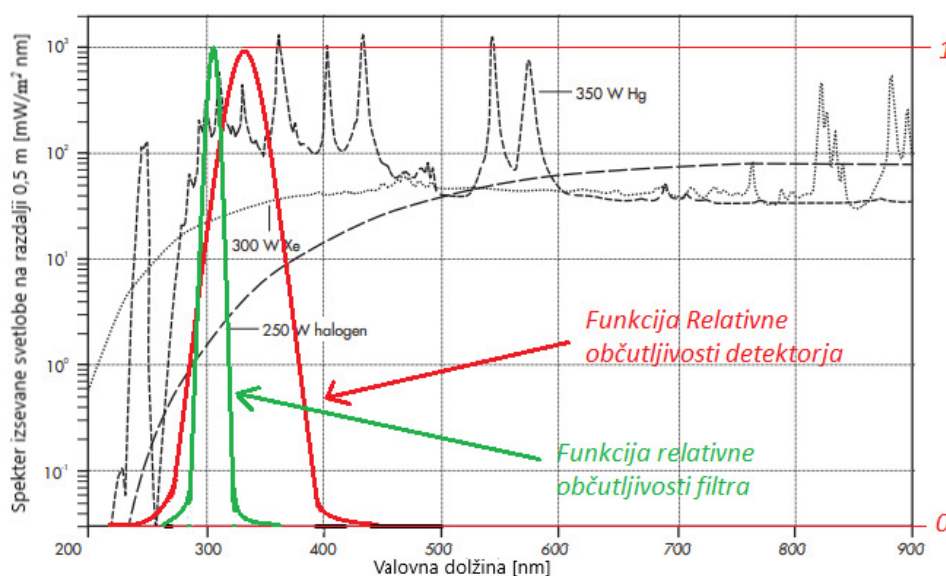
Ko opravljamo meritve obsevanosti merilnikov z UV-A svetlobo, se moramo zavedati vpliva zgoraj opisanih prispevkov, ki znatno vplivajo na rezultat meritve. Rezultat, ki se nam izpiše na zaslonu prikazovalne enote je kombinacija spektra izsevane svetlobe uporabljenega vira, relativne spektralne občutljivosti senzorja ter relativne prepustnosti filtra.

Če znamo zapisati funkcije za opisane prispevke, lahko s pomočjo integracije izračunamo vrednost obsevanosti, ki jo izmerimo.

Naj bo funkcija izsevane svetlobe  $f_v(\lambda)$ , funkcija spektralne občutljivosti senzorja  $f_s(\lambda)$ , ter funkcija prepustnosti filtra  $f_f(\lambda)$ . Vrednost obsevanosti oz. signal na merilniku, je produkt vseh treh funkcij.

$$S = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} f_v(\lambda) \cdot f_s(\lambda) \cdot f_f(\lambda) \cdot d\lambda \quad (4)$$

Enačbo (4) grafično ponazorimo s sliko 6. V tem primeru uporabimo realni spekter izsevane svetlobe za naš vir svetlobe. Rezultat, ki se nam izpiše na merilniku je ploščina pod presekom vseh treh krivulj.



Slika 6: Grafični prikaz izračuna vrednosti obsevanosti merilnika. Vrednost, ki se izpiše na prikazovalni enoti merilnika je presek vseh treh krivulj, ki so označene na sliki.

### 3. KALIBRACIJA SENZORJEV UV SVETLOBE

Kalibracijo merilnikov UV-A svetlobe izvajamo v prostorih laboratorija za kalibracijo naprav za neporušne preiskave (NPP). Laboratorij za NPP se nahaja znotraj podjetja SIJ Ravne Systems d.o.o.

Zaradi pomembnosti izključitve zunanjih vplivov na merilnik, se kalibracija izvaja izključno znotraj temnice z zatemnitveno zaveso. Temnico smo izdelali v lastni režiji in je popolnoma neprepustna za svetlobo.

Kalibracijo izvajamo primerjalno, pri čemer najprej izvedemo meritve z referenčnim merilnikom na določenih, prej dogovorjenih razdaljah od vira svetlobe. Referenčni merilnik namestimo na centrirno napravo, ki jo postavimo na fotometrično klop z merilno letvijo. Merilna letev služi za lažje centriranje senzorjev (glej poglavje 3.1). Postopek ponovimo s kalibriranim merilnikom.

#### 3.1. Pozicioniranje merilnika

Zaradi majhnega obloka med anodo in katodo znotraj steklenega ohišja, si lahko naš vir svetlobe predstavljamo kot točkasto telo. Za točkasta telesa lahko zapišemo inverzni kvadratni zakon padanja intenzitete svetlobe z razdaljo:

$$\text{intenziteta} \propto \frac{1}{\text{razdalja}^2} \quad (5)$$

Prav zaradi tega zakona, je izrednega pomena, da merilnik natančno centriramo na optično os. Centriranje je za nas pomembno predvsem zaradi primerjalne metode med referenčnim in kalibriranim merilnikom. Zaradi natančnejšega centriranja smo izdelali centrirno napravo, ki omogoča centriranje v y in z osi, pri čemer centriranje v x smeri opravimo na optični osi s pomočjo merilne letve.

V primeru spreminjanja pozicije senzorja po y ter z osi, je bila razdalja med virom in senzorjem konstantna, 500 mm. S pomočjo pridobljenih meritev izračunamo relativno odstopanje vrednosti

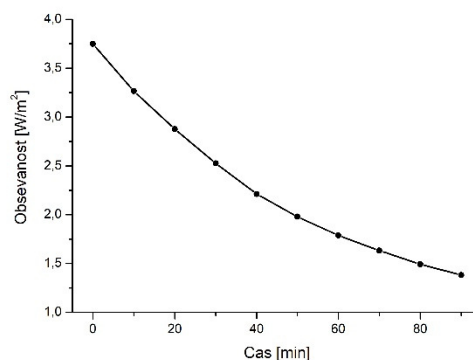
obsevanosti glede na prvotno izmerjeno vrednost. Te vrednosti upoštevamo pri izračunu negotovosti.

Tabela 2: Rezultati testiranja pozicioniranja merilnika.

X os		
$\Delta d$ [mm]	Obsevanost [W/m <sup>2</sup> ]	Rel. odst. [%]
500	8,77	0,00
505	8,89	1,36
495	8,51	2,95
Y os		
$\Delta d$ [mm]	Obsevanost [W/m <sup>2</sup> ]	Rel. odst. [%]
0	8,54	0,00
3	8,39	1,75
-3	8,37	1,99
Z os		
$\Delta d$ [mm]	Obsevanost [W/m <sup>2</sup> ]	Rel. odst. [%]
0	8,57	0,00
3	8,43	1,63
-3	8,41	1,86

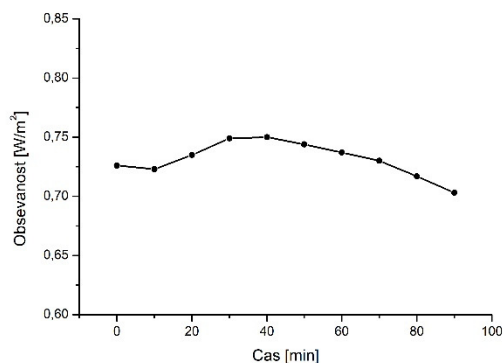
#### 3.2. Vpliv temperature na filter

Med testiranjem se je izkazalo, da ima na stabilnost meritve največji vpliv hlajenje filtra, ki ga uporabljamo. V prvem delu smo na fotometrično klop namestili senzor na razdalji 115 cm od vira svetlobe. Pred filter nismo namestili hladilne enote. V tem primeru je opaziti eksponentni padec obsevanosti merilnika.



Slika 7: Obsevanost v odvisnosti od časa brez hlajenja filtra.

V drugem primeru smo pred filter postavili hladilno enoto, ki poskrbi, da je temperatura v bližini filtra bolj stabilna. Merilnik je bil v tem primeru na razdalji 130 cm od vira svetlobe.



Slika 8: Obsevanost v odvisnosti o časa s hlajenjem filtra

Iz grafov meritev lahko vidimo, da vrednost obsevanosti brez hlajenja filtra po 90 minutah znaša 36% začetne vrednosti. S hlajenjem pa je maksimalno odstopanje od začetne vrednosti 3,11%.

Hlajenje filtra je torej nujno pri kalibraciji merilnikov UV-A svetlobe. Maksimalno nihanje uporabimo pri izračunu negotovosti.

#### 4. SKLEP

V članku smo predstavili teoretične osnove, ki so potrebne za razumevanje kalibracije merilnikov UV-A svetlobe. Med opisovanjem teorije smo omenili tudi komponente, ki jih uporabljamo pri dejanski kalibraciji v našem laboratoriju. Na kratko smo opisali dva večja prispevka k negotovosti, ki se pojavita pri kalibraciji. Ostalih manjših prispevkov, ki jih tudi upoštevamo, tukaj nismo opisovali.

Viri:

[1] Križman, R.: Razvoj UV svetlobnega vira za kalibracijo (Magistrsko delo), Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2015

[2] Obločne sijalke (<https://lot-qd.de/fileadmin/Mediapool/products/lightsources/>

[en/LQ\\_All\\_you\\_need\\_to\\_know\\_about\\_arc\\_lamps\\_en.pdf](https://lot-qd.de/en/LQ_All_you_need_to_know_about_arc_lamps_en.pdf))

[3] Svetlobni viri (<https://lot-qd.de/en/products/light-lasers/light-sources-for-scientific-applications/product/arc-light-sources/>)

[4] Fotometrija ([http://lrf.fe.uni-lj.si/e\\_sv\\_tehnika/SI/i\\_Fotometrija.pdf](http://lrf.fe.uni-lj.si/e_sv_tehnika/SI/i_Fotometrija.pdf))

[5] Viri napak pri merjenju z merilniki UV-A svetlobe (<https://www.semanticscholar.org/paper/Sources-of-Error-in-UV-Radiation-Measurements-Larason-Cromer/4b23ad4cd77ec79743cfe4cdd131a7fa91fb4958>)

[6] Merilnik UV-A svetlobe (<https://www.gigahertz-optik.de/en-us/product/UV-3717>)

## RAZVOJ AVTOMATSKIH NAPRAV ZA PREIZKUŠANJE TESNOSTI IZDELKOV

Jure KOKALJ<sup>1</sup>, Edvard DOLENC<sup>1</sup>, Janez KOKALJ<sup>1</sup>, Miha NASTRAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KNT d.o.o.

<sup>2</sup>Kolektor ETRA d.o.o.

### IZVLEČEK

Jedro aktivnosti podjetja KNT d.o.o. predstavlja zasnova in izdelava avtomatskih naprav za preizkus tesnosti izdelkov, geometrijska testiranja produktov ter njihovo končno označevanje. Pri konstruiranju naprav uporabljamo moderne pristope na področju manipulacije izdelkov, senzorike in uvajanja modernih pristopov informatizacije. Na področju avtomatizacije testiranja tesnosti smo prisotni že skoraj desetletje, kar je botrovalo uvedbi več inovacij na tem področju, med njimi tudi razvoju lastnega senzorskega modula za hitro in natančno zaznavanje netesnosti različnih izdelkov. V prispevku je na začetku kratko prikazana predstavitev podjetja KNT d.o.o. nato pa podan pregled na področju testiranja tesnosti ter prikazan razvoj na področju senzorskih modulov.

## 1 UVOD

### 1.1. Predstavitev podjetja

Začetki podjetja KNT segajo v leto 2008, ko je podjetje začelo z izdelavo namenskih strežnih naprav za livarsko industrijo. Kasneje se je podjetje preusmerilo v izdelavo naprav za testiranje tesnosti različnih polizdelkov iz različnih materialov, kar je danes ena ključnih kompetenc podjetja.



Slika 1: Merilna naprava podjetja KNT

Podjetje KNT danes pokriva mehansko zasnovo in montažo naprav, načrtovanje elektro-

opreme in elektromontažo, ter zaključno programiranje naprav.

Razvoj in rast podjetja gradimo prvenstveno na področju sistemov testiranja tesnosti, bodisi s pomočjo tlačne metode, kot tudi s pomočjo merjenja koncentracije.

### 1.2. Opis problematike

Na področju testiranja tesnosti različnih izdelkov se uporablja več načinov, pri čemer je odločitev o tem, kater način uporabiti, odvisna od več prametrov, kot so stopnja puščanja, možnost avtomatiziranja procesa, želeni čas testnega cikla, geometrijska zahtevnost obdelovanca, itd..

V avtomobilski industriji se v proizvodnji aluminijastih delov največ uporablja metoda testiranja preko zaznavanja tlačnega padca, kjer v odvisnosti od geometrijskih parametrov in stopnje puščanja uporabljamo absolutno metodo ali pa diferencialno metodo. Absolutna metoda je enostavnejša za izvedbo, je pa v primerjavi z diferencialno manj natančna.

Poleg merilnega sistema je za zanesljivo in ponovljivo serijsko meritev puščanja polizdelkov pomembna tudi mehanska zasnova stroja za test puščanja. Razvojno stalno izpopolnjujemo vpenjalne sisteme in uporabljene materiale. Uporabljamo v podjetju razvito lastno geometrijo tesnil, ki jih tudi sami izdelujemo.



Slika 2: Vpenjalna priprava naprave za testiranje tesnosti

## 2 MERILNI MODULI ZA TEST TESNOSTI

Merilni modul je eden od ključnih elementov stroja za avtomatski nadzor tesnosti izdelkov. Na tem področju je znanih nekaj proizvajalcev, ki nudijo kvalitetne sisteme.



Slika 3: Merilni modul podjetja

V podjetju smo v preteklosti te merilne module dobavljali od različnih ponudnikov in vgrajevali v naprave, v zadnjih letih pa smo se odločili za lasten razvoj merilnih naprav. Za to odločitev je botrovala predvsem potreba po dodatnih funkcionalnostih naprave kot so:

- večja fleksibilnost in prilagodljivost merilne naprave vsakokratnim zahtevam,
- možnost izgradnje ustrezne baze meritev,
- možnost lažjega vključevanja naprave v višje sisteme vodenja kot so MES oz. ERP.

Modul bazira na mikroprocesorski tehniki, kontrolira ga lastno razvita programska oprema, ki teče na sodobnih industrijskih PC-jih. Razvit merilni modul omogoča natančnejša merjenja, dosegamo krajše merilne cikle in je modularen. To pomeni da je s tem sistemom možno enostavno dodajati merilne kanale, pri čemer se merilni obsegi posameznih kanalov med seboj lahko tudi razlikujejo.

### 2.1. Tehnični podatki

Glavni tehnični podatki razvitega merilnega modula so prikazani v spodnji tabeli:

Merilnik tesnosti	Diferencialna metoda
Merilni tlak	0,25 - 15 bar
Natančnost regulatorja tlaka	1,5 % FS
Merilna točnost	KN DP-100.2.5 [0-2.5 bar] 0.8 Pa dif.
	KN DP-100.6 [0-6 bar] 0.8 Pa dif.
	KN DP-100.10 [0-10 bar] 1.5 Pa dif.
	KN DP-100.16 [0-16 bar] 1.5 Pa dif.
Resolucija	[0-6 bar] 0.1 Pa diff.
	[0-15 bar] 1 Pa diff.

Tabela 1: Tehnični podatki merilnika

### 2.2. Potek razvoja

Konceptualne zasnove za merilni modul smo v podjetju začeli razvijati že v letu 2016. Prvi prototip smo izdelali v sredini leta 2017, nato pa je v začetku leta 2018 stekla njegova serijska proizvodnja.

## 2.3. Zasnova sistema

Modul je sestavljen iz štirih glavnih sestavnih delov in sicer:

- nadzorno krmilni del,
- merilni del,
- napajalni del,
- ohišje.

Zasnova je modularna tako, da omogoča prilaganje na vsakokratne zahteve naročnika. Trenutno je možna izvedba do šest kanalnega sočasnega merjenja. Komunikacija z glavno krmilno enoto stroja poteka predvsem preko vmesnika Profinet. Omogočeni so tudi drugi komunikacijski protokoli.

## 2.4. Grafični vmesnik merilnika

V okviru razvoja naprave je bil izdelan tudi grafični vmesnik, ki omogoča ročno upravljanje z merilnikom puščanja, pregledovanjem baze merjenih rezultatov, nastavitve avtomatskega delovanja, nastavitve različnih receptov, ter izvedbo kalibracije testerja.

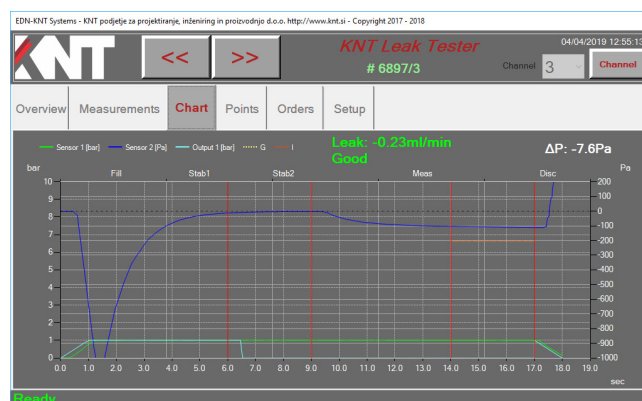


Slika 4: Osnovna stran merilnika tesnosti

Na osnovni strani testerja je možen pregled aktualnih merjenih vrednosti, ter njihova primerjava z želenimi vrednostmi. Na podlagi meritve sistem javi centralnemu krmilniku odločitev o tem ali je kos dober, je na njem potrebna impregnacija oz. ga ni mogoče popraviti in mora iti v izmet.

Časovni pogled grafičnega vmesnika omogoča natančno pregledovanje oz. potek glavnih merilnih

parametrov. Nastavljeni merilni tlak se preko povratne zanke primerja z merjenim merilnim tlakom. Na ta način je možno dealektirati grobe napake na samem stroju ter že v začetni fazi merjenja meritev prekiniti in javiti status centralnemu nadzornemu krmilniku.



Slika 5: Časovni potek meritve

V primeru diferencialnega merjenja tlaka se istočasno spremlja tudi tlačna razlika na referenčnem ter merjenjem kosu. Na podlagi te informacije se izračuna padec tlaka v času meritve, iz tega pa sledi končen preračun v želeni merski enoti [ml/min, scm/min.]

## 2.5. Kalibracija in merilni obseg

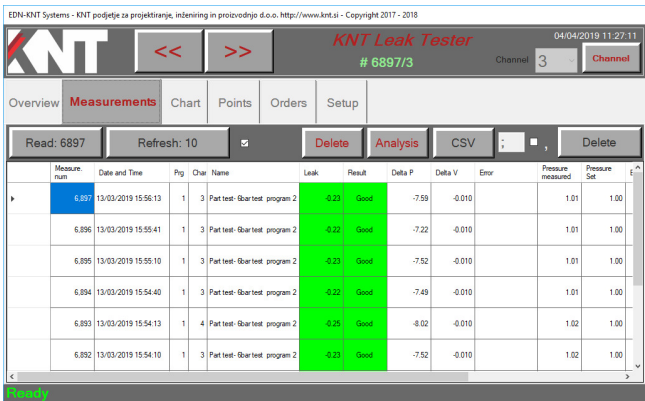
Pomemben del naprave predstavlja tudi kalibracija kompletne merilne verige. Sistem je narejen intuitivno, jasno operaterju, je pa preko administratorskega gesla dostopen samo pooblaščenim operaterjem.

Poleg klasične linearne interpolacije omogoča tudi segmentno linearizacijo merilne verige tako za nastavitve tlačnih vrednosti, kot tudi za branje tlačnega signala iz obeh senzorjev. To omogoča natančnejše merjenje v popolnem merilnem območju senzorja ter natančnejše nastavljanje merilnega tlaka preko tlačnega regulatorja.

V okviru merilnih modulov se možni različni obsegi meritev in se določi glede na zahteve meritve (dolžina merilnega cikla, ki je na voljo, velikost puščanja, možnost zatesnitve kosa in velikost testnega volumna).

## 2.6. Baza merjenih vrednosti

Merilni modul omogoča tudi lokalno hranjenje merjenih vrednosti in s tem njihovo sledljivost skozi celoten proizvodni proces, kar je v sodobni proizvodnji zelo pomembno – velikokrat pa zahtevano – ter njihovo kasnejše pregledovanje. Omogoča tudi izvoz podatkov na zunanje spominske enote ter nato pregledovanje pri naročniku. Možno je tudi pregledovanje na samem 7" zaslonu na dotik merilnega modula.



The screenshot shows the 'KNT Leak Tester' software interface. At the top, it displays 'EDN-KNT Systems - KNT podjetje za projektiranje, inženiring in proizvodnjo d.o.o. http://www.knt.si - Copyright 2017 - 2018' and the date '04/04/2019 11:27:11'. The main window has a navigation bar with 'Overview', 'Measurements', 'Chart', 'Points', 'Orders', and 'Setup'. Below this is a control bar with 'Read: 6897', 'Refresh: 10', and buttons for 'Delete', 'Analysis', 'CSV', and 'Delete'. The main area contains a table with the following columns: Measure, Date and Time, Ptg, Char, Name, Leak, Result, Delta P, Delta V, Error, Pressure measured, and Pressure Set. The table contains several rows of data, with the first row highlighted in blue and others in green.

Measure	Date and Time	Ptg	Char	Name	Leak	Result	Delta P	Delta V	Error	Pressure measured	Pressure Set
6.897	13/03/2019 15:56:13	1	3	Part test - 0bar test program 2	0.23	Good	-7.59	-0.010		1.01	1.00
6.896	13/03/2019 15:55:41	1	3	Part test - 0bar test program 2	0.22	Good	-7.22	-0.010		1.01	1.00
6.895	13/03/2019 15:55:10	1	3	Part test - 0bar test program 2	0.23	Good	-7.52	-0.010		1.01	1.00
6.894	13/03/2019 15:54:40	1	3	Part test - 0bar test program 2	0.22	Good	-7.49	-0.010		1.01	1.00
6.893	13/03/2019 15:54:13	1	4	Part test - 0bar test program 2	0.25	Good	-8.02	-0.010		1.02	1.00
6.892	13/03/2019 15:54:10	1	3	Part test - 0bar test program 2	0.23	Good	-7.52	-0.010		1.02	1.00

Slika 6: Baza merjenih vrednosti

## 2.7. Povezovanje v višje sisteme vodenja

Nadzorni modul je razvit v skladu z najnovejšimi smernicami Industry 4.0, lastno razvita programska oprema pa omogoča direkten dostop do višjih sistemov vodenja (MES in ERP). Modul tako komunicira na procesni nivo do senzorične stroja, ter na vmesni nivo vodenja in nadzora proizvodnje.

Na tem področju delamo v podjetju razvoj dalje v smeri povezljivosti kompletnih naprav v centralni informacijski sistem kupca.

## 3 IMPLEMENTACIJA V PRAKSI

Razvit merilni modul se uspešno uporablja v številnih napravah za merjenje tesnosti, ki jih je podjetje KNT d.o.o. izdelalo v preteklih letih. V praksi so se izkazali kot zanesljivi in natančni. Njihov centralni krmilnik pa omogoča tudi nadaljevanje razvoja podobnih modulov za uporabo v drugih aplikacijah, kot so npr. merilnik

geometrijskih lastnosti preizkušancev ali merilniki procesnih parametrov.

## 4 SKLEP

V prispevku je najprej kratko prikazana zgodovina podjetja KNT d.o.o. V nadaljevanju je opisana ena od ključnih kompetenc podjetja, to je testiranje tesnosti raznih polizdelkov in izdelkov. Predstavljen je tudi nov merilni modul, ki je rezultat lastnega razvojnega dela v podjetju. Programska oprema, ki predstavlja srce merilnega modula je tudi osnova za povezovanje in komuniciranje merilnih in montažnih naprav z višjimi sistemi vodenja.

## CELOVITE REŠITVE OBDELOVALNIH PROCESOV ZA OBDELAVO ULITKOV IN OSTALIH OBDELOVANECV

Avtor: **Bogdan KUKOVIČ**

Vodja prodaje – **UNIOR Strojgradnja**



**UNIOR d.d.**

**Kovaška cesta 10**

**3214 Zreče, Slovenija**

**Tel.: +386 3 75 78 457**

**strojgradnja@unior.com**

**www.unior-specialmachines.com**

UNIOR je podjetje s 100 letno tradicijo na večjih področjih. Največji program odkovki obstaja že od samega začetka, iz katerega se je razvil program ročnega orodja. Za potrebe lastne proizvodnje pa se je v sedemdesetih letih ustanovil program Strojgradnje.

Tako danes Strojgradnja ne izdeluje le stroje za potrebe Uniorja, ampak je eden od pomembnejših dobaviteljev avtomobilski, kamionski in letalski industriji. Vedno večji delež prodaje strojev in opreme pa se v zadnjih letih vrši pri dobaviteljih avtomobilski in ostali industriji.

V zadnjih letih pa so se močno razvile tudi podporne dejavnosti avtomobilski industriji, predvsem na področju litja (Al zlitin) in kovanja. Na tem področju uspešno dela kar nekaj slovenskih podjetij, katera so že Uniorjevi kupci.

Tržna mreža Unior Strojgradnja danes pokriva skoraj celotno svetovno industrijo, pomembno pa je, da so na vseh lokacijah, kje stojijo Uniorjevi stroji organizirani tudi uradni servisi.



Slika 1: Globalna prisotnost.

### OSEM KORAKOV DO OBDELOVALNE LINIJE – STROJA

Kateri bo izpolnil vse potrebe za zagotavljanje izpolnjevanja vseh zahtev vašega obdelovanca:

- Vse iz ene roke, da se optimirajo stroški in zagotovi optimalna točnost in stabilnost stroja:
  - Izdelava optimalnega koncepta stroja za dani obdelovanec.
  - Izdelava vpenjalne priprave in integracija na stroj.
  - Izdelava tehnologije in NC programa ter optimiranje do potrebnih rezultatov.

- optimalnega delovanja,
- točnosti obdelave,
- nizkih stroškov,
- dolgi življenjski dobi.

## 1 KORAK: VODENJE PROJEKTA

Zelo pomemben dejavnik pri sodelovanju dveh partnerjev je ena oseba, katera skrbi za projekt in komunikacijo med partnerjema.

1. Projektu se dodeli vodja projekta, kateri skrbi za:
  - Tehnično izvedbo projekta.
  - Komunikacijo s kupcem od naročila do končnega prevzema.
  - Terminsko izvedbo projekta.
  - Finančno izvedbo projekta.
2. Za pomoč pri spremljanju terminov je odgovorna plansko analitska služba.
3. Velikega pomena je komunikacija v slovenskem jeziku, kar izključuje napake zaradi nerazumevanja.
4. Bližina kupcu, da se lahko zelo hitro izvede direktni obisk in razgovor.

## 2 KORAK: SOUDELEŽBA V FAZI RAZVOJA OBDELOVANČA

Uniorjevi strokovnjaki se vključijo v projekt že v fazi razvoja obdelovanca, da se zagotovi:

1. Priprava obdelovanca tako, da se zagotovi dobro in stabilno vpetje.
2. Definiranje možnosti izboljšav na obdelovancu, da se zmanjšajo nepotrebni stroški zaradi težkih dostopnosti in nepotrebnih obdelav.
3. Definiranje morebitnih posnetij na odlitkih-odkovkih, kateri zmanjšajo problem srhov pri obdelavi.
4. Zmanjšanje rizika v serijski proizvodnji z izbiro potrebnih toleranc.



Slika 2: Konstrukcijski oddelek

## 3 KORAK: PRIPRAVA KONCEPTA TEHNOLOGIJE OBDELAVE

1. Na osnovi zahtev iz risbe obdelovanca se izvede določitev tehnologije obdelav in rezalnega orodja.
2. Izvede se študija najustreznjšega načina hlajenja orodij in odvoda ostružkov:
  - Možnosti hlajenja orodja z emulzijo, oljem, MMS in zrak.
  - Odvod ostružkov s transporterji ostružkov, odsesavanjem, odčrpavanjem, briketiranjem,...
3. Vključevanje proizvajalcev orodij v fazi koncipiranja stroja, za zagotovitev optimalne izbire orodij, s katerimi se zagotavlja doseganje:
  - Kvalitete obdelave.
  - Potrebni taktnih časov.
  - Obstojnosti orodij.

Na osnovi dolgoletnih izkušenj se za vsak material in obdelavo izberemo optimalna orodja, katera zagotavljajo zgornje karakteristike. V večini se uporabljajo orodja renomiranih izdelovalcev orodij, se pa prilagajamo tudi izkušnjam kupca in njihovim željam. V večini se uporabljajo orodja:

- Mapal, Gühring, Kennametal, Walter, Seico, Iscar, Cajhen,...
4. Preračun taktnih časov, kateri se izvede na osnovi dolgoletnih izkušenj iz obdelave različnih materialov z različnimi hladilnimi mediji.

Preračun je osnova za izbiro koncepta stroja.

5. Na osnovi zahtevnosti obdelovanca se lahko ponudi kupcu tudi poizkusna obdelava pred izvedbo stroja, s čem se zagotovi:

- Potrditev kvalitete obdelave.
- Potrditev ustreznosti orodja.
- Potrditev taktnega časa.
- Potrditev obstojnosti orodja.

#### 4 **KORAK: IZDELAVA OPTIMALNEGA KONCEPTA STROJA**

Na osnovi definicije orodij, taktnih časov in priporočil kupca se določi koncept stroja. Koncept stroja se izbira na osnovi sledečih kriterijev:

1. Zagotavljanje stabilnosti obdelave v zahtevani življenjski dobi stroja:
  - Izbira standardnih komponent, v ustreznem velikostnem razredu.
  - Preračunu kritičnih elementov.
2. Zahtevana fleksibilnost stroja:
  - Možnost predelave na drugi tip obdelovanca po ugasnitvi obdelovanca.
  - Možnost enostavne predelave na drugi tip obdelovanca v serijski proizvodnji.
  - Možnost obdelave več različnih obdelovancev z avtomatskim prehodom na drugi tip obdelovanca.
3. Koncept stroja:

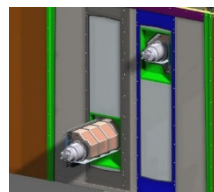
Koncept se določi glede na zahtevo obdelovanca in na želje kupca. Stroj je sestavljen vedno iz standardnih komponent. V Uniorju lahko ponudimo sledeče koncepte strojev:

- 5-osni dvovretenski obdelovalni stroji z ločenimi obdelovalnimi osmi.
- 5-osni enovretenski linearni stroji z eno, dvema ali več vpenjalnimi pripravami 3,4-osni obdelovalni stroji.
- Stroji RWH.
- Stroji FPZ.
- Stroji za globoko vrtanje različnih tipov.
- Stroji z vrtljivo mizo za visoko serijsko proizvodnjo.

- Ostali koncepti, kateri zagotavljajo idealno razmerje med ceno, življenjsko dobo in zahtevano kvaliteto.



Slika 3: Osni dvovretenski obdelovalni stroji z ločenimi obdelovalnimi osmi.



Slika 4: CAD model notranjosti stroja.



Slika 5: 5-osni enovretenski linearni stroji z eno, dvema ali več vpenjalnimi pripravami.



Slika 6: primer vpenjalne priprave.



Slika 7: Stroj RWH.



Slika 8: Notranjost stroja.



Slika 9: Stroj FPZ.



Slika 10: Primer stroja za globoko vrtanje.



Slika 11: Stroj za vrtljivo mizo za visoko serijsko proizvodnjo.



Slika 12: Stroj s robotom.

## 5 KORAK: PRIPRAVA VPENJALNIH KONCEPTOV

Se izvede v Uniorju, kjer se tudi vpenjalni sistemi izdelajo in testirajo. Tako se zagotovi 100% kompatibilnost stroja, orodja in vpenjalnega sistema, ter dolgotrajna stabilna proizvodnja:

1. Definiranje RPS in vpenjalnih točk.
2. Izdira vpenjalnih in podpornih cilindrov, kateri so lahko s hidravličnim, pnevmatskim, električnim ali mehanskim pomikom.
3. Definiranje varovalnih sistemov naleganja obdelovancev in vpetja cilindrov.
4. Izdelava ohišja, katero je izdelano iz Litine GGG, da se zagotovi dušenje vibracij in 100% tesnost oljnih kanalov. Izdelava komponent.
5. Montaža in funkcionalni test.
6. Meritve in umerjanje.

## 6 KORAK: PRIPRAVA AVTOMATIZACIJE PROCESA

1. Izdelava se načrt optimalne poti obdelovanca od mesta prevzema surovca, do mesta oddaje gotovega obdelovanca.

2. Izvede se integracija vseh potrebnih strojev in naprav za zagotovitev izvedbe vseh korakov, katere so zahtevane na tem obdelovancu (transportne poti, kamere, laserski zapis, roboti, pralni stroji in stroji za posnemanje srha, kontrole in merjenja, post-proces merjenje,...
3. Povezava posameznih naprav v centralni krmilnik.
4. Povezava centralnega krmilnika s kupčevim nadzornim sistemom.
5. Integracija Industrije 4.0.

## 7 KORAK: SERVIS V BLIŽINI KUPCA

Servis je eden od pomembnejših dejavnikov pri odločanju za dobavitelja opreme:

1. Kratek reakcijski čas <4h v Sloveniji.
2. Strokovni personal, kateri tudi izdeluje te stroje.
3. Komunikacija v slovenskem jeziku.
4. Zaloga rezervnih delov v bližini.

## 8 KORAK: GARANCIJA IN ŠOLANJE

Zelo pomembno je izobraziti kupčev personal za pravilno uporabo strojev in opreme, da se

Tudi v Sloveniji se proizvaja nemška kakovost in se zagotavljajo evropski ter svetovni standardi. Z orientacijo na kupčeve želje pa smo naredili korak več in se približali kupčevim pričakovanjem.



Slika 13: Servisi po svetu.

## PREDNOSTI UPORABE ADAPTIVNIH REZKALNIH STRATEGIJ

Mario LONČAR, Boštjan RAZBORŠEK, Mirko FICKO, Simon KLANČNIK, Ivo PAHOLE  
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

### IZVLEČEK

V članku so predstavljene značilnosti in prednosti uporabe adaptivnih strategij rezkanja. Njihovo bistvo je prilagajanje poti orodja obliki izdelka tako, da so zagotovljeni čim boljši pogoji za odrezavanje. Pod dobrimi pogoji za odrezavanje v tem primeru razumemo čim bolj stalne obremenitve rezalnega orodja, kar zagotavlja večjo obstojnost in/ali produktivnost orodja. Ponudniki CAM-programске opreme navajajo velike prihranke pri obdelovalnem času in orodjih, s preizkusom smo se odločili to preveriti. Predstavljen je preizkus obdelave s strategijo adaptivnega rezkanja in primerjava s klasičnimi oblikami poti pri rezkanju. Rezultati so bili stroškovno ovrednoteni in so pokazali očitne prednosti uporabe adaptivnih strategij napram klasičnim oblikam poti. Prihranki so tudi v realnih razmerah znatni.

### 1 UVOD

Z razvojem adaptivnih strategij rezkanja so se proizvajalci CAM programske opreme začeli ukvarjati s ciljem doseganja optimalnih pogojev odrezavanja med obdelavo. Da bi to dosegli je treba prilagoditi obliko poti orodja izdelku. Ob tem, da strategija obdela celotno izbrano prostornino, mora zagotavljati čim boljše pogoje odrezavanja. Z uporabo takšnih strategij rezkanja lahko podjetja bistveno zmanjšajo stroške obdelave in so tako sposobna doseči večjo konkurenčnost na trgu.

Na trgu obstaja, kar nekaj proizvajalcev strategij adaptivnega rezkanja, vsak od njih ima svoje značilnosti in prednosti. Sčasoma so postale adaptivne strategije rezkanja vse bolj integrirane v CAM programsko opremo. Njihova uporaba se tako ne razlikuje več bistveno od uporabe klasičnih strategij rezkanja. Na trgu se pojavljajo pod različnimi oznakami: iMachining, Adaptive Clearing, Adaptive Roughing, Adaptive Milling itd. [6].

### 2 PREIZKUS ADAPTIVNEGA REZKANJA

#### 2.1 Značilnosti in prednosti adaptivnega rezkanja

Strategije adaptivnega rezkanja v primerjavi s klasičnimi strategijami rezkanja ponujajo kar nekaj prednosti [1-3]. Večina prednosti izhaja iz

dejstva, da oblika poti zagotavlja manjše spremembe obremenitve orodja, kot je to pri strategijah, ki imajo za edini cilj, odstranitev prostornine surovca, da bi dobili končno obliko.

Lastnosti adaptivnega rezkanja:

- velika in konstantna globina reza ob visoki rezalni in podajalni hitrosti,
- gladke poti orodja,
- skoraj konstantna obremenitev orodja med obdelavo in naletom/iztekom,
- velika izkoriščenost orodja,
- brez nenadnih sprememb smeri ali hitrosti odrezovanja,
- oblika izdelka je razdeljena na več območij, glede na značilno obliko v določenem območju je izbrana najustreznejša oblika poti.

Prednosti adaptivnega rezkanja:

- skrajšanje časa obdelave,
- idealno za trde materiale (uporaba v orodjarstvu),
- podaljšanje življenjske dobe orodja,
- zelo dobra kakovost obdelane površine,
- večja natančnost,
- konstantna rezalna sila,
- zmanjšanje toplotnih in mehanskih obremenitev obdelovanca.

Razen prej naštetih prednosti, ki jih obljublajo proizvajalci se ob uporabi takšnih strategij pojavljajo tudi določene slabosti.

Slabosti adaptivnega rezkanja:

- večje nevarnost kolizije zaradi večjega števila hitrih premikov orodja med območji rezkanja,
- nevarnost poškodbe orodja in stroja zaradi večjih obremenitev orodja,
- zahteva uporabo strojev z visokohitrostno obdelavo,
- nevarnost pojava vibracij orodja ob uporabi neustreznega orodja,
- nevarnost pojava vibracij na stroju stroja ob uporabi neustreznega krmilja/stroja.

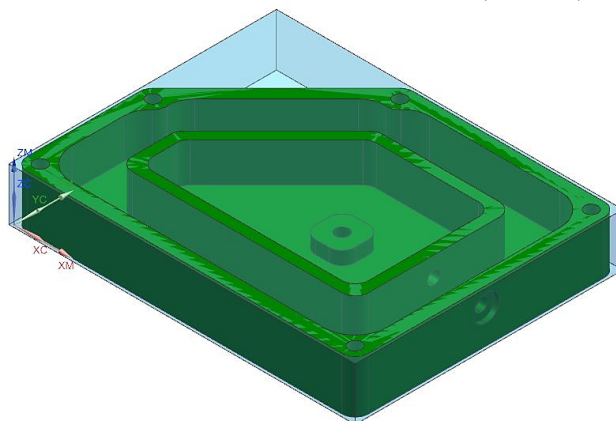
Strategije adaptivnega rezkanja so namenjene predvsem izvajanju visokohitrosnih obdelav ob upoštevanju vseh zahtev za visokohitrosne obdelave, kot so ustrezni rezalni parametri, ustrezno orodje, vpenjanje, hlajenje itd. Strategije temeljijo na prilagajanju orodnih poti obliki izdelka, za to uporabljajo kombinacijo dveh osnovnih oblik poti orodja in sicer so to trohoidne ter spiralne poti. Takšne poti orodja omogočajo gladke premike orodja med obdelavo, kar pomeni, da ni sunkovitih prehodov iz enega reza v drugi rez, kot je to pogosto pri klasičnih postopkih rezkanja, ki temeljijo predvsem na linearnih poteh orodja [6]. Z uporabo trohoidnih poti orodja adaptivne strategije zagotavljajo konstantno rezalno silo, kar je eden izmed osnovnih pogojev za uspešno izvajanje visokohitrostnih obdelav [5].

## 2.2 Primer uporabe strategije adaptivnega rezkanja

Strategijo adaptivnega rezkanja smo testirali na izdelku. Spremljali smo nastajanje odrezkov v odvisnosti od rezalne hitrosti in kakovosti površine. Preizkusili smo strategijo, ki jo ponuja Siemens NX od verzije 12.0 in se imenuje »Adaptive milling«. Namenjena je predvsem za grobo obdelavo.

Preizkusni izdelek je bila prirobnica iz konstrukcijskega jekla C60 natezne trdnosti 550

N/mm<sup>2</sup> in trdote 177 HB. Osnovne dimenzije surovca znašale so 102×132×20 mm (Slika 1).



Slika 1. Prirobnica s surovcem iz konstrukcijskega jekla C60 [6]

Poizkus smo izvedli na 5-osnem CNC obdelovalnem stroju stroju Depo Trimill VU 1709 s krmiljem Heidenhain iTNC 530. Uporabljeno je bilo rezkalo z variabilno geometrijo proizvajalca ISCAR EC-E4L 10-22/32W10CF72 IC900. Uporabljeni rezalni parametri so zapisani v Tabeli 1.

Tabela 1: Izbrani rezalni parametri za grobo obdelavo iz ISCAR kataloga

Rezalni parametri	
Rezalna hitrost $v_c$ [m/min]	160
Število vrtljajev orodja $n$ [min <sup>-1</sup> ]	5093
Pomik na zob $f_z$ [mm]	0,08
Delovni pomik $f$ [mm/min]	1629,76
Prekritje orodja [%]	7
Globina rezanja $a_p$ [mm]	10–20
Dodatek na steno [mm]	0,2

## 2.3 Rezultati testiranja

Po obdelavi s strategijo »Adaptive milling« smo z merilnikom Mitutoyo Surftest SJ-301 izmerili srednji aritmetični odstopok profila Ra.

Izmerjena vrednost Ra je znašala  $1,04 \mu\text{m}$  kar sodi v področje fine obdelave. Odrezki, ki so nastali imajo značilno igličasto obliko, kar je posledica uporabljenih rezalnih parametrov (majhna stopnja prekritja, velika globina rezkanja). Na podlagi nastalih odrezkov, temperature orodja in delovanja CNC obdelovalnega stroja smo ocenili ustreznost izbire rezalnih parametrov. V primeru pravilno izbrane rezalne hitrosti CNC obdelovalni stroj deluje brez vibracij ali segrevanja orodja, odrezki pa imajo svetlo barvo (Slika 2).



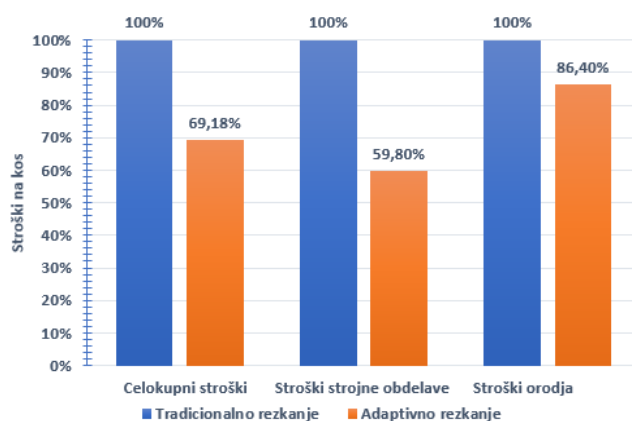
Slika 2. Odrezki, nastali pri izbiri ustreznih rezalnih parametrov [6]

Ob uporabi neustreznih rezalnih parametrov pride do vibracij obdelovalnega stroja in prekomernega segrevanja ter posledično do hitre obrabe orodja. Nastali odrezki zaradi termične obremenitve dobijo rjavo barvo, kot vidimo na Sliki 3. Na podlagi tega lahko sklepamo da je izbira pravilnih rezalnih parametrov bistvena za uspešno uporabo adaptivnih strategij rezkanja.



Slika 3. Odrezki, nastali pri izbiri neustreznih rezalnih parametrov [6]

Uporaba strategije vpliva tudi na stroške obdelovalnega stroja in stroške orodja v primerjavi s klasičnim rezkanjem kar prikazuje Slika 4.



Slika 4 Grafični prikaz skupnih stroškov na izdelani kos [6]

Na testnem primeru smo stroške strojne obdelave uspeli znižati za 40,23 %, stroške orodja pa za 13,6 %. Skupni stroški obdelave so se tako zmanjšali za 30,82 %, predvsem na račun skrajšanja obdelovalnega časa .

### 3 SKLEP

Strategije adaptivnega rezkanja imajo veliko prednosti v primerjavi s klasičnim rezkanjem, vendar zaradi zahtevnejšega programiranja in nepoznavanja uporabnikov še vedno niso široko uporabljane. Strategije adaptivnega rezkanja se še vedno razvijajo in izboljšujejo, zato lahko pričakujemo, da bodo v okolju, kjer se zahteva visoka produktivnost sčasoma prevladale in izpodrinile klasične oblike poti.

Edino z razvojem novih, boljših strategij in orodij je mogoče zmanjšati stroške mehanskih obdelav in povečati konkurenčnost na trgu. Z uporabo adaptivnih strategij rezkanja lahko z sorazmerno majhnim vložkom v programsko opremo dosežemo znatne koristi. Tehnične zahteve, ki morajo biti zato izpolnjene, izpolnjuje večina sodobnih obdelovalnih strojev in orodij.

Viri:

- [1] DP Technologx Corp., »ESPIRIT ProfitMilling: A Technical Overview«, 2015. [Online]. Available: <http://www.billwest.de/assets/esprit-profitmilling-white-paper.pdf>. [Accessed 12. 4. 2018].
- [2] T. Vant Erve, »NX CAM Update and future directions: The latest tecnology advances«, 25. 10. 2017. [Elektronski]. Available: [http://www.plm-europe.org/admin/presentations/2017/2073\\_PLM\\_Europe\\_25.10.17-09-00\\_Tom-Vant-Erve\\_SPLM\\_nx\\_cam\\_update\\_and\\_future\\_directi ons.pdf](http://www.plm-europe.org/admin/presentations/2017/2073_PLM_Europe_25.10.17-09-00_Tom-Vant-Erve_SPLM_nx_cam_update_and_future_directi ons.pdf). [Poskus dostopa 12. 4. 2018].
- [3] SolidCam, »iMachining NX FAQ«, [Online]. Available: <http://www.imachining4nx.com/documentation-nx/>. [Accessed 12. 4. 2018].
- [4] J. B. I. Pahole, Obdelovalni stroji, Maribor: Fakulteta za strojništvo Maribor, 2003.
- [5] Siemens PLM, »Proper Feeds and Speeds with Adaptive Milling in NX 12«, 20. 2. 2018. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/industry/manufacturin g/resources/manufacturing-engineer/speed-up-milling-with-constant-cutter-forces>. [Accessed 12. 4. 2018].
- [6] M. Lončar, »Uporaba adaptivnih strategij rezkanja«, Diplomsko delo, Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, 2018.

## OCENA OBDELOVALNOSTI IN STROŠKOV KRIOGENEGA FREZANJA JEKLA ZA POBOLJŠANJE 42CrMo4

**Rok SRAKA, Damir GRGURAŠ, Franci PUŠAVEC**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Katedra za menedžment obdelovalnih tehnologij

### IZVLEČEK

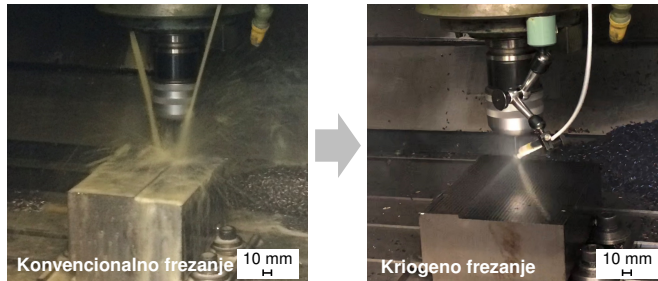
Pri kriogenem odrezavanju, ki se je izkazalo za trajnostno alternativo konvencionalni obdelavi, se namesto škodljivih emulzij na bazi olj uporabljajo kriogeni mediji, ki so dovedeni v rezalno cono v kapljevitem stanju. Članek tako obsega analizo in oceno obdelovalnosti jekla za poboljšanje 42CrMo4 pri kriogenem frezanju ob asistenci sočasnega enokanalnega dovoda kapljevitega ogljikovega dioksida – LCO<sub>2</sub> (ang. Liquid Carbon Dioxide – LCO<sub>2</sub>) in oljne megle – MQL (ang. Minimum Quantity Lubrication – MQL). Količino LCO<sub>2</sub> in MQL se je med eksperimenti frezanja spreminjalo s ciljem ugotovitve najbolj primerne hladilne in mazalne sposobnosti LCO<sub>2</sub> + MQL za dosego najdaljše obstojnosti orodja – frezala. Rezultati obstojnosti orodja pri kriogenem frezanju so bili primerjani z referenčnim konvencionalnim odrezavanjem z uporabo emulzij na bazi olj. Pri tem so bili vsi eksperimenti izvedeni z enakimi rezalnimi parametri, ter enako obdelovalno strategijo. Ugotovljeno je bilo, da je kriogeno frezanje obetaven alternativni postopek, ki je stroškovno primerljiv konvencionalnemu frezanju, podaljša obstojnost orodja, omogoča večji nadzor nad procesom in je čistejši za okolje, ter tako primeren za vpeljavo v industrijo.

### 1 UVOD

Zaradi nenehne potrebe po višji produktivnosti in večje konkurenčnosti na eni strani, ter iskanju trajnostnih alternativ na drugi, se vedno znova išče rešitve, ki bi nudile pozitivne učinke, glede na zastavljene izzive. S stališča odrezavanja to pomeni, da stremimo k zmanjševanju obrabe orodja, kar rezultira v daljšo obstojnost orodja oz. večjo produktivnost.

Pogosto uporabljen material v industriji je jeklo za poboljšanje 42CrMo4, kjer se pri konvencionalni obdelavi z emulzijami srečujemo s problematiko prekomerne obrabe orodja, ki se nato negativno odraža kot dejstvo, da velik del končne cene izdelka predstavlja prav strošek nabave orodja zaradi prekratke obstojnosti letga.

Z vpeljavo kriogenega odrezavanja ob asistenci kapljevitega ogljikovega dioksida (LCO<sub>2</sub>) je moč pričakovati manjšo obrabo oz. daljšo obstojnost rezalnega orodja. Hkrati pa bo možno doseči čistejšo in okolju prijaznejšo tehnologijo, kot prikazuje slika 1.



Slika 1: Obravnavana postopka

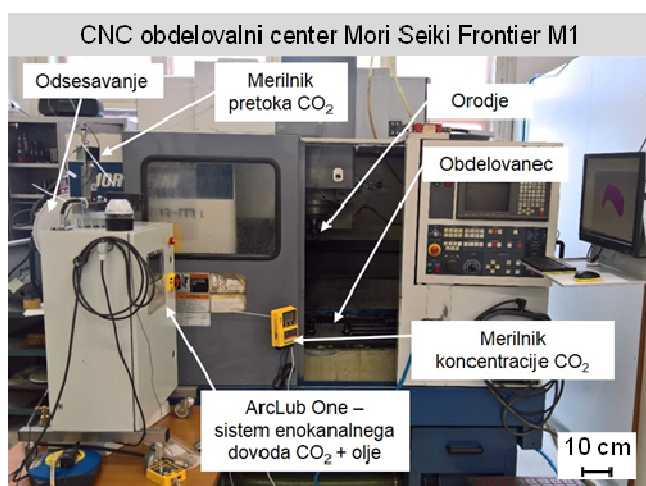
### 2 EKSPERIMENT FREZANJA

Za izvedbo eksperimentov se je uporabljalo:

- CNC obdelovalni center Mori Seiki Frontier M1, z dodano prezračevalno enoto (slika 2),
- sistem ArcLub One (slika 3),
- orodje Widin ZAMUS END MILL,
- material jeklo za poboljšanje 42CrMo4,
- digitalni mikroskop KEYENCE VHX-6000,
- merilnik koncentracije CO<sub>2</sub> v zraku.

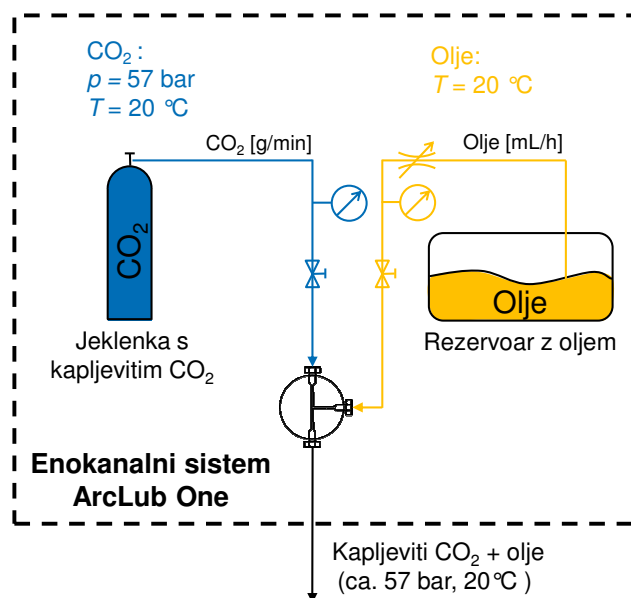
#### 2.1 Eksperimentalni sistem – CNC obdelovalni center in sistem za dovod kriogenega medija

Prednost kriogenega sistema ArcLub One, razvitega na fakulteti, je v sposobnosti mešanja



Slika 2: Uporabljen preizkuševališče

kriogenega medija LCO<sub>2</sub> in primerne olja v kapljevitem stanju. Deluje po prikazani shemi (slika 3). Za zunanje dovajanje mešanice v rezalno cono, smo uporabili šobo premera 0.8 mm. Sistem je bil predstavljen na Akademiji strojništva 2018 [1]. Istega leta so avtorji sistema dobili zlato priznanje za najboljšo inovacijo pri Gospodarski zbornici Slovenije [2].



Slika 3: Shema sistema ArcLub One [1]

## 2.2 Parametri freziranja in strategija obdelave

Izbrani material za izvajanje eksperimentov je bilo jeklo za poboljšanje 42CrMo4, ki je eno od nizko legiranih jekel iz kroma, molibdena in mangana. Znan je po svoji žilavosti, dobri torzijski trdnosti in odpornosti na utrujanje. V

industriji se pogosto uporablja za statično in dinamično obremenjene komponente (vozila, motorji, stroji, gredi, zobniki, itd.).

Čelno smo frezali surovec po njegovi dolžini in z vsakim prehodom obdelali 20 cm materiala. Za čim bolj natančno spremljanje obrabe proste ploskve in rezalnega robu, smo izvajali sprva korake po 5 prehodov, kasneje po 10 in na koncu po 20 prehodov. Orodje in izbrani parametri freziranja (tabela 1) so bili med vsemi eksperimenti enaki. Plan eksperimentov pa prikazuje tabela 2.

Tabela 1: Izbrani parametri freziranja

Parameter	Oznaka [enota]	Vrednost
Premer orodja	$D$ [mm]	12
Št. zob frezala	$z$ [l]	4
Vrtljna hitrost orodja	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	4775
Rezalna hitrost	$v_c$ [m/min]	180
Podajalna hitrost	$v_f$ [mm/min]	1337
Podajanje na vrtljaj	$f_n$ [mm/vrt]	334
Podajanje na zob	$f_z$ [mm/zob]	0,07
Globina rezanja	$a_p$ [mm]	4
Širina rezanja	$a_e$ [mm]	3.60

Tabela 2: Definiranje eksperimentov

Št. eksperimenta	Uporabljena HMS	
	CO <sub>2</sub> [g/min]	MQL [mL/h]
1	emulzija	
/	CO <sub>2</sub> [g/min]	MQL [mL/h]
2	100	60
3	100	20
4	150	60
5	150	20

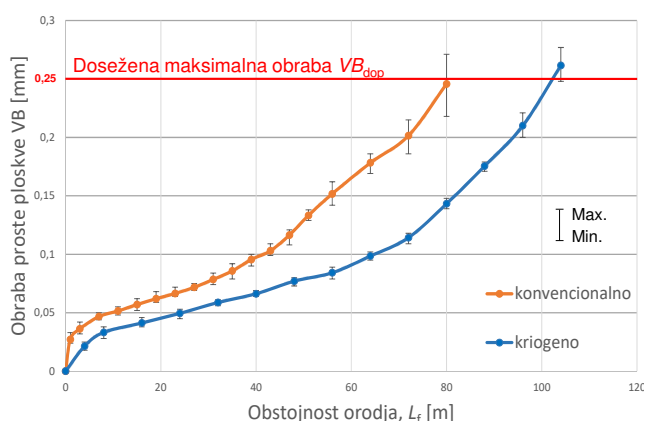
## 2.3 Spremljanje obdelovalnosti materiala

Med izvajanjem eksperimentov smo spremljali obrabo proste ploskve orodja. Oblike odrezkov smo spremljali z vzorčenjem po standardni preglednici po SIST ISO 3685. Koncentracijo CO<sub>2</sub> v neposredni okolici stroja pa smo merili z namenskim merilnikom RLA 100 proizvajalca WITT-GASETECHNIK.

## 2.4 Rezultati in diskusija

### 2.4.1 Obraba in obstojnost orodja

Rezultati poteka obrabe so predstavljeni na sliki 4, kjer smo dopustno obrabo proste ploskve določili na  $VB_{dop} = 0.25$  mm.



Slika 4: Primerjava obrabe med referenčno emulzijo in kriogenim postopkom

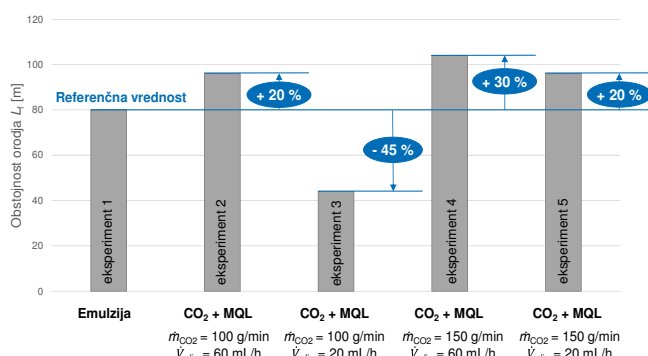
Primerjalni rezultati različnih mazalno/hladilnih učinkov so prikazani v tabeli 3 in na sliki 5. Rezultati kažejo, da sta tako faktor hlajenja, kot tudi mazanja, pri podaljševanju obstojnosti orodja, zelo pomembna. S primerjalnega grafa (slika 5) je razvidno, da je obraba proste ploskve pri kriogenem načinu skozi celotno območje nižja, kar na koncu rezultira v 30% podaljšanje obstojnosti orodja. Pri konvencionalnem postopku v zadnjem delu grafa opazimo tudi širok raztros dobljenih rezultatov, kar kaže na vedno bolj neenakomerno obrabo med posameznimi rezalnimi robovi orodja, ko se začnemo približevati dopustni obrabi  $VB_{dop}$ . Medtem ko raztros rezultatov, dobljenih pri alternativni kriogeni obdelavi, kaže na bolj stabilen in kontinuiran proces.

Tabela 3: Obstojnost orodij pri eksperimentih

Eks.	Uporabljena HMS	Prehodi	$L_f$ [m]
1	Emulzija (7% mešanica koncentrata)	400	80
2	Kriogeno (100 g/min $CO_2$ + 60 mL/h olja)	480	96
3	Kriogeno (100 g/min $CO_2$ + 20 mL/h olja)	220	44
4	Kriogeno (150 g/min $CO_2$ + 60 mL/h olja)	520	104
5	Kriogeno (150 g/min $CO_2$ + 20 mL/h olja)	480	96

### 2.4.2 Oblika odrezkov

Oblike odrezkov smo spremljali z vzorčenjem pri vsakem eksperimentu. Odrezki se med eksperimenti konvencionalnega in kriogenega

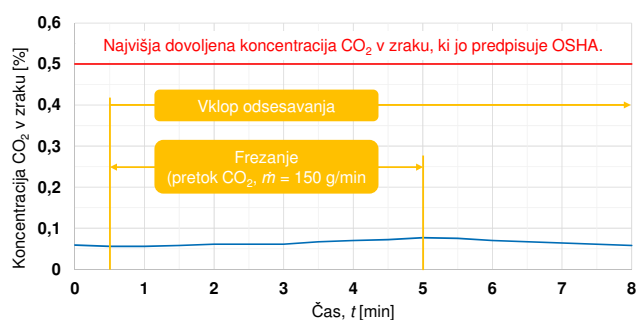


Slika 5: Grafični prikaz obstojnosti orodij med izvedenimi eksperimenti

frezanja, pri novih in obrabljenih orodjih, niso značajno spreminjali po obliki, saj so bili rezalni parametri med eksperimenti enaki. Vse vzorčene odrezke smo po preglednici SIST ISO 3685 uvrstili v skupino 10, kar predstavlja zadovoljivo obliko odrezkov v obliki lusk, dolžine do največ 5 mm.

### 2.2.3 Koncentracija $CO_2$ v zraku

Iz meritev koncentracije  $CO_2$  v zraku, v odelovalnem stroju (slika 6) je razvidno, da so koncentracije  $CO_2$  pri kriogenem frezanju daleč pod mejno vrednostjo 0.5%, ki jo organizacija OSHA (ang. *Occupational Safety and Health Administration*) predpisuje, kot najvišjo dovoljeno.



Slika 6: Dosežena koncentracija  $CO_2$  ob uporabi prezračevalne enote s filtrom

## 3 STROŠKOVNA ANALIZA

Za stroškovno primerjavo porabe HMS pri najuspešnejšem kriogenem postopku z referenčno emulzijo, smo izbrali 7% emulzijo koncentrata B-COOL 9665 proizvajalca BLASER. Olje, uporabljeno pri kriogenih postopkih je bilo BLASER VASCOMILL CSF 22. Pri kriogenem

frezanju pa smo upoštevali strošek samega kaplevinastega CO<sub>2</sub>, ki je 0.3 €/kg.

## 4 ZAKLJUČKI

Tabela 3: Izbrani parametri freziranja

Hladilno mazalni medij	Poraba	Cena	cena/čas obdelave
CO <sub>2</sub>	150 g/min	1,13 €/L	0,220 €/min
olja	60 mL/h	8 €/L	0,008 €/min
		Σ	0,228 €/min
		Σ/orodje	17,74 €

Tabela 3: Izbrani parametri freziranja

Parametri primerjave	Enota	Konv.	Krio.	Razlika [%]
cena orodja	[€]	60	60	0%
V <sub>odrez. materiala</sub>	[cm <sup>3</sup> ]	1152	1497,6	30%
MRR	[cm <sup>3</sup> /min]	19,25	19,25	0%
obstoynost orodja L <sub>f</sub>	[m]	80	104	30%
obstoynost orodja T	[min]	59,84	77,79	30%
pripravljalno zaključni čas	[min]	15	15	0%
delovnih dni v letu 2019	[dni]	249	249	0%
dvoizmensko delo (15ur/dan)	[h]	3735	3735	0%

Tabela 4: Razlika med postopkoma na letni ravni

Primerjane veličine	Enota	Konv.	Krio.	Razlika [%]
porabljeno orodje	[kos/leto]	2993	2416	-19%
obdelana razdalja	[m]	961,60	1008,80	5%
obdelan volumen	[cm <sup>3</sup> ]	13847,04	14526,72	5%
delovne ure stroja	[h/leto]	2985,00	3131,44	5%
Primerjani stroški				
strošek orodja	[€/leto]	179580	144960	-19%
neposredni stroški HMS	[€/leto]	300	42838	
razlika med postopkoma	[€/leto]	179880	187798	4%

Kriogeno odrezavanje, kjer v rezalno cono dovajamo kriogeni medij v kapljevitem stanju, se izkazuje za trajnostno alternativo konvencionalnemu odrezavanju ob uporabi emulzij na bazi olj, še posebej pri odrezavanju t.i. težko-obdelovalnih materialov. Ponuja daljšo obstojnost orodja v primerjavi s konvencionalnim frezanjem (oblivanje z emulzijo), kar kaže na boljše obdelovalnost materiala 42CrMo4, pri izbranih parametrih obdelave. Uporaba sočasnega enokanalnega dovoda CO<sub>2</sub> in olja izdatno pripomore k bolj enakomerni in predvidljivi obrabi proste ploskve orodja in rezalnega robu, ter zmanjšuje glavne obrabne mehanizme, kot sta krušenje in lom, katere zasledimo pri klasičnem oblivanju z emulzijo.

Obratno, z učinkovitim hlajenjem in mazanjem pa lahko povečamo obdelovalne parametre in obdržimo obstojnost orodja enako. Kriogeno odrezavanje v tem primeru doprinese povečano produktivnost. Dodatno pa je potrebno izpostaviti, da uporaba kriogenih postopkov za odrezavanje, eliminira uporabo in kasnejše potrebne reciklaže problematičnih emulzij. Med samo proizvodnjo pa v primeru kriogenega odrezavanja obdelovalanci ostajajo v primeru CO<sub>2</sub> čisti, saj kapljeviti CO<sub>2</sub> po dovodu izhlapi in pušča površino suho.

Zahvala:

Zahvala Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za ustanovitev raziskovalnega projekta L2-8184 in raziskovalnega programa P2-0266.

Viri:

- [1] D. Grguraš, L. Sterle, F. Pušavec: Odrezavanje ob asistenci sočasnega dovoda CO<sub>2</sub> in MQL. V: *Akademija strojništva 2018 : povezovanje in mreženje*, 7. mednarodna konferenca strojnih inženirjev 2018, Ljubljana: Zveza strojnih inženirjev Slovenije. 2018, letn. 7, št. 3/4, str.: 54, ilustracije dostopne na: <http://www.zveza-zsis.si/2018/10/25/svet-strojnistva-akademija-strojnistva-2018/> [COBISS.SI-ID 16316699].
- [2] Gospodarska zbornica Slovenije, Inovativna Slovenija, Novice, Dan inovativnosti s podelitvijo priznanj najboljšim inovacijam : [https://www.gzs.si/skupne\\_naloge/inovativna\\_slovenija/Novice/ArticleId/66122/dan-inovativnosti-s-podelitvijo-priznanj-najboljsim-inovacijam-zbornica-osrednjeslovenske-regije](https://www.gzs.si/skupne_naloge/inovativna_slovenija/Novice/ArticleId/66122/dan-inovativnosti-s-podelitvijo-priznanj-najboljsim-inovacijam-zbornica-osrednjeslovenske-regije)

## RAZVOJ IN RAZISKAVA SISTEMA ZA PULZIRAJOČE VISOKOTLAČNO DOVAJANJE HLADILNO-MAZALNE TEKOČINE V PROCESU STRUŽENJA

**Matjaž KERN, Franci PUŠAVEC**  
UL, Fakulteta za strojništvo

### IZVLEČEK

*V prispevku je predstavljen razvoj in raziskava vpliva pulzirajočega visokotlačnega dovajanja hladilno-mazalnega sredstva na odrezovalni proces struženja. Pri obdelavah težko-obdelovalnih materialov, kot je na primer zlitina Inconel 718, prihaja zaradi njihove slabe toplotne prevodnosti, deformacijskega utrjevanja in drugih materialnih lastnosti do povišanih temperatur v rezalni coni in do visokih obremenitev, ki se odražajo v kratki obstojnosti rezalnega orodja. Temu se lahko v določeni meri izognemo z dovajanjem hladilno mazalne tekočine (HMT), ko z njo oblivamo ali jo še bolje dovajamo v obliki curka in pod visokim tlakom neposredno v rezalno cono in tako z njeno uporabo znižamo temperaturo rezalne cone, zmanjšamo trenje in podaljšamo obstojnost orodja. Pri tem nimamo natančne kontrole nad procesom tvorjenja in lomljenja odrezkov, zato je bil cilj dela razviti in testirati pulzirajoči sistem za dovajanje hladilno mazalne tekočine pod visokim tlakom ter izdelati primerjalno analizo struženja težko obdelovalnega materiala v treh obdelovalnih pogojih, kjer bo prvič (1) odrezovanje potekalo s klasičnim oblivanjem, drugič (2) bo hladilno mazalna tekočina z višjim tlakom usmerjena med odrezek in orodje v obliki curka konstantnega pretoka in tretjič (3), se bo njegov pretok v času spreminjal; hladilno mazalno tekočino se bo dovajalo pulzno. Prispevek vključuje tudi predstavitev rezultatov pridobljenih pri posameznih setih eksperimentov oz. končne ugotovitve glede zmožnosti nadzora lomljivosti oziroma dolžine odrezkov, porabe energije, obrabe orodij in rezalnih sil pri uporabi omenjenih obdelovalnih-hladilnih režimov.*

### 1 UVOD – PREDSTAVITEV PROJEKTA

Materiali na osnovi nikljevih in titanovih zlitin, ki izkazujejo izjemne lastnosti, kot na primer visoko trdnost in trdoto, visoko kemično odpornost, nizko toplotno prevodnost ter visoko razmerje med trdnostjo in težo so močno zaželeni in uporabljeni predvsem v vesoljski in energetski industriji. Iste lastnosti se pri odrezavanju omenjenih materialov odražajo v zelo visokih temperaturah v rezalni coni, kar negativno vpliva na zmogljivost in obstojnost rezalnih orodij. Z namenom podaljšanja obstojnosti se je razvil postopek visokotlačnega (VT) struženja, pri katerem dovajamo hladilno-mazalno tekočino (HMT) pod visokim tlakom v obliki curka v rezalno cono, med odrezek in cepilno ploskev rezalnega orodja. Tekočina pod visokim tlakom prodre bistveno globlje v režo kot pri običajnem oblivanju s HMT in tvori tekočinski klin, ki zmanjša temperaturo v rezalni coni, zmanjša trenje in posledično rezalne sile med obdelovancem in orodjem ter prispeva k lomljenju odrezkov. To rezultira v povečani produktivnosti in nižjih stroških proizvodnje zaradi večje obstojnosti orodja.

V industriji je ta postopek pri določenih aplikacijah omejen na grobe obdelave, saj se pri finih obdelavah odlična sposobnost lomljenja odrezkov lahko odraža v poškodbi obdelane površine. Visoko-hitrostni curek HMT lahko močno pospeši odrezke, ki posledično obstreljujejo površino obdelovanca in s tem negativno vplivajo na njegovo integriteto površine. Nepoznavanje fizikalnih interakcij pri procesu VT struženja opušča njegovo uporabo in ne izkorišča polnega potenciala te tehnologije.

V ta namen se je razvila ideja o sekvenčno nadzorovanemu pulzirajočemu visokotlačnemu odrezavanju. Z novo tehnologijo bi lahko dosegli boljšo energetsko učinkovitost, boljši nadzor in poznavanje procesa tvorbe odrezkov ter boljšo integriteto površine in bi s tem bolje izkoristili potencial omenjene tehnologije.

Cilj raziskave je bil razviti sistem, ki bo omogočal sekvenčno nadzorovati pulzirajoči visokotlačni curek hladilno mazalne tekočine, ki ga preko ene ali več šob dovajamo v rezalno cono med odrezek in cepilno ploskev orodja, ter ugotoviti njegov vpliv na proces rezanja.

Pričakovan rezultat je znižanje trenja v rezalni coni in posledično znižanje rezalnih sil pri odrezavanju, kar rezultira v daljši obstojnosti orodja. Drugi doprinos takšne tehnologije je bistveno večji nadzor nad procesom odrezavanja, ker lahko preko nastavitve parametrov pulziranja tvorimo in nadziramo ugodne oblike odrezkov. V času pulza nižjega tlaka HMT zagotavljamo mazanje in hlajenje kritičnega kontakta (orodje - obdelovanec), v času pulza visokega tlaka HMT pa povzročimo nadzorovan lom odrezka, še vedno pa zagotavljamo hlajenje in mazanje rezalne cone. Cilj je torej izkoristiti potencial že obstoječe tehnologije visokotlačnega odrezavanja tako, da povečamo nadzor nad procesom, zmanjšamo obrabo rezalnega orodja, izboljšamo energetske učinkovitost procesa in s tem izboljšamo produktivnost oziroma znižamo stroške procesa hkrati pa tehnologijo dvignemo na raven, kjer se zaradi boljšega nadzora lomljenja odrezkov lahko bistveno izboljša tudi integriteta površine in natančnost procesa.

## **2 SISTEM ZA VISOKOTLAČNO PULZIRAJOČE DOVAJANJE HMT**

Eden izmed glavnih ciljev projekta je bil razvoj sistema za pulzirajoče dovajanje hladilno-mazalnega sredstva (Slika 1) ki smo ga razvili v laboratoriju LABOD.

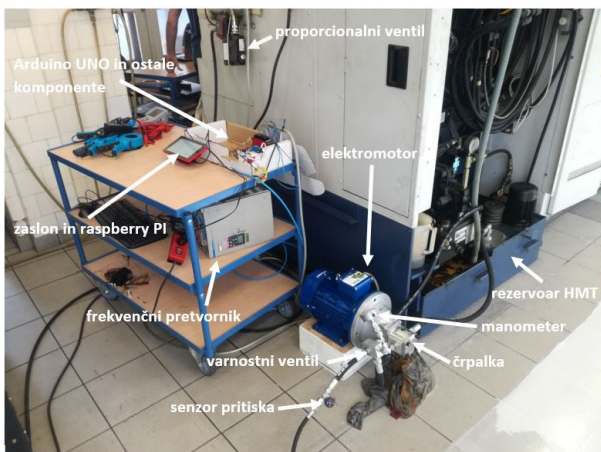
Ključni del sistema, ki vključuje VT dovod hladilno-mazalne tekočine vključuje sistem za generiranje tlaka oz. visokotlačno črpalko. V našem primeru to nalogo opravlja klasična hidravlična zobniška črpalka z maksimalnim izhodnim tlakom 250 barov, katero poganjamo s 3-faznim asinhronskim elektromotorjem, ki je krmiljen preko frekvenčnega pretvornika Altivar 58F. Iztisnina črpalke je odvisna od števila vrtljajev le te, tlak na izhodni strani pa tudi od velikosti izstopne šobe. Večja ko je šoba, nižji je tlak. V našem primeru je bilo za doseg pulzirajočega dovajanja HMT izhodni presek krmiliti, kar smo dosegli z uporabo hidravličnega ventila. Večina ventilov, ki so uporabljeni v hidravliki ali na splošno za nadzor smeri toka tekočine in pretoka so direktno krmiljeni klasični oz. konvencionalni ventili, kar pomeni, da lahko zavzamejo načeloma le dve stanji pretoka – popolnoma zaprti ali popolnoma odprti. Le ti za

našo aplikacijo niso primerni saj želimo imeti zvezni nadzor nad odprtostjo ventila (njegovo pozicijo) zato smo izbrali proporcionalni tokovni ventil, z visoko frekvenco preklapljanja, zmožnostjo delovanja do 350 bar in tokovnim krmiljenjem s signali med 0 in 20 mA.

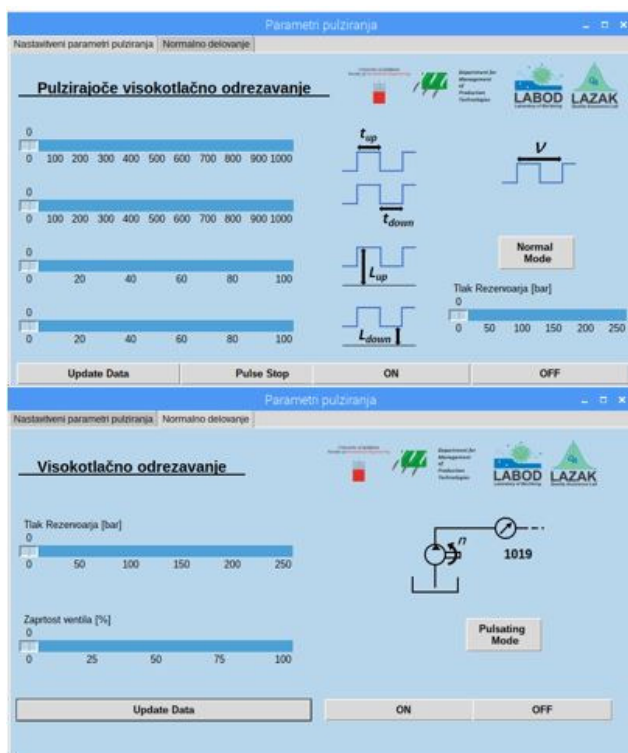
Poleg teh dveh bistvenih elementov novo razvitega sistema, je bilo potrebno poskrbeti še za ustrezno filtracijo HMT, varnostni ventil na tlačnem vodu, ki omejuje maksimalen tlak sistema in ščiti komponente pred tlačnimi preobremenitvami, za hidravlični akumulator in ustrezno zadrževanje tlaka v sistemu, za pretvorbo signalov krmiljenja in nadzor senzorjev, kar pomeni potrebo po nadzorno-krmilni enoti. Srce tega sistema tako predstavlja mikro-računalnik, preko katerega krmilimo vse komponente v sistemu in od sistema prejemo povratne informacije o delovanju. Preko njega in uporabo mikro-krmilnikov, signalnih pretvornikov in ostalih elektronskih komponent nadzorujemo tokovno krmiljenje ventila, krmiljenje črpalke in vse analiziramo vse povratne podatke senzorjev.

Sistem je izjemno fleksibilen, omogoča odrezavanje s klasičnim oblivanjem, visokotlačno in pulzirajoče visokotlačno odrezavanje. Poleg različnih načinov delovanja sistema, je tudi nastavljanje parametrov delovanja sistema zelo enostavno, pregledno in uporabniku prijazno, saj uporabnik do nastavitve vseh parametrov dostopa preko zaslona na dotik z le nekaj ukazi (Slika 2). Uporabnik lahko določa tlak sistema, parametre pulziranja, kar zajema čas delovanja visokega in nizkega pulza ter tlak visokega in nizkega pulza, lahko določa začetek pulziranja in le-tega tudi prekine, lahko določi ali bo odrezavanje VT ali pulzirajoče VT in podobno.

Dodatna specifika, ki je omogočena je to, da lahko uporabnik med samim procesom pulzirajočega visokotlačnega odrezavanja nastavi nove parametre pulziranja in jih posodobi kadarkoli, brez, da bi morali sistem zaustaviti ali čakati na posodobitev z zamikom. Poleg tega sistem zajema podatke o tlaku v sistemu in frekvenci pulziranja, kar je dodatna kontrola nad procesom dovoda HMT. Vse nastavitve se določajo programsko preko grafičnega vmesnika aplikacije, ki smo jo razvili v laboratoriju LABOD.



Slika 1: Prototipni sistem za pulzirajoč dovod VT HMT.



Slika 2: Prikaz grafičnega vmesnika sistema za a) Nastavitve v načinu pulzega delovanja, b) Nastavitve v načinu oblijanja ali VT dovajanja HMT.

### 3 EKSPERIMENTALNI SISTEM, UPORABLJENA OPREMA IN IZVEDBA EKSPERIMENTOV

Delovanje novo razvitega sistema in vpliv pulzirajočega dovajanja HMT na proces struženja smo preverili in določili z eksperimentalnim struženjem na CNC stružnici Mori Seiki SL-153.

Obdelovanci so bili iz nikljeve zlitine Inconel 718 v obliki palic premera 50,8 mm, ki

smo jih poravnali oz. pripravili na eksperiment z enim preходом orodja, pri finih parametrih struženja, na premer 50 mm. Kot že omenjeno je Inconel 718 težko-obdelovalen material zaradi določenih lastnosti (slaba toplotna prevodnost, deformacijsko utrjevanje...), zaradi katerih je tudi močno zaželen v aplikacijah, kjer so pogoji obratovanja ekstremno zahtevni. To so pogoji z visokimi tlaki in temperaturami, kjer Inconel kljub povišani temperaturi in pritisku obdrži svoje trdnostne lastnosti, poleg tega na površini dodatno tvori debelo oksidno plast, ki le-to tudi ščiti.

Za dovod VT curka v rezalno cono smo izbrali standardno držalo za VT struženje proizvajalca Iscar z oznako PCLNR2525M-12X-JHP, ki ima zgornjo omejitev tlaka 300 bar in združuje možnost dovoda HMT med cepilno ploskev in odrezek ter prosto ploskev in obdelovanec. Držalo smo uporabljali na način, da smo v rezalno cono dovajali zgolj en curek HMT premera 0.8 mm, med cepilno ploskev orodja in odrezek

Izbrana rezalna ploščica iz karbidne trdnine in PVD prevleko ter lomilcem odrezkov je izdelek podjetja Sandvik Coromat ima oznako ISO CNMG 120408-SM H13A.

Med procesom struženja smo poleg tvorjenja odrezkov opazovali tudi rezalne sile. Meritve le teh smo izvedli preko 3-kanalnega dinamometra proizvajalca Kistler. Tega smo povezali v merilno verigo, kjer smo signal (naboj) preko merilnega kabla in nabojnega ojačevalnika peljali do merilne kartice in do osebnega računalnika.

Različni načini dovajanja HMT v rezalno cono potrošijo različno količino energije. Na podlagi tega smo se odločili meriti porabo električne energije pri vseh treh načinih dovoda HMT, kar smo izvedli z uporabo naprave Metrel PowerQ MI2492 in treh tokovnih klešč priključenih na napajalne kable frekvenčnega pretvornika, ki je krmilil črpalko.

Kot pri merjenju električne energije smo obrabo orodij ravno tako spremljali pri treh hladilno-mazalnih režimih. Uporabljali smo merilno napravo Alicona InfiniteFocus SL, ki nam kot rezultat meritve poda 3D model merjene površine z ločljivostjo 100 nm.

### 3 REZULTATI

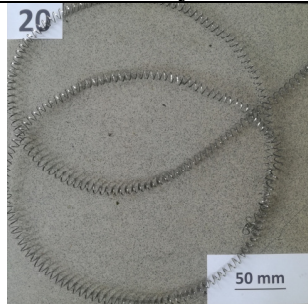
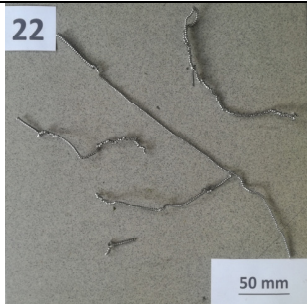
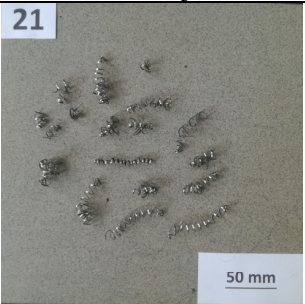
#### 3.1 Tvorjenje in lomljivost odrezkov

Eden izmed glavnih ciljev projekta je bil doseči kontrolirano, predvidljivo in ponovljivo lomljenje odrezkov. Po številnih pred-eksperimentih kjer smo spreminjali tako rezalne parametre kot parametre pulziranja, smo prišli do zaključkov, da pri velikih presekih odrezkov, ko stružimo z veliko globino in podajanjem, samodejno dobimo luskaste odrezke, ki se ob veliki deformaciji lomijo sami od sebe. Pri teh parametrih pulziranja HMT na obliko odrezkov ni imelo vpliva, nasprotno pa se je izkazalo za primere struženja z manjšimi preseki odrezkov. To je pri manjših globinah rezanja kjer je s pulzirajočim dovodom HMT mogoče dobiti ugodne odrezke in ima pulziranje največji vpliv na lomljivost odrezkov, med tem, ko tako visokotlačno odrezovanje in klasično oblikovanje pri takšnih parametrih ne

izboljšata lomljivosti odrezkov ampak vplivata le na njihov radij ovijanja (Tabela 1). Ugotovili smo da za lom odrezka ni poglavitna le velikost sile s katero curek deluje na odrezek (tlak dovajanja HMT), ampak se lom lahko zgodi tudi pri manjši sili, če se le ta skozi čas spreminja, torej HMT dovajamo pulzno. To je razvidno iz tabele 1 kjer pri visokotlačnem dovodu HMT z 200 bar dobimo dolge odrezke z majhnim premerom ovijanja, medtem ko smo s pulziranjem pri vrhnjem tlaku pulza 160 bar uspeli doseči, da se odrezki lomijo. Z izbiro pravih parametrov pulziranja HMT torej lahko dosežemo ugodno obliko odrezkov, še več, z dolžin pulzov oziroma frekvenco pulziranja lahko poljubno izberemo njihovo velikost.

V vseh primerih (Tabela 1) so bili obdelovalni parametri enaki, razlika je bila le v načinu dovoda HMT.

Tabela 1: Odrezki različnih obdelovalnih – hladilnih režimov

Obdelovalni režim	Struženje s klasičnim oblikovanjem	Visokotlačno struženje	Pulzirajoče visokotlačno struženje
Oblika odrezkov			
Tlak na šobi p <sub>šoba</sub> [bar]	2	200	160
Moč črpalke P [kW]	0,38	7,8	4,8

#### 3.2 Obraba

Eden izmed poglavitnih faktorjev pri strojnih obdelavah je obraba orodij, saj od tega зависи čas obdelave in nenazadnje končna cena izdelka. Obrabo rezalne ploščice smo spremljali pri treh obdelovalnih režimih, torej pri klasičnem oblikovanju HMT (tlak HMT 1 bar), visokotlačnem dovodu HMT (tlak HMT 200 bar) in

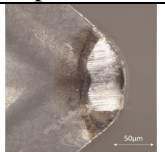
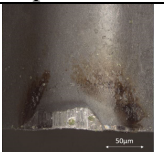
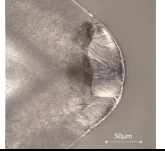
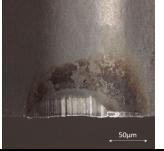
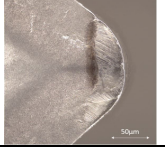
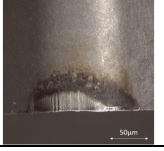
pulzirajočemu VT dovodu HMT (tlak HMT 108 bar). Parametre pulziranja smo nastavili na podlagi predhodnih eksperimentov tako, da je ventil v času visokega pulza bil povsem odprt za čas 60 ms, pri trajanju nizkega dela pulza pa je bil povsem zaprt za čas 140 ms. Rezalni parametri so predstavljeni v tabeli 2.

Tabela 2: Rezalni parametri med spremljanjem obrabe rezalne ploščice.

Material	Rezalna hitrost $v_c$ [m/min]	Podajanje $f$ [mm/vrt]	Globina struženja $a_p$ [mm]
Inconel 718	50	0,28	0,5

Obrabo rezalne ploščice smo spremljali na vsakih 50 mm vzdolžnega struženja, ko smo obdelavo ustavili, ploščico očistili in preverili njeno obrabo tako na cepilni kot prosti ploskvi pod merilno napravo Alicona, vse dokler nismo dosegli mejne obrabe proste ploskve VB 0,3 mm. Izgled rezalnih ploščic po dosegu mejne obrabe je prikazan v tabeli 3.

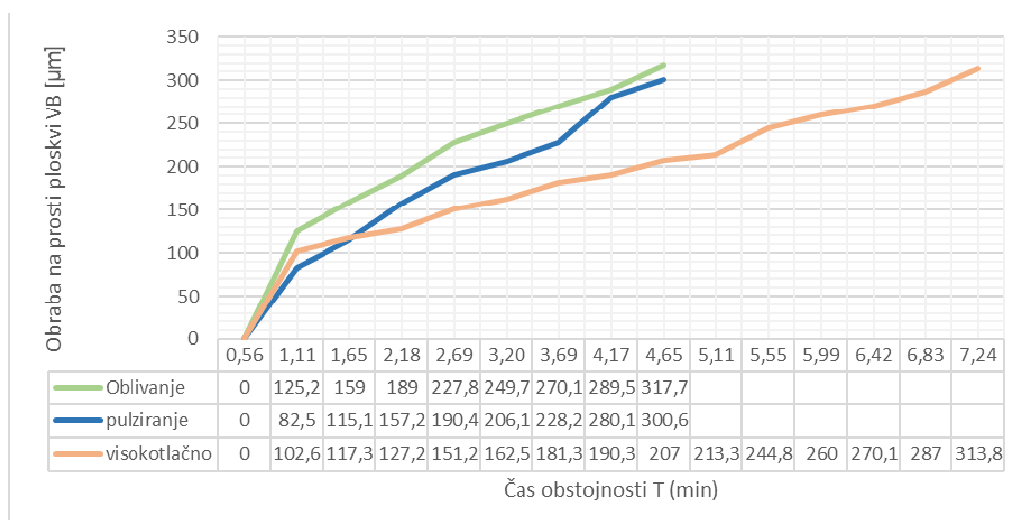
Tabela 3: Obraba cepilne ploskve pri različnih obdelovalnih režimih, ob mejni obrabi proste ploskve.

	Cepilna ploskev	Prosta ploskev
klasično oblivanje		
pulzirajoč dovod HMT		
visokotlačen dovod HMT		

Rezultati na sliki 3 kažejo, da je obstojnost orodja najdaljša v primeru visokotlačnega odrezavanja v primerjavi z ostalima načinoma dovoda HMT, kar potrjuje naša pričakovanja in visokotlačni curek res prodre globlje v rezalno cono, jo učinkovito hladi in s tem podaljša obstojnost orodja. Mejno obrabo proste ploskve ( $VB = 0,3$  mm) smo presegli po 14 prehodih po 50 mm vzdolžnega struženja, čas do mejne obrabe je znašal 7,03 min.

Pulzirajoče visokotlačno odrezavanje sicer ima visokotlačne pulze curka HMT, ki prodrejo za trenutek globlje kot na primer pri klasičnem oblivanju, a se ne vzpostavijo stacionarne razmere ohlajanja, saj se le-te konstantno spreminjajo. Kot rezultat je ohlajevanje orodja manj učinkovito kot pri visokotlačnem odrezavanju a bolj učinkovito kot pri klasičnem oblivanju. V primeru klasičnega oblivanja je tako obstojnost orodja znašala 4,35 min in v primeru pulznega dovajanja 4,65 min.

Če povzamemo, pulzirajoče dovajanje HMT podaljša obstojnost orodja za 7% v primerjavi s klasičnim oblivanjem, v primerjavi z visokotlačnim odrezavanjem pa je obstojnost orodja krajša za 34%.

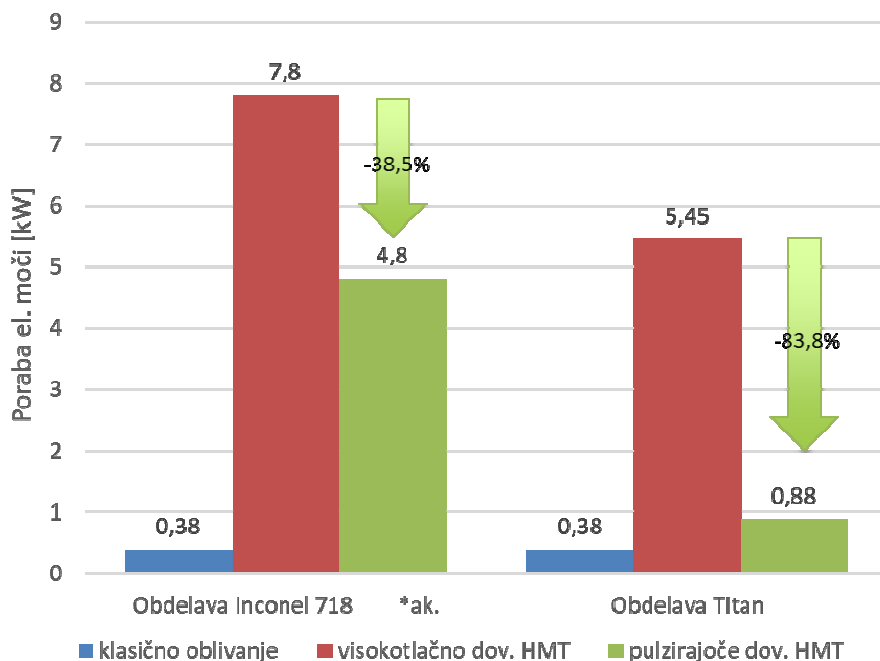


Slika 3: Graf obrabe rezalne ploščice pri različnih načinih dovajanja HM

### 3.3 Poraba električne moči

Od režima dovajanja HMT v rezano cono je odvisna tudi celotna poraba električne moči oziroma energije. Večji ko je odvzem HMT v smislu pretoka in višji ko so zahtevani tlaki, več električne energije potrošimo. Rezultati meritev so prikazani na sliki 4. Razvidno je pri zagotavljanju visokih tlakov porabimo največ energije in je potrebne največ moči da poganjamo črpalko, medtem ko je poraba moči pri pulzirajočem načinu dovoda HMT manjša vendar še vedno večja kot pri klasičnem oblitvanju, saj je potrebno še vedno zagotoviti visok tlak, poleg tega pa se obremenitev na črpalki spreminja in elektromotor črpalko ob padcu tlaka pospešuje in zavira. To se lahko reši z vgradnjo akumulatorja v hidravlični sistem, ki zagotavlja velik volumen visokotlačne HMT, tako, da črpalka lahko vanj z nizkimi in konstantnimi vrtljaji dovaja

visokotlačno HMT a ob pulzu ne izkusi sprememb bremena, pospeškov, zaviranja in podobnih motenj, ki hudo bremenijo in segrevajo elektromotor. S hidravličnim akumulatorjem smo sistem res nadgradili in pri eksperimentih obdelave Titanove zlitine so prihranki pri pulzirajočem načinu jasno vidni. Mogoče je doseči še večje prihranke energije, ki bi jih dosegli z vgradnjo druge, manj močne črpalke, ki bi dosegala visoke tlake a nižje pretoke, saj hipno potrebo po večji količini HMT pokrije hidravlični akumulator. Razlike med močmi med obdelavami Inconela 718 in Titana so tudi posledica različnih nivojev tlaka HMT, ki je potreben za lom odrezkov, pri obdelavi Inconela je tlak visokotlačnega dovajanja znašal 200 bar in visokotlačni del pulza 160 bar, medtem ko smo pri obdelavi titanove zlitine visokotlačno struženje izvedli pri 160 bar in pulzirajoče pri vrhnjem tlaku pulza 50 bar.



Slika 4: Graf porabe električne moči pri različnih načinih dovoda HMT v rezalno cono.

### 3.4 Rezalne sile

Preverili smo še vpliv hladilnih režimov na rezalne sile. Nismo pričakovali močnega vpliva obdelovalnega režima na rezalne sile, saj so uporabljeni tlaki sistema relativno nizki in

povzročajo relativno majhno silo. Poleg tega je šoba na samem držalu orodja in usmerjena na konico rezalnega roba, tako da ima curek HMT večjo vlogo v tem, da prodre čim globlje med odrezek in cepilno ploskev in pripomore pri lomu

odrezka in hlajenju orodja, kakor pa da zniža rezalne sile. Meritve rezalne in podajalne sile med struženjem smo izvedli z uporabo dinamometra proizvajalca Kistler; rezultati so prikazani v tabeli 4.

Tabela 4: Rezalne sile pri različnih načinih dovajanja HMT.

	Struženje s klasičnim oblivanjem	Visokotlačno struženje	Pulzirajoče visokotlačno struženje
Povprečna rezalna sila [N]	155	150	150
Povprečna podajalna sila [N]	525	540	540

Zaključimo lahko, da na potek rezalnih sil hladilno-mazalni režim pri tlakih do okoli 200 bar-ov v našem primeru bistveno ne vpliva, se pa iz grafov poteka sile med procesom struženja opazi večja stabilnost procesa in večja ponovljivost pri uporabi pulzirajočega dovoda HMT ali pri uporabi visokotlačnega dovoda HMT kot pa pri klasičnem oblivanju.

#### 4 ZAKLJUČEK

Visokotlačno odrezavanje obstaja že od 60. let prejšnjega stoletja in že takrat so ugotovili, da omenjena tehnologija prinaša določene prednosti k procesu struženja, med glavnimi so to učinkovitejše hlajenje rezalne cone, podaljšana obstojnost rezalnega orodja, manjša poraba HMT in boljše lomljivost odrezkov. Kljub dolgemu obstoju, razvoju in raziskavam na tem področju pa se visokotlačno odrezavanje zaradi določenih pomanjkljivosti ni močno uveljavilo v industriji. Med pomembnejšimi pomanjkljivostmi so povečani stroški zaradi dodatne opreme, povečana poraba električne energije in meglice emulzije, ki se pojavi ob visokotlačni obdelavi.

Glavni cilj dela je bilo razviti sistem za odrezavanje s katerim bi omenjene hibe obstoječe tehnologije zmanjšali ali celo odstranili in predvsem da bi pridobili nadzor nad tvorbo in lomljenjem odrezkov. V ta namen smo uspešno razvili sistem, ki omogoča visokotlačno pulzirajoče dovajanje hladilno-mazalne tekočine

v rezalno cono in na podlagi izvedenih eksperimentov smo prišli do naslednjih ugotovitev:

1. S pulzirajočim visokotlačnim dovodom HMT v rezalno cono je možno uspešno nadzirati lomljenje odrezkov in doseči ugodne oblike odrezkov. Okvirno smo določili tudi področje rezalnih parametrov in parametrov nastavitvev pulziranja pri katerih je ta efekt pri struženju Inconela 718 najbolj izrazit.
2. Ugotovili smo, da je obstojnost orodja z uporabo pulzirajočega visokotlačnega dovoda HMT boljše kot v primeru klasičnega oblivanja, a slabše kot v primeru uporabe visokotlačnega odrezavanja.
3. Izmerili smo porabo električne moči posameznega obdelovalnega režima in ugotovili, da napram visokotlačnemu odrezavanju pulzirajoče visokotlačno odrezavanje porabi med 35 in 85% manj električne energije. Poleg tega lahko porabo z dodatnimi ukrepi še znižamo.
4. Ugotovili smo, da hladilni režim (klasično oblivanje, visokotlačen dovod HMT, pulzirajoči visokotlačen dovod HMT) na višino povprečnih rezalnih sil bistveno ne vpliva, vpliva pa na stabilnost obdelave, ki je večja v primeru visokotlačnega in pulzirajočega visokotlačnega odrezavanja.
5. Dodatna prednost pulzirajočega dovoda HMT je zmanjšana poraba emulzije napram visokotlačnemu odrezavanju, kaj šele napram klasičnemu oblivanju.

Razvita tehnologija dovajanja HMT v rezalno cono odrezovalnega procesa ima velik potencial in bo po nadaljnjih raziskavah ter razvoju primerna za uporabo v širših aplikacijah industrije.



# 11. INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

**Drugi dan**

**Dvorana 2**

Portorož, 3. in 4. junij 2019



## NASPROTNA OBLIKA GRAVURE V ORODJU ZA BRIZGANJE

Andrej GLOJEK<sup>1</sup>, Matjaž ROT<sup>1</sup>, Mladen KRČIČ<sup>2</sup>, Žiga Thomas KOGOJ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TECOS

<sup>2</sup>Orodjarstvo Knific

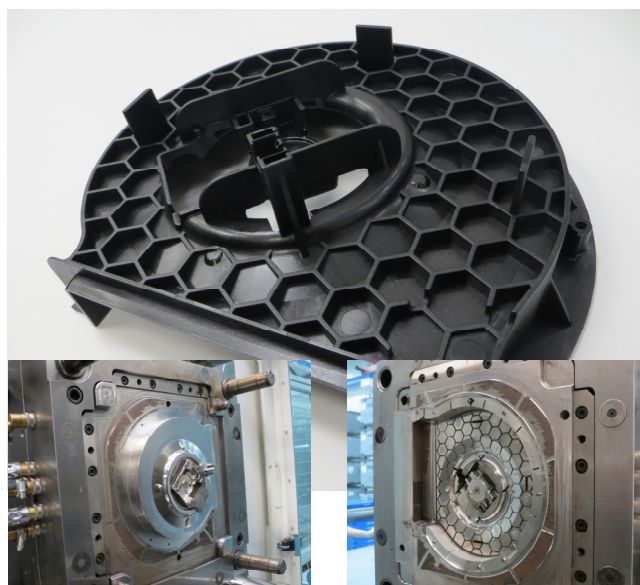
### IZVLEČEK

*Različni skrčki in z njimi povezane deformacije so že vrsto let prava nočna mora vsakega orodjarja, ki izdeluje orodja za brizganje. V zadnjih letih se z razvojem tehnoloških simulacijskih programov za brizganje plastike vse bolj spreminjajo tudi pristopi k izdelavi orodij. Kadar prihaja do velikih deformacij izdelka po izmetu in le-teh ni mogoče zmanjšati s tehnološkimi parametri na brizgalnem stroju oziroma s spremembo mesta dolivanja ali s spremembo debelin sten izdelka, se poslužujemo izdelave nasprotne oblike gravure orodja.*

V podjetju TECOS že več kot dvajset let izvajamo različne vrste simulacij. Simulacije brizganja termoplastov in optimizacije konstrukcije izdelkov in orodij pri tem predstavljajo velik delež našega dela. Pristopi in načini dela pri razvoju plastičnih izdelkov se v zadnjih letih močno spreminjajo in temu trendu poskušamo slediti tudi sami; pa ne samo to, v našem prostoru poskušamo tudi sami vpeljati nove načine in postopke, ki bi pripomogli k skrajšanju razvojnih časov izdelkov in orodij za brizganje.

Pred časom smo tako uspešno zaključili projekt »razvoja« brizgalnega orodja za tržiško podjetje Orodjarstvo Knific, ki se je avgusta lani preselilo v Naklo, kjer je zgradilo velik proizvodno-skladiščno-poslovni objekt. Tako so obeležili svojo 30-letno tradicijo. Danes svoje izdelke večinoma izvažajo na tuje trge, največ v Nemčijo. Razvijajo in izdelujejo najrazličnejša orodja za brizganje termoplastov in tlačno litje aluminija. Specializirani so za brizganje tehnično kompleksnih termoplastičnih izdelkov, komponent za avtomobilsko in elektro industrijo ter za manjše gospodinske aparate. S podjetjem sodelujemo že nekaj let in v tem času smo uspešno zaključili kar nekaj projektov. Pri zadnjem projektu so nas iz podjetja kontaktirali in povedali, da so od nemškega kupca dobili naročilo za izdelavo zelo podobnega orodja, ki so ga pred leti že izdelali, vendar so imeli z njim ob

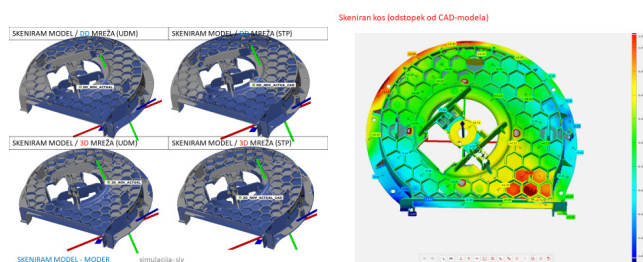
zagonu veliko težav, saj izdelek nikakor ni ustrezal ostrim dimenzijskim zahtevam. Povedali so, da se je orodje velikokrat popravljalo, navarjalo in znova obdelovalo na večjem številu mest in to večkrat, nihče pa ni tega beležil oziroma spremembe vnašal v CAD-modele.



Slika 1: Model izdelka in brizgalno orodje

Ker so podobno orodje in tudi brizgani kosi že obstajali, smo se odločili, da najprej analiziramo obstoječi izdelek in na podlagi tega pripravimo smernice za korekcije na novem izdelku. Tako je bil v prvi fazi narejen sken brizganega kosa in njegova primerjava s simulacijami na različnih

vrstah mreže končnih elementov. Na podlagi tega smo ugotovili, katera vrsta mreže da najboljše rezultate ujemanja (najmanjši odstopek simulacije od realnosti). Tip mreže predstavlja osnovo pred nadaljevanjem dela, potrebno pa je dobro izbrati tudi tip solverja in vrsto termoplasta. V tem primeru je bil izbrani termoplast PP s steklenimi vlakni, kar zadevo še nekoliko bolj zakomplicira. S tem smo na osnovi pred leti zaključenega projekta dobili osnovne smernice za nadaljevanje dela na novem projektu.



Slika 2: Primerjava različnih tipov simulacije z dejansko brizganim izdelkom

Nadaljevanje dela je predstavljalo veliko število izvedenih simulacij in primerjav njihovih rezultatov z osnovnim CAD-modelom oziroma »starim« skeniranim izdelkom ter medsebojno kalibracijo.

I) primerjava skeniranega brizganega kosa s CAD-starim in novim modelom

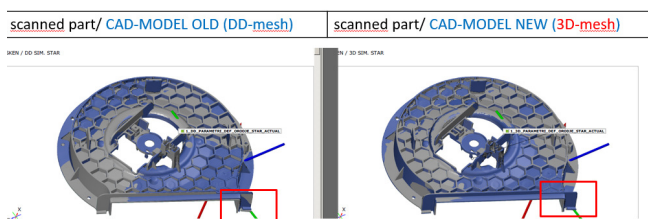
II) primerjava skeniranega brizganega kosa s simulacijo na starem modelu (DD in 3D) simulacija skenirana za star skrček orodja 0,3 %

III) primerjava skeniranega brizganega kosa s simulacijo na novem modelu (DD in 3D) simulacija neskelirana, skelirana za skrček 0,3 % in 0,6 % (za simulacijo uporabljen UDM model)

IV) primerjava skeniranega brizganega kosa s simulacijo na novem modelu (DD in 3D) simulacija skelirana za skrček 0,3 % in 0,6 % (za simulacijo uporabljen STP-model)

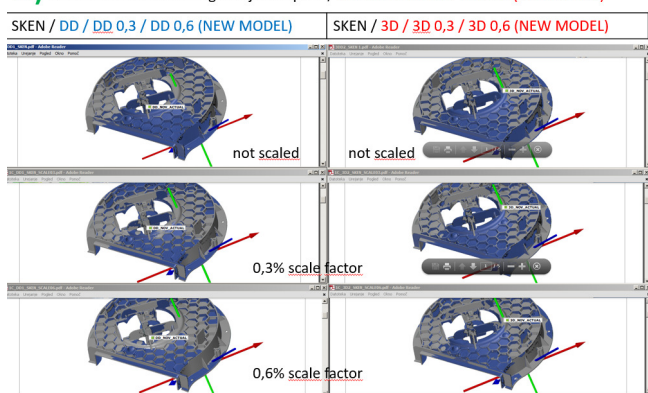
V) primerjava skeniranega brizganega kosa s simulacijo na novem modelu (DD in 3D) simulacija neskenirana (za simulacijo uporabljen UDM / STP- model – primerjava vhoda za simulacijo)

II) VALIDATION: 3D scanning of injected part / SIMULATION DD/3D OLD MODEL (SCALE 0,3%)



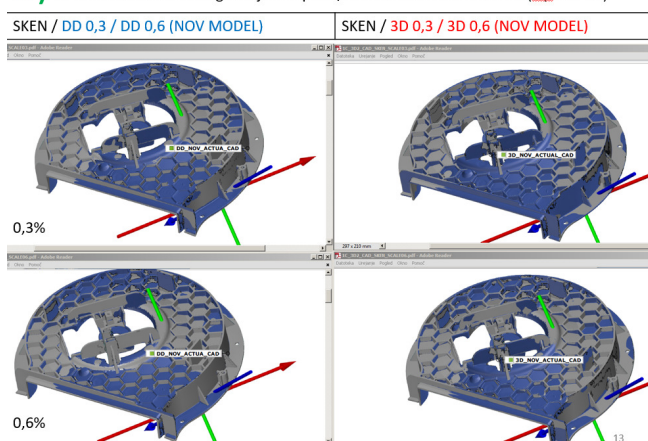
Slika 3: Primerjava skeniranega brizganega kosa s simulacijo na starem modelu (DD in 3D) simulacija skenirana za star skrček orodja 0,3%

III) VALIDATION: 3D scanning of injected part / SIMULATION NEW MODEL (NOT SCALED)

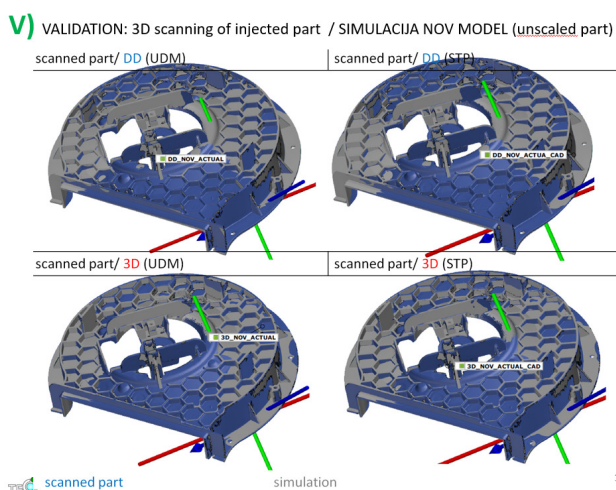


Slika 4: Primerjava skeniranega brizganega kosa s simulacijo na novem modelu (DD in 3D) simulacija neskelirana, skelirana za skrček 0,3 % in 0,6 % (za simulacijo uporabljen UDM-model)

IV) VALIDATION: 3D scanning of injected part / SIMULATION NEW MODEL (stp- INPUT)

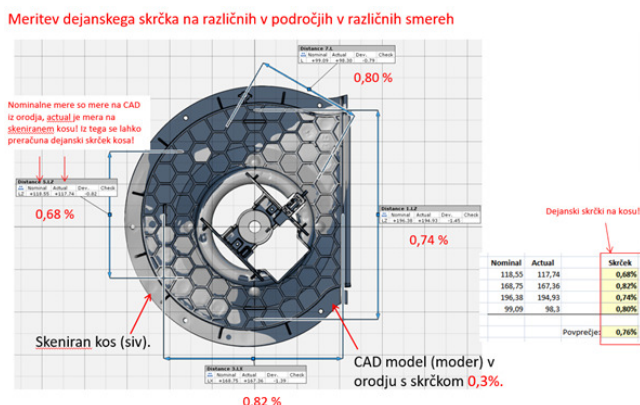


Slika 5: Primerjava skeniranega brizganega kosa s simulacijo na novem modelu (DD in 3D) simulacija skelirana za skrček 0,3 % in 0,6 % (za simulacijo uporabljen STP-model)



Slika 6: Primerjava skeniranega brizganega kosa s simulacijo na novem modelu (DD in 3D) simulacija neskenirana (za simulacijo uporabljen UDM / STP-model – primerjava vhoda za simulacijo)

Po vseh pregledanih rezultatih in primerjav smo opazili, da se vrednosti skrčkov upoštevanih pri prejšnji konstrukciji orodja in dejanskega skrčka izdelka v orodju razlikujejo. Zaradi tega smo morali določiti »pravilni« skrček za novo orodje. Na osnovi meritev skeniranega kosa in CAD-podatkov iz orodja in na osnovi simulacij smo definirali skrček.



Slika 7: Meritev dejanskega skrčka na različnih mestih v različnih smereh

Po definiciji skrčka smo lahko izvedli simulacije na skeliranem modelu in na osnovi teh rezultatov smo lahko pripravili nasprotno deformiran model izdelka ter ga še enkrat preverili s simulacijo brizganja.

### Primerjava: nasprotni CAD – simulacija / CAD Knifc



Slika 8: Odstopanje po optimizaciji nasprotno oblike in skrčka

Preden smo lahko nadaljevali s konstrukcijo, je bilo treba skenirani kos pretvoriti iz STL-formata v STEP-format, za kar so ravno tako poskrbeli v podjetju Tecos. Prejeti STEP-model je potreboval kar nekaj dela, preden se je lahko začela sama konstrukcija orodja. Poleg vseh radiusov, ki si odstranijo zaradi izdelave simulacije brizganja, je bilo treba popraviti številne površine na modelu ter prav tako poenotiti nekatere stene, luknje zaradi kasnejše lažje izdelave orodja. Kljub simulaciji smo na določenih mestih tudi sami podali nekaj dodatka na steno, zaradi enostavnejše korekcije po prvem vzorčenju.

## **Zaključek:**

Na koncu smo za preverjanje pravilnosti naših ugotovitev in potrditev zanesljivosti rezultatov naredili naslednje oziroma smo uporabili spodaj zapisane vrednosti:

- Narejena je bila primerjava simulacije na nasprotnem modelu z osnovnim CAD-modelom.
- Pri simulaciji je bil upoštevan skrček 0,7 %.
- Površinska mreža je kazala bolj realno krčenje, deformacija celotne oblike pa je bila natančnejša pri 3D-mreži, kar smo pokazali s primerjavo skeniranega kosa in rezultati simulacije.
- Za izdelavo nasprotnega 3D-modela smo zato vzeli rezultate 3D-mreže, skrček pa določili z meritvijo in na osnovi DD-mreže.
- Označili smo tudi razlike, ki so nastale pri modelu v orodjarni in našem kontra modelu.
- Model iz orodjarne je bil na zunanji strani spredaj v minus glede na nasprotni model.
- Razlika je bila tudi v luknji za pritrditev (simulacije je med luknjama kazala manjše krčenje (v orodjarni so luknjo zamaknili).

Po prvem vzorčenju smo se zelo približali dejanskemu stanju artikla glede na delavniško risbo. Izvedli smo nekaj manjših korekcij, zaradi prej omenjenega dodatka na steno oz. zaradi zamaknjenosti določenih mer glede na risbo.

Tukaj je treba omeniti, da smo s pomočjo simulacije zmanjšali stroške popravil orodja za štiri petine glede na prvo orodje, ki smo ga izdelali pred leti »na pamet«. Poleg tega smo s podjetjem TECOS zgradili partnerski odnos, ki bo v hudi svetovni konkurenci orodjarstva v prihodnosti še kako pomemben.

## TLAČNI SENZOR ZA NADZOR PROCESA BRIZGANJA PLASTIČNIH MATERIALOV

**Domen ROVŠČEK<sup>1</sup>, Aljaž PODOBNIK<sup>1</sup>, Boštjan BERGINC<sup>1</sup>, Dragan KUSIĆ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Hidria d.o.o.

<sup>2</sup> TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije

### IZVLEČEK

*Z modernizacijo proizvodnje se globalno kaže potreba po inteligentnih sistemih nadzora avtomatiziranih procesov. Želja po »real time« spremljanju proizvodnih parametrov (100 % kontrola) je torej vedno večja, tudi v predelavi plastičnih materialov.*

*Brizganje plastičnih materialov je pogosto slep proces, saj se uporabnik zanaša na procesne parametre samega stroja za brizganje, hkrati pa nima neposrednega vpogleda, kaj se dejansko dogaja v orodju. Obstoječi sistemi za nadzor procesa brizganja ali tlačnega litja aluminija so zelo dragi in zlahka presežejo vrednost orodja, zato se v veliko primerih uporabljajo zgolj za nastavitev orodja pri prvih zagonih. Obstaja torej potreba po sistemu za nadzor procesa brizganja plastike, ki bi bil cenovno dostopen večji množici uporabnikov, hkrati pa bi bil dovolj enostaven za uporabo, pri čemer bi moral imeti natančnost primerljivo z obstoječimi sistemi.*

*Projekt HIDSENZ zajema razvoj inovativnega senzorja tlaka z integrirano elektroniko, ki ga bo mogoče brez velike dodatne investicije vgraditi v vsako orodje za brizganje plastike. Razviti senzor se lahko uporablja za: 1. Zaprtozančni sistem regulacije procesa brizganja oz. spremljanje dogajanja neposredno v orodni votlini in odzivanje procesa na podlagi izmerjenih vrednosti; 2. Diagnostiko procesa in napovedovanje dogodkov v procesu, kar močno zmanjša število slabih polizdelkov in posledično optimizira porabo energije ter osnovnih materialnih virov.*

### 1 UVOD

Kot odgovor na globalizacijo poslovnih in proizvodnih procesov ter na vedno strožje kakovostne in varnostne zahteve se kaže večja potreba po inteligentnih sistemih vodenja avtomatiziranih procesov. Hidria je tako za potrebe avtomobilske industrije zaradi zahtev EURO 6 in EURO 7 razvila senzor tlaka, integriran v žarilno svečko za dizel motorje (ang. Pressure Sensor Glow Plug – PSG). Navedena inovacija je bila predstavljena v številnih člankih in drugih objavah [1][2][3][4], za njo pa je Hidria prejela tudi nagrado CLEPA pod nazivom izdelka Hidria Optymus Pressure Sensing System.

Posledično se je znotraj podjetja akumuliralo poglobljeno znanje o delovanju piezoelektričnih senzorjev, kar se zdaj s pridom uporablja pri razvoju novih izdelkov. Tako se je začel projekt HIDSENZ, v okviru katerega Hidria s partnerjem, podjetjem TECOS, razvija senzorja tlaka za uporabo v industrijskih procesih, predvsem pri brizganju polimerov. Ta tip senzorja se bolj pogosto poimenuje z angleško kratico IMPS (Injection Molding Pressure Sensor). Cilj projekta

je razvoj inovativnega senzorja tlaka z integrirano elektroniko, ki ga bo mogoče brez velike dodatne investicije vgraditi v vsako orodje za brizganje plastike.

### 2 PREDNOSTI UPORABE SENZORJA TLAKA ZA NADZOR PROCESA

S sledenjem smernicam industrije 4.0 in digitalizacijo proizvodnje se v proizvodnih procesih množično uporablja različne tipe senzorjev, pri brizganju plastike so to najpogosteje temperaturni in tlačni senzorji, ki se jih lahko vgradi indirektno (merijo tlak preko sile na izmetačih) ali direktno (merijo tlak v kalupu).

Najbolj tipične aplikacije, kjer so v uporabi tlačni senzorji za brizganje plastike so izdelki za avtomobilsko industrijo, medicinski pripomočki in embalaže, elektronika, kompleksni izdelki in ohišja, biorazgradljivi in reciklirani materiali ter procesi, ki zahtevajo nadzor kvalitete materiala.

Vzdrževanje, nadzor in optimizacija procesa brizganja še zmeraj poteka v veliki meri preko nastavitve procesnih parametrov (npr. čas in hod zapiranja orodja, tlak in hitrost brizganja ipd.),

kljub dejstvu da je direktna meritev tlaka v notranjosti orodne votline praktično eden najboljših indikatorjev oz. pokazateljev kakovosti procesa brizganja. Preko direktne meritve tlaka namreč lahko v realnem času glede na dejanski potek tlačne krivulje izvedemo optimizacijo procesa brizganja, pri čemer z ustreznimi adaptivnimi korekcijami procesnih parametrov skrajšujemo čas hlajenja in posledično tudi celoten čas proizvodnega cikla. Posledično s tem zmanjšamo porabo materiala, vode in električne energije.

Uporaba tlačnega senzorja omogoča tudi diagnostiko in napovedovanje dogodkov v procesu, kar vpliva predvsem na zmanjšanje izmeta. Posledica pravilne uporabe IMPS v procesu brizganja je bistveno manjša pojavnost napak na izdelkih [5], kot npr. prelihanje, nepopolna zalitost, itd.

Sam senzor je sicer prvi korak k razumevanju procesa, pomemben del pa je tudi sistem za spremljanje in nadzor, ki lahko popravlja parametre brizganja na podlagi izmerjenih vrednosti tlaka.

### 3 KONSTRUKCIJA IN VGRADNJA SENZORJA

#### 3.1 Konstrukcija senzorja

Ker je Hidriin IMPS osnovan na podlagi znanja in izkušenj, pridobljenih tekom projekta žarilne svečke s senzorjem tlaka, so v njegovem razvoju uporabljene metode, ki upoštevajo striktno standarde avtomobilske industrije in stroge zahteve kupcev, zato je konstrukcija senzorja za brizganje plastike robustna in prilagojena na najrazličnejše zunanje vplive.

Glavna prednost Hidriinega IMPS napram konkurenčnim izdelkom je ta, da ima znotraj ohišja vgrajeno elektroniko. Integrirana elektronika ima številne pozitivne učinke:

- Signal se že znotraj elektronike ojača in pretvori v napetost, torej za meritev tlaka ni potrebno uporabljati dodatnih dragih zunanjih nabojnih ojačevalnikov.
- Izhodni signal senzorja je napetost in ne naboj (kot običajno), posledično so signalni kabli bistveno bolj neobčutljivi na vplive okolja, cenejši in bolj robustni.

- Namensko razviti procesor (ASIC) znotraj senzorja je opremljen s programsko opremo, ki obdela signal in lahko izvaja različne kompenzacije (npr. termično kompenzacijo).

Sliki 1 in 2 prikazujeta trenutno konstrukcijo senzorja tlaka (A-vzorci) in predvideno konstrukcijo za serijsko proizvodnjo.



Slika 1: Prototip (A-vzorec) IMPS

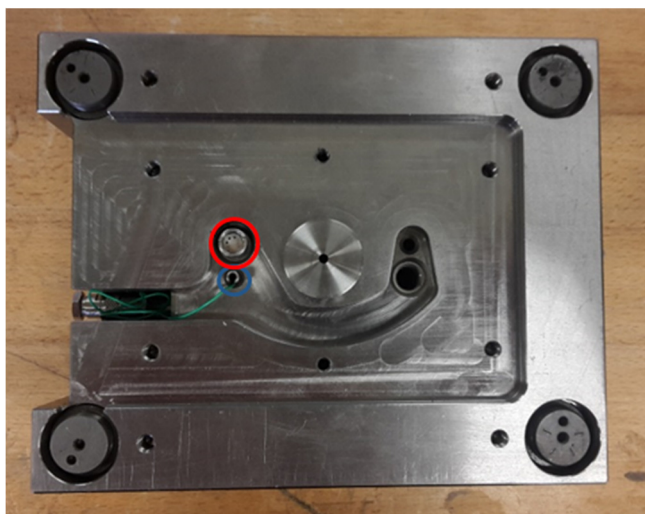


Slika 2: Predvidena serijska konstrukcija IMPS

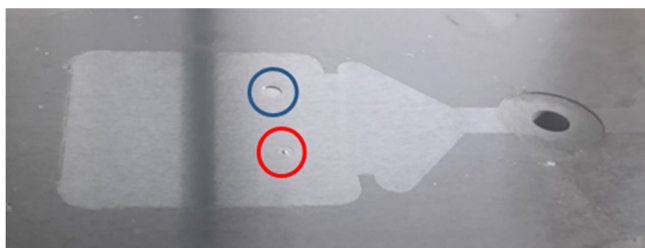
Glavna razlika med njima je v dolžini – trenutno je okrog 60 mm, končna dolžina pa bo približno 40 mm. Senzor ima konico premera 2 mm, ki je v stiku s talino. Preko te konice se prenaša sila, ki je ekvivalentna tlaku v kalupu, na senzorski del oz. na piezoelektrični element (krajše piezo). Značilnost pieza je ta, da ob obremenitvi odda naboj, ta naboj pa se nato v elektronskem delu senzorja ojača in pretvori v napetost, poleg tega pa program znotraj ASIC-a v elektronskem delu signal tudi obdela in kompenzira neželene napake. Izhodni kabel iz senzorja ima 3 vode: napajanje, ozemljitev in signal (0 - 5 V).

### 3.2 Vgradnja senzorja

Senzor se običajno vgradi v dolivno stran kalupa. Za montažo se lahko uporabi distančno cevko točno določene dolžine ali pa M10 pritrdilni vijak. Na sliki 3 je viden način vgradnje referenčnega (proizvajalca Kistler) in Hidriinega IMPS senzorja v orodje, slika 4 pa prikazuje konici obeh senzorjev, ki sta v stiku z brizganim izdelkom.



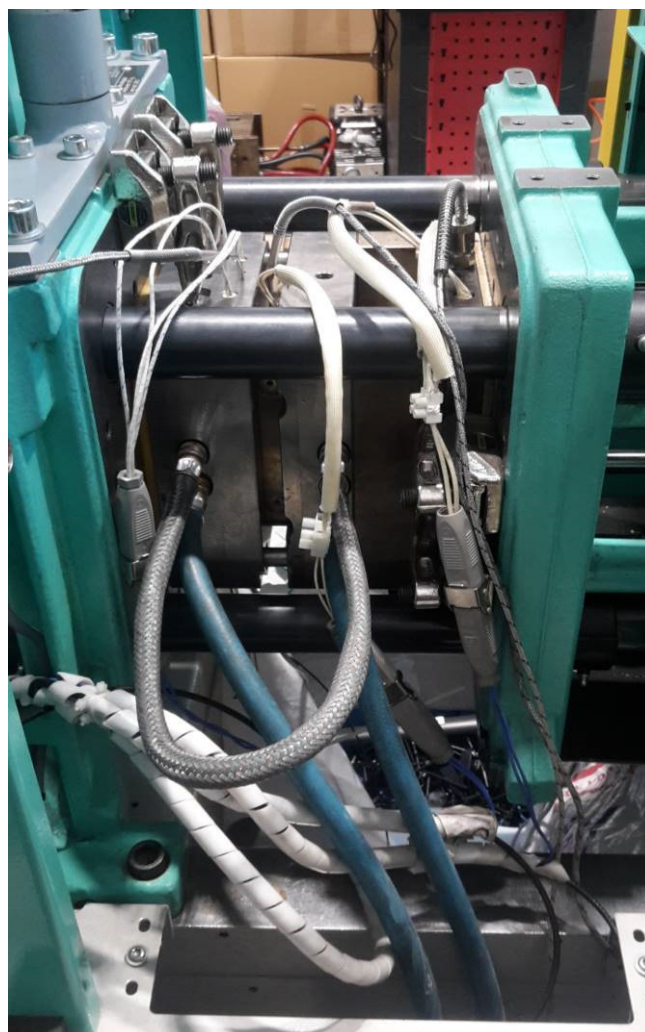
Slika 3: Lokaciji referenčnega (modro) in Hidriinega IMPS (rdeče) senzorja v kalupu na brizgalni strani



Slika 4: Konica referenčnega (modro) in Hidriinega IMPS (rdeče) senzorja na brizgalni strani orodja z vidnim obrisom izdelka

### 4 REZULTATI MERITEV PROTOTIPOV

Prve prototipe (A-vzorci) se je testiralo v dveh orodjih, ki sta prikazani na slikah 5 in 6. Orodje 1 na sliki 5 ima možnost temperiranja z grelci in vodo, orodje 2 pa ima na voljo le temperiranje z vodo.



Slika 5: Testiranje v orodju 1 s priključenim temperiranjem z vodo in grelci (kontrola temperature s 3 termočleni)

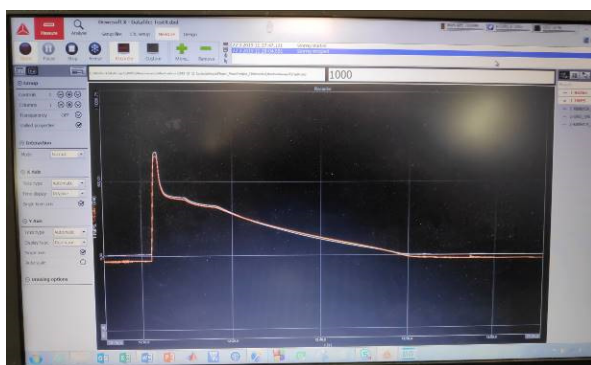


Slika 6: Testiranje v orodju 2 s priključenim temperiranjem z vodo

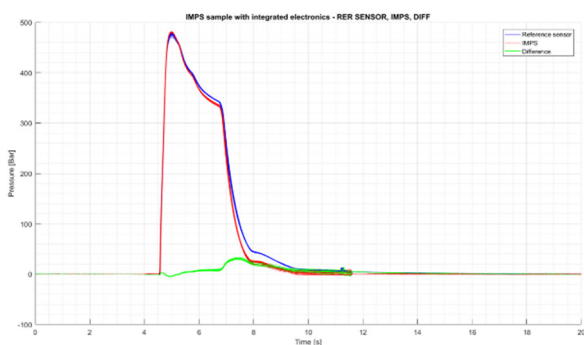
Na obeh orodjih se je testiralo več različnih plastičnih materialov (PP, PA, ...). Pri tem se je uporabilo dva različna kalupa, izdelka iz teh dveh kalupov pa sta prikazana na sliki 7. Modri (tanjši) je primeren predvsem za analizo krajših ciklov – do 10 s, rdeči (debelejši) pa je primeren tako za analizo krajših kot daljših ciklov – od 5 s do 45 s. Na njuni površini so vidni minimalni obrisi obeh senzorjev, referenčnega in testiranega. Slika 8 prikazuje uporabniški vmesnik za meritve na stroju, slika 9 pa postprocesiranje meritev ter primerjavo signala ref. in testiranega senzorja.



Slika 7: Izdelka iz dveh različnih testnih kalupov



Slika 8: Uporabniški vmesnik za meritve na stroju



Slika 9: Postprocesiranje in obdelava signala (modro – referenca, rdeče – Hidriin IMPS, zeleno – razlika)

Cilj testov na orodju je, da se ovrednoti predvsem naslednje karakteristike IMPS:

- Kvaliteta kalibracije (nivo ojačanja)
- Linearnost signala in histereza
- Temperaturna odvisnost signala
- Sposobnost kompenzacije temperaturnih efektov znotraj cikla brizganja
- Delovanje prožilnika za začetek in konec posameznega cikla (senzor dopušča možnost digitalnega ali avtomatskega proženja cikla)
- Vzdržljivost elektronike na povišane temperature

Poleg meritev na orodju potekajo tudi številna testiranja komponent, podsklopov in celotnega izdelka v laboratorijskih pogojih. Analizira se predvsem posamezne izolirane pojave, ki vplivajo na kakovost končnega signala (npr. temperaturne vplive na signal, linearnost, delovanje elektronike in softwarea, ...).

## 5 SKLEP

Projekt HIDSENZ, v katerem sodelujeta Hidria in TECOS, zajema razvoj inovativnega senzorja tlaka z integrirano elektroniko, ki ga bo mogoče brez velike dodatne investicije vgraditi v vsako orodje za brizganje plastike. Projekt je trenutno v fazi testiranja prototipov in konstrukcije serijskih izdelkov. Razviti senzor se bo lahko uporabljalo za kontrolo procesa brizganja in odzivanje na podlagi izmerjenih vrednosti tlaka ter za diagnostiko in posledično zmanjšanje števila slabih izdelkov.

Viri:

- [1] Šuligoj A.: Glow plug breakthrough, *Engine Technology International* 9(2011), str. 76.
- [2] Šuligoj A.: Eco-friendly Glow plug, *Engine Technology International* 9(2012), str. 97.
- [3] Šuligoj A.: Pressure sensor advance, *Engine Technology International* 3(2014), str. 64.
- [4] Spletna stran Hidrie: »Svečka s senzorjem tlaka« (<http://si.hidria.com/si/o-nas/projekti-reference/7708/detail.html>)
- [5] Kusić D., Hančič A.: Influence of molding conditions on the shrinkage and warpage behavior of standardized test specimens, *AIP Conference Proceedings* 1779(2016).

## BIOOSNOVANI POLIMERNI MATERIALI – VEČ KOT LE BIOPOLIMERI. VLOGA DODATKOV, KOMPATIBILIZATORJEV, POLNIL IN OJAČAL

**Thomas WILHELM, Silvester BOLKA, Gregor KRAFT, Janez SLAPNIK**

Fakulteta za tehnologijo polimerov, Ozare 19, 2380 Slovenj Gradec

### IZVLEČEK

*Biopolimeri pridobivajo na zanimanju zaradi očitne potrebe po bolj odgovorni skrbi za okolje. Volumen svetovne proizvodnje biopolimerov je še zmeraj nizek, predstavlja namreč le 1 – 2 % svetovne proizvodnje polimerov.*

*Komercialno uporabljeni bioosnovani polimerni materiali pa ne vsebujejo le biopolimerov, ampak so mešanice polimera z drugimi komponentami, na primer dodatki, kompatibilizatorji, polnili in ojačali – posledično morajo biti tudi ti dodatki bioosnovani. V prispevku bomo diskutirali potrebo po teh bioosnovanih komponentah ter predstavili nekaj indikativnih raziskav na tem področju.*

### 1 UVOD

Polimerni materiali so plod človeške iznajdljivosti in inovativnosti. Njihove izjemne lastnosti in vsestranskost so pripeljale do zgodbe o uspehu brez primere: od konca druge svetovne vojne je bilo proizvedenih približno 8,3 milijarde ton plastike [1], leta 2017 pa je globalna letna proizvodnja plastičnih materialov dosegla nov mejnik in sicer 348 milijonov ton [2]. Predvidevamo da se bo povpraševanje po polimernih materialih še naprej povečevalo. Letni obseg proizvodnje pa bi se lahko leta 2030 povečal na 750 milijonov ton in leta 2050 na 1,8 milijarde ton [3].

Uspešnost polimerni pa ima svojo ceno. Medtem ko plastični materiali med uporabo zagotavljajo številne prednosti, pa njihova odstranitev predstavlja težavo. Kopičenje polimernih odpadkov na odlagališčih in v naravnih okoljih pa povzroča vse več skrbi. Ocenjuje se, da je bilo ustvarjenih 6,3 milijarde ton polimernih odpadkov, od tega je bilo le 9 % recikliranih, 12 % sežganih, 79 % pa jih je končalo na odlagališčih ali v okolju [1].

Druga velika skrb je, da je velika večina polimernih materialov izdelana iz fosilnih virov, kar pomeni, da ti materiali niso trajnostni. Med 4 % in 6 % svetovne proizvodnje nafte in

zemeljskega plina se porabi kot surovina za izdelavo plastike [2].

Potreba po prehodu k načelom krožnega gospodarstva je več kot očitna, poudarjena je bila na primer v podrobnem poročilu McKinsey, Ellen MacArthur fundacije in Svetovnega gospodarskega foruma [4] ter Evropske strategije za plastiko v Krožni ekonomiji evropske komisije [5].

V tem kontekstu so lahko bioosnovani materiali izvedljiva alternativa, saj so izdelani iz obnovljivih surovin, mnoge od njih je mogoče kompostirati ali reciklirati, okoljski odtis njihove proizvodnje pa je lahko nižji od proizvodnje plastike na osnovi nafte. Bioplastika trenutno predstavlja približno le en odstotek letne proizvodnje plastike in je še vedno niša [6].

Kvalitativna analiza bioosnovane plastike, ki so jo opravili Álvarez-Chávez in sodelavci, je pokazala, da celo bioosnovana plastika ne zadovoljuje vseh meril trajnosti. Zaradi tega avtorji navajajo številna priporočila, ena od teh zahtev je raziskava varnejših dodatkov, kopolimerov in katalizatorjev [7]. Za takšno raziskavo je potrebno uporabiti načela zelene kemije [8].

Očitno je, da lahko popolnoma trajnostne bioosnovane polimerne materiale dosežejo le v primeru, ko je trajnostni ne le polimer, ampak

tudi vsi posamezni dodatki, kompatibilizatorji, polnila in ojačala.

Posledično je potrebno nadomestiti fosilno osnovane sintetične komponente z bioosnovanimi materiali. Podroben pregled trenutno razpoložljivih bioosnovanih komponent podaja Biron [9]. Specifične skupine dodatkov so obravnavane v različnih raziskavah, na primer Jin in sodelavci obravnavajo plastifikatorje [10], Ambrogi in sodelavci antioksidante [11], Bridson in sodelavci pa UV in termične stabilizatorje [12].

Mohammed in sodelavci so predstavili pregled polimernih kompozitov ojačenih z naravnimi vlakni [13], T. Väisänen in sodelavci pa so predstavili pregled novih bioosnovanih komponent za polimerne kompozite z naravnimi vlakni [14].

Glede na zgoraj navedena dejstva, lahko v prihodnosti pričakujemo močno povečano uporabo bioosnovanih dodatkov, kompatibilizatorjev, polnil in ojačal, s tem pa se odpirajo nove in obetavne perspektive za takšne materiale.

V tem prispevku bomo predstavili nekatere indikativne poskuse, ki prikazujejo potencial bioosnovanih komponent v povezavi z bioosnovanimi polimernimi materiali.

## 2 REAKTIVNA EKSTRUZIJA KOT ORODJE ZA PRIPRAVO BIOOSNOVANIH KOMPATIBILIZATORJEV

Eden izmed najbolj uporabljenih kompatibilizatorjev je HDPE grafitiran z malein anhidridom (HDPE-g-MA). Alternativa malein anhidridu je itakonski anhidrid (IAN), ki ga je mogoče enostavno pripraviti iz obnovljivih virov [15] in je komercialno dostopen.

V indikativnih eksperimentih smo grafitirali itakonski anhidrid (IAN) na bioosnovani HDPE s postopkom reakcijskega ekstrudiranja.

### 2.1 Eksperimentalni del

925 g HDPE (Braskem SHC 7260) smo obdelali s 75 g raztopine dikumil peroksida (DCP) (26,7 %) in antioksidanta (Irganox 1010 BASF), (6,7 %) v acetonu. Granule smo mešali

pri 40 ° C, dokler aceton ni popolnoma izparel, nato smo dodali 50 g IAN.

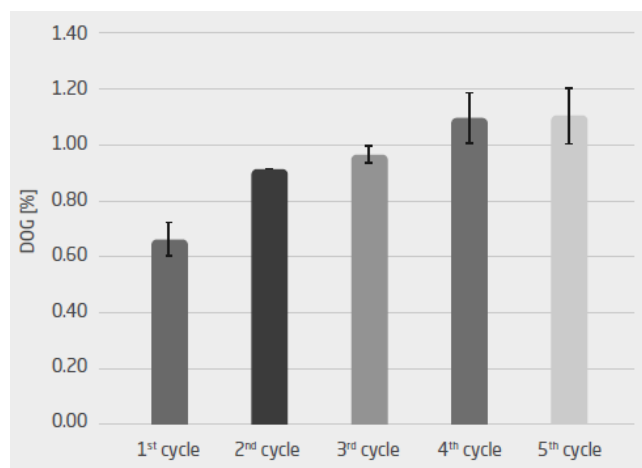
Mešanica je bila ekstrudirana z Labtech LTE 20-44 dvopolžnim ekstruderjem, s temperaturo cilindra 160 ° C in obrati polža 50 min<sup>-1</sup> (zadrževalni čas je znašal 120 s). Ekstrudirane filamente smo ohladili v vodi in jih granulirali. Vzorec za analizo je bil odvzet po vsakem ciklu ekstrudiranja. Oksidacijski indeks (OI) smo določili po metodi opisani v standardu ASTM F2102.

Učinek povečanega zadrževalnega časa smo simulirali s ponovnim ekstrudiranjem materiala.

### 2.2 Rezultati

Uspešno grafitiranje lahko preverimo z infrardečo (IR) spektroskopijo. IR absorpcijski trakovi pri 1785 cm<sup>-1</sup> in 1712 cm<sup>-1</sup> kažejo, da so dobljene funkcionalne skupine tako v anhidridni kot kislini skupini.

Kot pričakovano, se stopnja grafitiranja (DOG) povečuje z višanjem zadrževalnega časa (število ponovljenih ciklov ekstruzije) iz 0,66 % (1. Cikel) do 1,10 % (5. Cikel), prikazano na sliki 1.

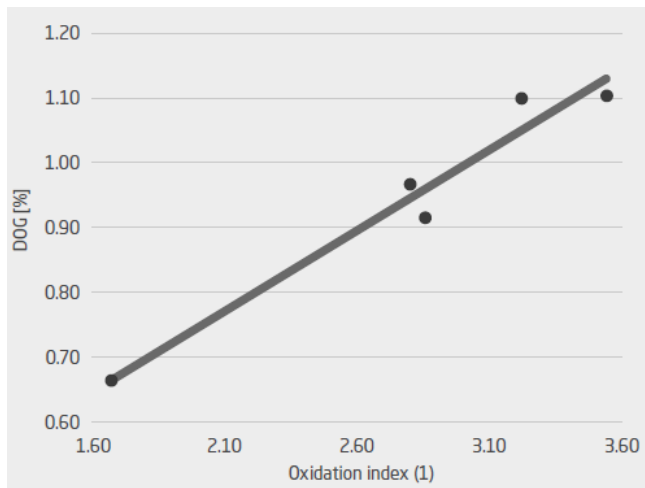


Slika 1: Stopnja grafitiranja (DOG) pri različnih ciklih ekstruzije

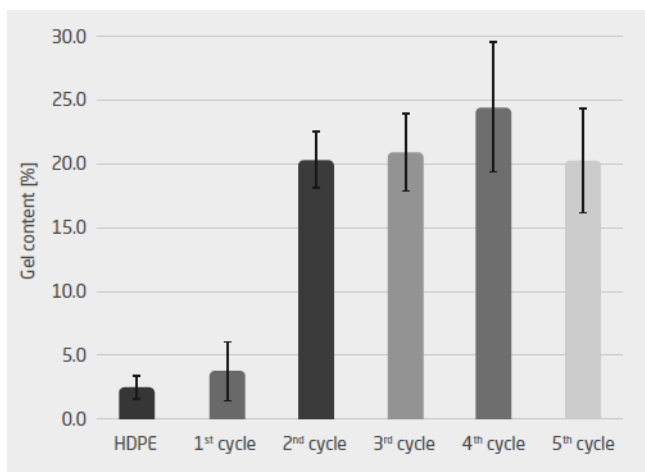
Oksidacijski indeks je bistveno narasel z višanjem stopnje grafitiranja, kar kaže na prisotnost karbonilnih skupin v polimeru (slika 2).

Vsebnost gela ekstrudiranega HDPE brez dodatka reakcijske mešanice je bila 2,5 %. Vsebnost gela HDPE-g-IAN materiala je bila

rahlo višja po prvi ekstruziji (3,8 %) in bistveno višja (okrog 20 %) v vzorcih, ki so bili izpostavljeni večkratni ekstruziji (slika 3).



Slika 2: Oksidacijski indeks kot funkcija stopnje grafitiranja (DOG)



Slika 3: Vsebnost gela pri različnih ciklih ekstruzije

Dobljeni HDPE-g-IAn polimer lahko uporabimo kot kompatibilizator za HDPE kompozite z naravnimi vlakni in/ali polnili.

### 3 NARAVNA VLAKNA KOT OJAČITEV ZA TERMOPLASTE

Naravna vlakna, kot so vlakna bombaža, konoplje, lana, sisala in koprive, lahko nudijo bolj trajnostno alternativo sintetičnim vlaknom za uporabo kot ojačitev v termoplastičnih materialih. V tem poglavju poročamo o indikativnih

poskusih z lanenimi vlakni v primerjavi s steklenimi vlakni. Vlakna lana smo zmeli na mlinu za mletje termoplastičnih izdelkov pod dolžino 5 mm in jih nato peletirali. Dobljene pelete smo osušili pod vsebnost vlage 0,1 m. % in jih skupaj z dodatkom 3 m.% kompatibilizatorja (HDPE-g-MA) kompavndirali v polipropilen (PP) na dvopolžnem ekstruderju, da smo dobili kompozit z vsebnostjo 30 m.% lanenih vlaken. Iz kompozita smo s postopkom brizganja plastike pripravili preizkušance za določanje mehanskih lastnosti. Preizkušancem smo okarakterizirali mehanske in termične lastnosti z nateznim preizkusom, upogibnim preizkusom, preizkusom udarne žilavosti po Charpyju, dinamično mehansko analizo in termogravimetrično analizo. Tabela 1 povzema natezne lastnosti osnovnega PP, PP kompozita (PP-K) in komercialno dostopnega PP ojačenega s 30 m.% steklenih vlaken (PP-GF) (mehanske lastnosti iz tehničnega lista).

Tabela 1: Natezne lastnosti PP, PP-K in PP-GF

Vzorec	Modul elastičnosti (GPa)	Natezna trdnost (MPa)	Raztezek pri pretrgu (%)
PP	1,3 ± 0,1	25,8 ± 0,1	39,6 ± 1,0
PP-K	2,7 ± 0,1	42,6 ± 0,3	7,1 ± 0,7
PP-GF	6,5	85	3,0

Z dodatkom lanenih vlaken v PP močno povišamo modul elastičnosti (+ 108 %) in natezno trdnost (+ 65 %), vendar znižamo raztezek pri pretrgu (- 82 %). Napram PP-GF ima PP-K nižji modul elastičnosti (- 58 %) in nižjo natezno trdnost (- 50 %), vendar višji raztezek pri pretrgu (+ 137 %). Mehanske lastnosti pripravljenega kompozita niso zadovoljive, da lahko material uporabimo kot neposredno za zamenjavo za PP-GF, vendar zadoščajo za manj zahtevne tehnične izdelke.

### 4 SKLEP

Indikativni poskusi so pokazali, da je možno pripraviti biosnovane kompatibilizatorje za popolnoma biosnovane polimerne kompozite zadostno stopnjo grafitiranja.

Naravna vlakna lahko uporabimo kot ustrezno ojačalo za polimere, vendar nudijo slabše lastnosti kot steklena vlakna.

Zaželeno je, da se razvijejo polimerni materiali, ki vsebujejo le bioosnovane materiale in izpolnjujejo vse trajnostne kriterije.

Viri:

- [1] Geyer, R, Jambeck, JR, Law, KL: Production, use, and fate of all plastics ever made, *Sci Adv.* 2017 Jul 19;3(7):e1700782
- [2] Plastics Europe, *Plastics – the Facts 2018*. [www.plasticseurope.org/en/resources/publications/619-plastics-facts-2018](http://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/619-plastics-facts-2018) (accessed 02.05.2019)
- [3] PAI Partners, ESG Lab: The plastics issue, <https://www.paipartners.com/mediaitem/the-plastics-issue/> (accessed 02.05.2019)
- [4] World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey (2017). *The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics*. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_New\\_Plastics\\_Economy.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf) (accessed 02.05.2019)
- [5] EU Commission, *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy*, Commision (2018) 28 final, 16.01.2018
- [6] *Bioplastics market 2017: Global Production Capacities of bioplastics 2017 – 2022*, European Bioplastics 2017,
- [7] Álvarez-Chárez, C.R. et al., Sustainability of bio-based plastics: general comparative analysis and recommendations for improvement, *J Clean Prod*, 23 (2012), 47 – 56
- [8] Anastas, P.T., Warner, JC, *Green Chemistry: Theory and Practice*, New York 1998 (Oxford University Press)
- [9] M. Biron, *Industrial Applications of Renewable Plastics: Environmental, Technological and Economic Advances*, Norwich: William Andrew, 2017
- [10] Jia, P. et al., Plasticizers Derived from Biomass Resources: A Short Review, *Polymers* 10 (2018), 1303; doi:10.3390/polym10121303
- [11] Ambrogi V. et al., Natural antioxidants for polypropylene stabilization, *Polymer Degradation and Stability* 96 (2011), 2152 – 2158
- [12] Bridson, J.H. et al., Polymeric flavenoids processed with co-polymers as UV and thermal stabilisers for polyethylene films, *Polymer Degradation and Stability* 122 (2015), 18-24
- [13] L. Mohammed et al., A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications, *International Journal of Polymer Science* 2015, Article ID 243947
- [14] T. Väisänen et al., A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites, *J Clean Prod* 149 (2017), 582 - 596
- [15] S. Yamaguchi et al., Green polymer chemistry: lipase-catalyzed synthesis of bio-based reactive polyesters employing itaconic anhydride as a renewable monomer, *Polymer Journal* 46 (2014), 2-13

## TRENDI V INDUSTRIJI SVETLOBNE OPREME AVTOMOBILOV

**Aleš Adamlje**

HELLA SATURNUS SLOVENIJA D.O.O.

### IZVLEČEK

*Z razvojem električnih vozil, uporabo LED izvorov in nenehnih pritiskov po zniževanju stroškov se na trgu svetlobne opreme avtomobilov dogajajo korenite spremembe. Na trgu, ki postaja vedno bolj zahteven, proizvajalci avtomobilov za vzdrževanje svoje konkurenčnosti uvajajo nove oblikovne, konstrukcijske in tehnološke rešitve. Hkrati s tem pa se povečuje kompleksnost posameznih izdelkov in sklopov, ki so vgrajeni v avtomobile. Vedno večja kompleksnost izdelkov zahteva od dobaviteljev nove inovativne pristope pri snovanju in izdelavi izdelkov in sklopov. Da bi dobavitelji avtomobilske industrije obstali na globalnem trgu, morajo uporabljati nove materiale, nove tehnologije in postopke izdelave, hkrati pa širiti spekter izdelkov, ki so jih za proizvajalce avtomobilov sposobni razviti in izdelati. V članku se primerja tipične izdelke v industriji svetlobne opreme in sprednjega dela avtomobila nekoč, danes in v prihodnosti, predstavljeni so trendi pri razvoju izdelkov in sklopov sprednjega dela avtomobila ter trendi pri razvoju termoplastičnih materialov, tehnologij in postopkov. Predstavljen je izdelek, vgrajen na sprednjem delu električnega avtomobila, ki sledi novim trendom in je bil razvit ter se proizvaja v našem podjetju.*

### 1 UVOD

Avtomobilska industrija je ena od industrijskih panog, pri kateri je razvoj vedno hitrejši. Življenjska doba modelov avtomobilov se krajša, kompleksnost avtomobilov pa povečuje. Gabariti izdelkov in sklopov, ki formirajo karoserijo avtomobila, se zaradi zahtev trga povečujejo, postajajo kompleksnejši in imajo vgrajene dodatne funkcije. Sistemski dobavitelji postajajo dobavitelji sklopov in ne več le posameznih izdelkov, ki se vgrajujejo v avtomobile.

Trendi na področju zunanje svetlobne opreme avtomobilov so podobni kot pri vseh ostalih karoserijskih delih avtomobila s specifičnimi zahtevami po uporabi novih tipov svetlobnih izvorov. Uporaba LED izvorov za svetlobne vire nam omogoča več svobode pri oblikovanju svetila. Omogoča večjo učinkovitost in boljše svetilnost ter možnost prilagajanja oblike snopa svetlobe. Na trgu so na voljo LED izvori v različnih kakovostnih in cenovnih razredih. Z zahtevami oblikovalcev, ki sledijo zahtevam trga po novih oblikah, ter z razvojem električnih vozil, se spreminjajo tudi oblike in gabariti svetil, ki na ta način postajajo vedno bolj pomemben element designa avtomobila.

Napredku na področju oblikovanja sledi tudi napredek na področju tehnologij in materialov. Delež izdelkov iz polimernih materialov, ki je vgrajen v avtomobil, se vztrajno povečuje. Z razvojem električnih vozil se bo delež izdelkov in sklopov, pri katerih bodo polimerni materiali uporabljeni kot vodilni materiali za izdelavo letih, še povečal. Trg zahteva cenejša, varna, varčna in lahka vozila. Zaradi usmerjenosti v trajnostni razvoj, novih regulativ in naraščanja cen goriv je nizka poraba energije še posebej pomembna.

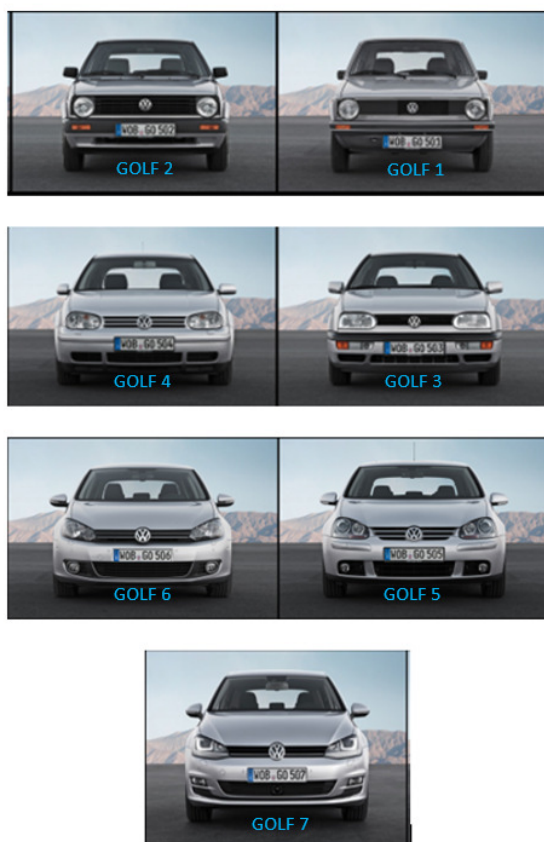
Z razvojem električnih vozil je na področju oblikovanja sprednjega dela vozila prišlo do celovitih sprememb. Spremenili so se pogoji, ki so jim izpostavljeni sklopi, vgrajeni v sprednjem delu avtomobila. S tem imajo oblikovalci več svobode pri snovanju oblike sprednjega dela avtomobila, inženirji pa drugačne zahteve in omejitve pri izbiri materialov.

Eden ključnih trendov v zadnjih letih je tudi razvoj avtonomnih avtomobilov. Pri teh postajajo karoserijski deli še kompleksnejši zaradi dodatnih senzorjev, radarski sistemov in kamer, ki postajajo del karoserijskih sklopov avtomobila. Vgradnja novih sistemov v karoserijske sklope avtomobilov prinaša dodatne zahteve pri izbiri materiala in pri tehnologiji izdelave sklopov, ki

jih moramo za pravilno delovanje sistemov dosledno upoštevati.

## 2 TRENDI PRI RAZVOJU IZDELKOV IZ POLIMEROV

Z razvojem LED diod in električnih vozil se je v zadnjih letih trend oblikovanja svetil avtomobilov spremenil. Svobodo pri oblikovanju, ki jo dopušča uporaba LED svetlobnih izvorov, ter razvoj avtomobilov z električnim pogonom so oblikovalci izkoristili za uvajanje novih rešitev na področju osvetlitve avtomobila. Svetila nimajo več le funkcije osvetljevanja vozišča, ampak postajajo vedno bolj tudi oblikovni, karoserijski del avtomobila. V določeni meri že posegajo v nekdanj tradicionalne sklope avtomobila, kot je sprednja prezračevalna rešetka z emblemom med žarometoma avtomobila.



Slika 1: Oblikovanje prednjega dela avtomobila vseh modelov VW Golf. Prirejeno po [1]

Na sliki 1 so prikazani modeli avtomobila Golf generacije 1 do generacije 7. Iz slike je razvidno,

da so bile spremembe pri posameznih modelih v preteklosti postopne in so sledile napredku tehnologije, a do generalne spremembe koncepta sprednjega dela avtomobila ni prišlo. Skupna značilnost vseh modelov je, da je bil s prihodom nove generacije avtomobila žaromet oblikovno naprednejši in sestavljen iz več polizdelkov. Delež polizdelkov v žarometu, ki so bili izdelani iz polimernih materialov, se je iz generacije v generacijo povečeval. Z vidika oblikovanja žarometa kot estetskega elementa na avtomobilu in ne le funkcionalnega, je bil velik preskok narejen pri četrti generaciji avtomobila. Pri tej so steklene pokrivne leče žarometa zamenjale pokrivne leče iz polikarbonata, izdelane s postopkom brizganja. Postopek brizganja je omogočil izdelavo kompleksnejših oblik. Pomembna preskoka sta se zgodila tudi z uvedbo xenonske tehnologije in LED tehnologije. Pri sedmi generaciji avtomobila Golf so na voljo različne izvedbe žarometov. Pri najbolj napredni izvedbi so vse funkcije žarometov izvedene z LED tehnologijo.

Z razvojem električnih vozil so se na avtomobilu pojavila nova svetila. Svetila se združujejo in postajajo vedno bolj estetski element, ki je pomemben za celotno oblikovno usklajenost avtomobila. Koncepti električnih avtomobilov, ki so jih proizvajalci avtomobilov predstavili v zadnjih letih, predstavljajo za proizvajalce svetil velike izzive. Na sliki 2 je prikazan koncept električnega vozila Daimler EQ, ki ga je Daimler predstavil v letu 2016. Pri konceptu EQ glavna žaromet nista več samostojna sklopa, vgrajena v prednji del karoserije avtomobila, ampak sta del sklopa sprednje maske avtomobila. V področju le-te se nahajajo tudi dodatna svetila, osvetljen emblem, radar in drugi sistemi. V primerjavi s tradicionalnimi koncepti izvedbe sprednjih delov avtomobila, ki vključujejo prezračevalno rešetko z vgrajenim emblemom, je koncept sprednjega dela avtomobila Daimler EQ povsem spremenjen. Celotna sprednja maska avtomobila je enovit polizdelek, izdelan iz termoplasta v črni barvi, ki je pri določenih valovnih dolžinah svetlobe delno transparenten, in iz transparentnega termoplasta v področjih žarometov ter emblema. Dodatno je osvetljen tudi bočni del avtomobila.



Slika 2: Koncept sprednjega dela električnega avtomobila Daimler EQ [2]

Novi koncepti avtomobilov zahtevajo spremembe tudi pri materialih polizdelkov. Proizvajalci materialov intenzivno razvijajo nove materiale, ki bodo ustrezali zahtevam za uporabo na sprednjih delih avtomobilov. Na sliki 3 je prikazan koncept električnega avtomobila prihodnosti, ki ga je proizvajalec termoplastičnih materialov Covestro predstavil na sejmu K 2016. Koncept avtomobila je zasnovan tako, da omogoča avtonomno vožnjo. Razvili so ga skupaj z inštitutom za oblikovanje Umea, s proizvajalci avtomobilov in z drugimi partnerji. Na avtomobilu so povsem redefinirali svetlobno opremo sprednjega dela avtomobila, ki je zasnovan kot enoten del, tako da na avtomobilu ni več vidnih rež med polizdelki, ki so običajni pri konvencionalno oblikovanih avtomobilih. Osvetljena je karoserija avtomobila. Povsem nov je koncept osvetlitve zadnjega dela avtomobila. Za dosego funkcionalnosti in optimalne kvalitete posameznih delov so uporabljeni namenski materiali in tehnološke rešitve. Za ohišje baterije je uporabljen samogasen material. Za sprednjo masko avtomobila, v katero so integrirani senzori, je uporabljen material, ki je

transparenten v področju valovne dolžine senzorjev.



Slika 3: Konceptno vozilo prihodnosti proizvajalca materialov Covestro [3]

VW je v letu 2016 predstavil koncept električnega avtomobila VW ID (slika 4), ki predstavlja osnovo za električne in avtonomne avtomobile koncerna VW v prihodnosti.



Slika 4: Koncept električnega avtomobila nove generacije VW ID [4]

Koncept predstavlja osnovo za električna vozila z dosegom do 600 km, ki naj bi na ceste

zapeljala v letu 2020 kot tudi avtonomna vozila in jih lahko pričakujemo na cesti do leta 2025 [4]. Za ta avtomobil so na sprednjem delu značilni mehki prehodi linij, ki jih je omogočilo združevanje karoserijskih delov avtomobila. Z združevanjem karoserijskih delov se je število stikov med posameznimi karoserijskimi deli signifikantno zmanjšalo. Celotna svetlobna oprema avtomobila bo zasnovana tako, da bo omogočala komunikacijo z okolico, žaromet pa bo komuniciral z okolico kot človeške oči [5].

Nove zahteve postavljajo dobavitelje avtomobilske industrije pred velike izzive. Z združevanjem posameznih delov in sklopov se leti povečujejo in zahtevajo nove pristope pri izdelavi. Dobavitelji svetlobne opreme, odbijačev in ostalih karoserijskih delov bodo postali sistemski dobavitelji celotnega sklopa sprednjega dela avtomobila. Nov sklop bo vseboval vse elemente in sisteme, ki so bili v preteklosti dobavljeni ločeno sistemskim dobaviteljem ali direktno na montažno linijo avtomobilov. Portfelj izdelkov posameznih dobaviteljev se bo spremenil in zahteval od dobaviteljev dodatna znanja. Zaradi večjih gabaritov izdelkov bodo morali dobavitelji investirati v novo opremo in tehnologije. Za brizganje polizdelkov bodo potrebni večji stroji z dodatnimi funkcijami, ki bodo omogočali izdelavo izdelkov v ustrezni kvaliteti. Nove tehnologije, kot sta kompresijsko brizganje ter dinamično hlajenje in gretje orodij, bodo v proizvodnji vedno pogosteje uporabljene.

### 3 PRIMER IZDELKA

V podjetju Hella Saturnus Slovenija smo v proizvodnjo že predali prvi primer izdelka na sliki 5, ki sledi trendom oblikovanja električnih avtomobilov. Razvoj in zagon proizvodnje sprednje maske električnega avtomobila je predstavljal velik izziv zaradi velikosti izdelka, specifičnih zahtev kupca glede designa izdelka in visokih zahtev glede kakovosti površine izdelka. Z optimizacijo koncepta izdelka, izbiro ustreznega materiala ter optimiranjem postopkov izdelave smo proizvodni proces dvignili na pričakovano raven.



Slika 5: Sprednja maska električnega avtomobila

### 4 SKLEP

Spremenjene zahteve in navade potrošnikov, zahteve po trajnostnem razvoju ter urbanizacija in digitalizacija so v avtomobilsko industrijo prinesle zahteve po razvoju okolju prijaznih, varčnih in varnih avtomobilov. Napredek v avtomobilski industriji je vedno hitrejši in od dobaviteljev zahteva hitro prilagajanje in sledenje zahtevam kupcev ter osvajanje novih tehnologij. Za uspešno osvajanje novih konceptov avtomobilov in uvajanje novih rešitev v proizvodnjo je potrebno partnersko sodelovanje med proizvajalci avtomobilov in sistemskimi dobavitelji na eni strani ter med dobavitelji materialov in opreme in sistemskimi dobavitelji na drugi strani. Vključevanje vseh vpletenih v zgodnji fazi razvoja avtomobila in skupna ciljna usmerjenost vseh sodelujočih na projektu je ključna tako za ustrezno kakovost končnega izdelka kot tudi za konkurenčnost na globalnem trgu.

Viri:

- [1] History of Volkswagen Golf - The Benchmark Among Hatchbacks Around the World: (2019, 28. April), Pridobljeno na: <https://www.pakwheels.com/blog/history-volkswagen-golf/>
- [2] Generation EQ – Mobility revisited, (2019, 28. April), Pridobljeno na: <https://www.mercedes-benz-media.co.uk/en-gb/releases/1195>
- [3] Materials inspiring future vehicle design. Why not? Driving visions in future mobility: (2019, 28. April), Pridobljeno na: <https://www.covestro.com/en/driving-visions/overview#seamless-design>
- [4] Joe Simpson: Volkswagen ID concept preview: Electric atonement?, (2019, 28. April), Pridobljeno na: <https://www.pocket-lint.com/cars/reviews/volkswagen/1390-24-volkswagen-id-concept-preview-electric-atonement>
- [5] Dr. Wolfgang Huhn, AUDI AG: Licht für autonome Fahrzeuge: (2019, 28. April), Pridobljeno na: [https://www.joanneum.at/fileadmin/downloads/Zukunftskonferenz2017/JR\\_Zukunftskonferenz\\_Graz\\_Dr.\\_Wolfgang\\_Huhn.pdf](https://www.joanneum.at/fileadmin/downloads/Zukunftskonferenz2017/JR_Zukunftskonferenz_Graz_Dr._Wolfgang_Huhn.pdf)

## RAZVOJ POLIMERNE IZVEDBE AVTOMOBILSKE KOMPONENTE OLJNEGA SEPARATORJA

Luka BERTONCELJ<sup>1</sup>, Robert KOCBEK<sup>1</sup>, Gregor ČEPON<sup>2</sup>, Blaž STARC<sup>2</sup>, Martin ČESNIK<sup>2</sup>,  
Silvester BOLKA<sup>3</sup>, Miha BOLTEŽAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Iskra ISD Plast d.o.o.

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za dinamiko strojev in konstrukcij  
(LADISK)

<sup>3</sup>Fakulteta za tehnologijo polimerov Slovenj Gradec (FTPO)

### IZVLEČEK

Prikazana je metodologija razvoja avtomobilske komponente oljnega separatorja, ki se uporablja pri 13l dizelskih motorjih tovornih vozil in je tekom obratovanja podvržena termo-mehanskim in kemičnim obremenitvam. Cilj razvoja je usmerjen v zamenjavo obstoječe aluminijaste izvedbe kolena oljnega separatorja s polimerno izvedbo, narejeno iz PA66 GF35. V namen pretvorbe je bil razvit digitalni dvojček, ki omogoča napoved dinamske karakteristike nove polimerne izvedbe v celotnem temperaturnem območju znotraj 10% odstopanja. Digitalni dvojček je eksperimentalno validiran s postopkom modalne analize in z izvedbo vibracijskega profila vzbujanja na razvitem preizkuševališču. Obenem je polimer analiziran tudi z vidika lezenja in utrujanja.

### 1 UVOD

Trendi avtomobilske industrije 21. stoletja nakazujejo na potrebo po zmanjšanju števila in teže sestavnih delov in tako znižanju  $CO_2$  izpustov ter proizvodne cene komponent. Posledično se razvoj komponent pod pokrovom motorja usmerja v prehod iz kovine v tehnično plastiko, saj slednja nudi vedno boljše mehanske lastnosti in to kljub zahtevnim obratovalnim pogojem kot so izpostavljenost visokim temperaturam, dinamskem vzbujanju, tehničnim fluidom, UV sevanju itd. Uspešnost prehoda iz kovine v tehnično plastiko ni pogojena zgolj z izbiro ustreznega polimera, temveč tudi z razvojem geometrije, ki mora ustrezati tako zahtevanim robnim pogojem in obremenitvam, kot tudi zahtevam proizvodnega procesa z vidika proizvodljivosti [1].

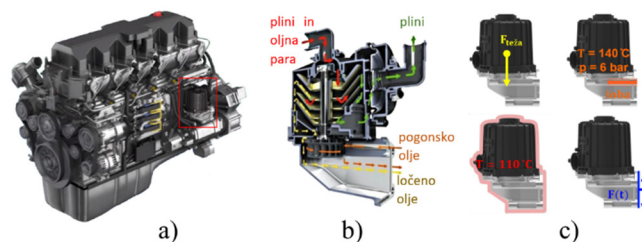
### 2 OPIS PROBLEMA

Predstavljeni projekt obravnava razvojno metodologijo, ki smo jo v našem podjetju razvili skupaj z laboratorijem LADISK in FTPO. Z uporabljenim metodologijo smo uspešno razvili

polimerno izvedbo nosilnega kolena oljnega separatorja, ki se uporablja pri 13l tipih dizelskih motorjev tovornih vozil.

Oljni separator je mehanski sistem, ki se uporablja pri dizelskih motorjih tovornih vozil z namenom ločevanja olja iz mešanice oljne pare in plinov, ki se ustvarjajo med obratovanjem motorja. Z njegovo uporabo se pri tovornih vozilih na letni ravni prihrani do 30 litrov motornega olja, kar ima tudi izjemno pozitiven okoljski vpliv.

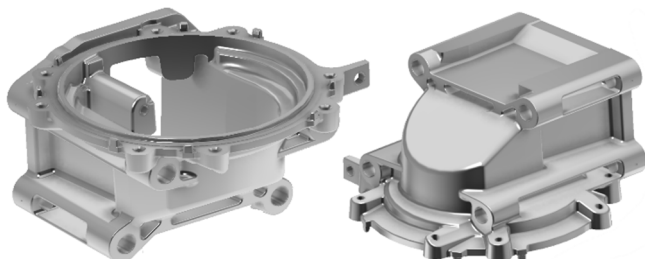
Oljni separator je izpostavljen ekstremnim obratovalnim pogojem – statičnim in dinamskim obremenitvam, visoki temperaturi okoljskega zraka (110 °C) ter vročemu olju (do 140 °C) pod tlakom 6 bar (Slika 1).



Slika 1: Oljni separator; a) lega oljnega separatorja na motorju, b) koncept delovanja oljnega separatorja, c) obratovalni pogoji.

## 2.1 Predmet razvoja

Cilj razvojne metodologije je bila pretvorba spodnjega dela oljnega separatorja, t.j. povezovalno koleno med motornim blokom in ločevalnim delom separatorja, v polimerni ekvivalent (Slika 2).



Slika 2: Trenutna Al izvedba povezovalnega kolena.

Povezovalno koleno je najbolj obremenjena komponenta celotnega sestava oljnega separatorja, saj je direktno izpostavljeno visoki okoliški temperaturi ter vibracijskemu vzbujanju s strani motorja. Poleg povezovalne funkcije pa je del kolena tudi pogonska šoba, ki preko brizganja vročega olja (do 140 °C in pod tlakom 6 bar) na pogonsko turbino poganja ločevalni sestav do hitrosti 9000 obr/min. Sočasno mora koleno pri danih obratovalnih pogojih zagotavljati tudi ustrezno tesnilno funkcijo na obeh spojnih mestih (oljni separator – koleno in koleno – motorni blok) ter z obliko omogočati odvajanje ločenega olja.

## 3 RAZVOJNA METODOLOGIJA

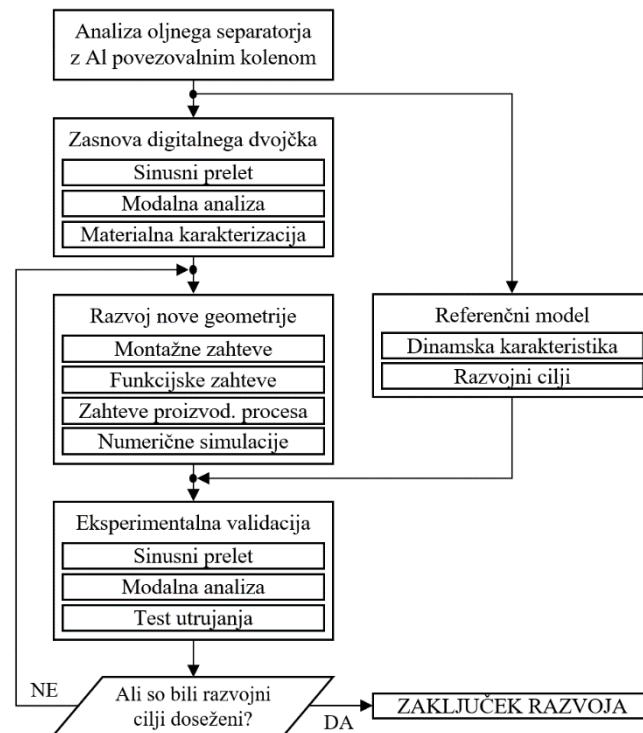
Splošna razvojna metodologija (Slika 3) sestoji iz dveh ključnih razvojnih stebrov – razvoj nove geometrije in celovite karakterizacije materiala. Glavna lastnost kolena, ki je bila temelj razvoja čez celotni razvojni proces, predstavlja njegova togost. Ta je v direktni relaciji z dinamsko karakteristiko oziroma lastnim odzivom, kot je razvidno iz osnovne relacije nedušnega sistema (1):

$$\omega_0 = \sqrt{k/m} \quad (1)$$

kjer je  $m$  masa,  $k$  togost in  $\omega_0$  lastna frekvenca nedušnega sistema.

Cilj je doseganje dinamskih karakteristik aluminijastega kosa z uporabo materiala PA66 GF35, ki ima 8x nižji elastični modul. V ta namen

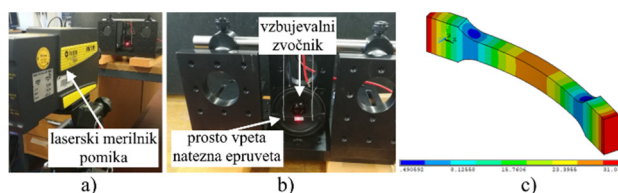
smo stremeli k maksimalni dosegljivi togosti, ki je odvisna tako od materialnih lastnosti (elastični modul  $E$ ), kot tudi od geometrije izdelka.



Slika 3: Shema razvojne metodologije.

### 3.1 Materialna karakterizacija

Za vzpostavitev zanesljivega numeričnega modela je ključnega pomena natančno poznavanje materialnih lastnosti znotraj celotnega operativnega (temperaturnega) razpona in razumevanje vseh vplivnih parametrov na mehanske lastnosti materiala. V ta namen je bila s strani LADISK-a v okviru projekta razvita brezstična metoda eksperimentalne modalne analize (EMA) (Slika 4), ki s pomočjo metode modalnega posodabljanja omogoča določitev modula elastičnosti materiala čez celotno obravnavano temperaturno območje.



Slika 4: Brezstična EMA; a) postavitev eksperimenta, b) vpetje testne epruvete, c) numerični model epruvete.

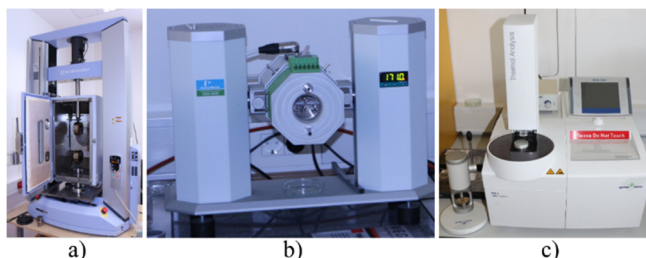
Glavna prednost te metode je ravno v njenem brezstičnem pristopu, kar je ključnega pomena pri

meritvah pri višjih temperaturah, kjer ostali stični načini merjenja (npr. DMA) predpostavljajo konstantne robne pogoje vpetja.

Rezultat posamične meritve je  $E(T)$  materialna karakteristika, ki služi kot vhodni podatek za izvajanje nadaljnjih dinamskih numeričnih analiz. Poleg  $E(T)$  karakteristike pa smo s FTPO-jem izbran polimer analizirali tudi z vidika:

- natezne trdnosti v odvisnosti od temperature, debeline in orientacije vlaken (trgalni stroj),
- utrujanja in oblikovanja S-N krivulje (trgalni stroj + DMA),
- lezenja (trgalni stroj + DMA) ter
- stopnje kristaliničnosti (Flash DSC).

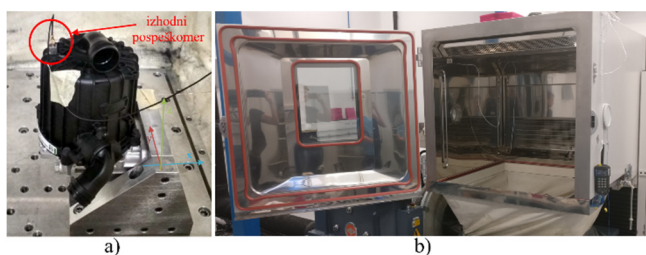
Naprave za materialne analize so na *Sliki 5*.



Slika 5: Uporabljene naprave za materialno analizo; a) trgalni stroj s temperaturno komoro, b) DMA, c) Flash DSC.

### 3.2 Razvoj nove geometrije

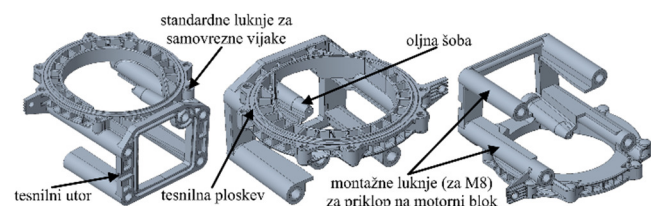
Razvoj nove izvedbe smo začeli s podrobno analizo trenutne izvedbe oljnega separatorja preko EMA in sinusnega preleta, izvedenega na stresalniku s temperaturno komoro (*Slika 6*).



Slika 6: Sinusni prelet; a) vpetje oljnega separatorja; b) stresalnik s temperaturno komoro.

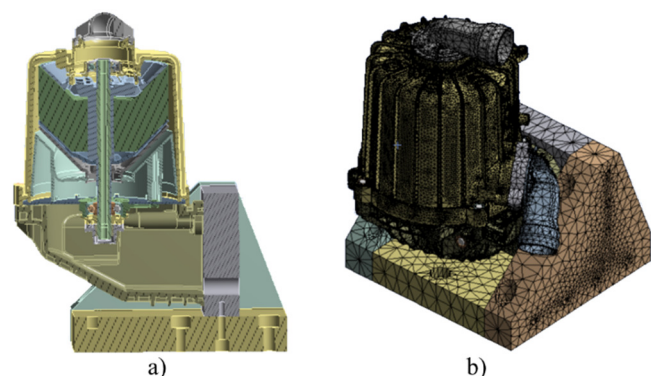
Izmerjene dinamske lastnosti so skupaj z materialnimi karakteristikami služile kot osnova za optimizacijo digitalnega dvojčka. Eksperimentalno določeni referenčni model je služil za validacijo numeričnega modela ter za določitev razvojnih ciljev, h katerim smo stremeli tekom celotnega razvojnega procesa.

Razvoj nove geometrije kolena smo se lotili tako, da smo pričeli z oblikovanjem tistih delov kolena, ki so bili že predhodno definirani in z obliko omejeni predvsem zaradi funkcionalnih in montažnih zahtev ali pa je bila oblika standardizirana. Sem spadajo tesnile ploskve, montažne luknje (vijaki za priklop na motorni blok) ter oljna šoba (*Slika 7*).



Slika 7: Montažne in funkcionalne ploskve.

V naslednjem koraku smo se osredotočili na oblikovanje novega ohišja povezovalnega kolena z uporabo numeričnih simulacij, preko katerih se je povečalo togost celotnega oljnega separatorja. Končno razvit digitalni dvojček je na *Sliki 8*.

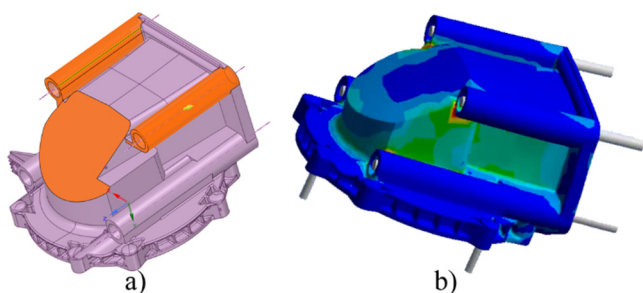


Slika 8: Digitalni dvojček; a) definiran model z robnimi pogoji in materialnimi lastnostmi, b) zamrežen model.

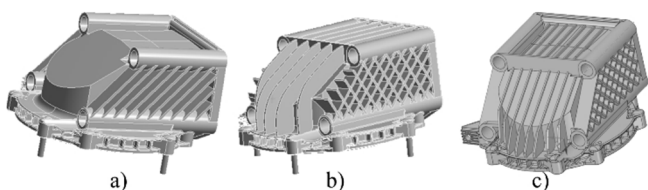
Z iterativnim pristopom smo najprej določili osnovno obliko ohišja, pri čemer je bil cilj doseči čim višjo 1. lastno frekvenco oljnega separatorja in sočasno ohranjati osnovne gabarite ohišja. V ta namen smo izvedli numerično modalno analizo, ki omogoča identifikacijo lastnih frekvenc skupaj s pripadajočimi lastnimi oblikami [2].

Na kritičnih mestih geometrije, ki so bila določena na podlagi modalne analize (*Slika 9*), smo z nadaljevanjem iterativnega postopka parametričnega spreminjanja in dodajanja geometrijskih značilk postopno posodabljali geometrijo novega kolena.

Nekaj vmesnih iteracij je prikazanih na *Sliki 10*.



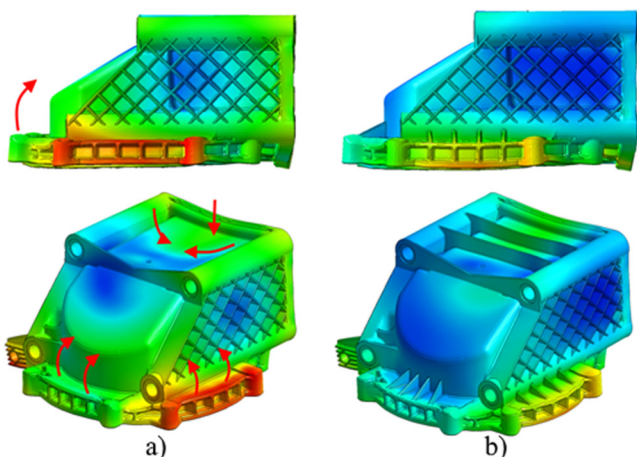
Slika 9: Izhodiščni 3D model; a) oblika ohišja, b) napetostno stanje povezovalnega kolena pri prvi lastni frekvenci celotnega sestava.



Slika 10: Iterativni optimizacijski proces ojačevalne geometrije; a) 9. iteracija, b) 14. iteracija, c) 28. iteracija.

Poleg prve lastne frekvence smo tekom iteracij upoštevali tudi druge kriterije, kot so proizvodljivost in skupna masa kolena. Slednja je bila zaradi zagotovitve ustreznega prihranka na masi omejena na  $\approx 650$  g.

Po končani seriji modalnih analiz smo opravili Moldflow analizo, s katero smo preverili deformacijske trende kolena v fazi hlajenja (Slika 11a). Na osnovi rezultatov analize smo geometrijo dodatno izboljšali (Slika 11b). Rdeče obarvana področja označujejo območja z največjimi deformacijami v fazi ohlajanja.

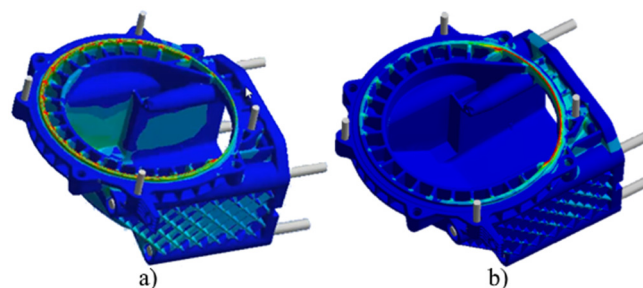


Slika 11: Moldflow analiza; a) rezultat analize pred spremembami geometrije, b) rezultat analize po dodanih ojačitvenih rebrih.

Na koncu smo za namen končne kontrole kritičnih mest in določitve vhodnih parametrov nekaterih materialnih testov opravili še harmonsko analizo, analizo naključnega vzbujanja in statično trdnostno analizo.

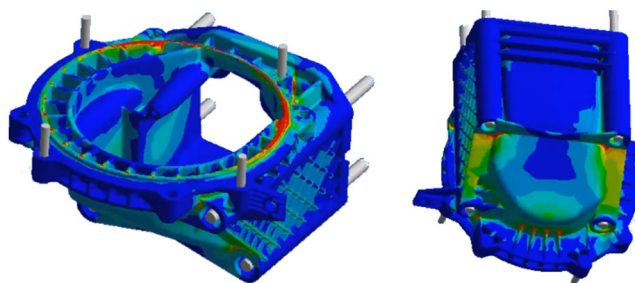
S harmonsko analizo smo izvedli simulacijo pospešenega testa utrujanja izdelka, pri čemer so kritična območja z vidika napetosti rdeče obarvana na Sliki 12a.

Analiza naključnega vzbujanja nam je služila za simulacijo realnih pogojev tekom dobe trajanja izdelka. Vzbujanje je definirano s funkcijo spektralne gostote (PSD funkcija). Kritična mesta, določena preko analize naključnega vzbujanja, predstavljajo rdeče obarvana področja na Sliki 12b.



Slika 12: Vibracijska numerična analiza; a) harmonska analiza, b) analiza naključnega vzbujanja.

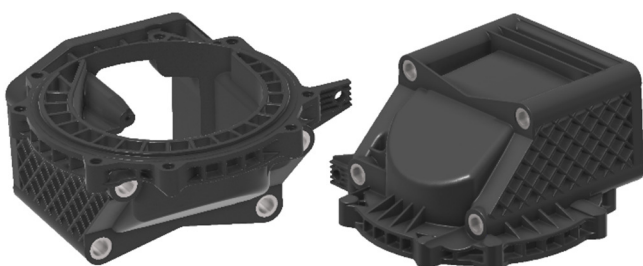
Kot zadnja simulacija v razvojni fazi je bila izvedena še statična trdnostna analiza, s katero smo določili napetostno-deformacijsko stanje in potencialna kritična območja, ki morajo biti zaradi visokih obremenitev ovrednotena tudi z vidika lezenja materiala. Najbolj obremenjena mesta so rdeče obarvana na Sliki 13.



Slika 13: Kritična mesta pod vplivom lezenja.

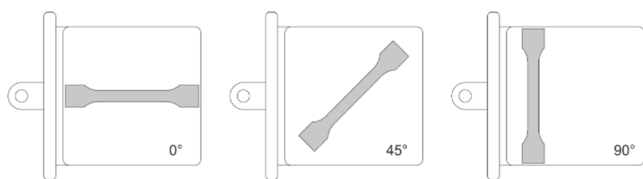
## 4 REZULTATI

Na podlagi vseh opravljenih simulacij z uporabo digitalnega dvojčka ter z upoštevanjem zahtev proizvodnega procesa smo izvedli detajlne popravke in oblikovali končni 3D model nove polimerne izvedbe povezovalnega kolena (*Slika 14*). Ta je bil na podlagi materialne analize in naknadne eksperimentalne validacije tudi potrjen kot ustrezen nadomestek Al izvedbe. V tem segmentu je ključna zasnova veljavnih validiranih modelov [6]



Slika 14: Nova polimerna izvedba povezovalnega kolena.

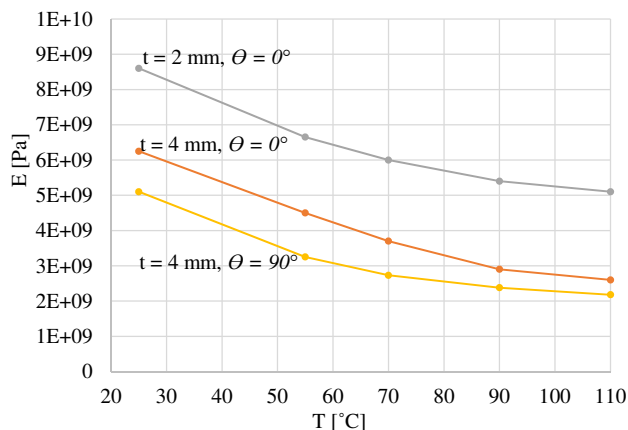
V namen materialnih analiz smo izdelali vzorce debeline 2 mm (direktno brizgani) in 4 mm (naknadno rezkani iz ploščic) po ISO 527-2. Epruvete debeline ( $t$ ) 4 mm smo iz ploščic rezkali po treh različnih orientacijah ( $\theta$ ) vlaken –  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  in  $90^\circ$ , kot je razvidno iz *Slike 15*.



Slika 15: Ploščice debeline 4 mm iz PA66 GF35 s pozicijami izreza testnih epruvet s tremi različnimi orientacijami.

### 4.1. Materialna analiza

Za izvajanje vseh dinamskih numeričnih analiz je, še posebej v primeru polimerov, ključna karakteristika nateznega modula v odvisnosti od temperature  $E(T)$ . Vzorce smo izmerili z brezstično EMA, predstavljeno na *Sliki 4*. Izmerjena  $E(T)$  materialna karakteristika je predstavljena na *Sliki 16*.



Slika 16:  $E(T)$  karakteristika za izbran PA66 GF35 upoštevajoč vpliv debeline in orientacije vlaken.

Na podlagi rezultatov (*Slika 16*) smo analizirali vpliv debeline stene na natezni modul in ugotovili, da pri prehodu iz 2 mm na 4 mm pri sobni temperaturi ( $25^\circ\text{C}$ ) pade natezni modul za  $\approx 40\%$ , pri  $110^\circ\text{C}$  pa se padec postopno povečuje do  $\approx 60\%$ . Signifikanten je tudi vpliv orientacije vlaken. Pri debelini 4 mm ima epruveta z  $90^\circ$  orientacijo vlaken (pravokotno na smer obremenitve), v primerjavi z  $0^\circ$  orientacijo, pri sobni temperaturi za 17% nižji modul elastičnosti, pri  $110^\circ\text{C}$  pa je ta razlika že 20%.

Z nateznim preizkusom na trgalnem stroju (*Slika 5a*) smo opravili meritve natezne trdnosti ( $\sigma_m$ ) na epruvetah obeh debelin, pri 4 različnih temperaturah in treh različnih orientacijah. Rezultati so predstavljeni v *Tabeli 1*. Ponovno se je izkazalo, da ima debelina ključni vpliv na mehanske lastnosti materiala [3], saj je  $\sigma_{m,25^\circ\text{C}}$  pri debelini 4 mm za  $\approx 58\%$  nižja kot pri debelini 2 mm. Največji padec  $\sigma_m$  je ob upoštevanju velikosti  $\Delta T$ , pri obeh debelinah na prehodu iz  $25^\circ\text{C}$  na  $55^\circ\text{C}$ , kar je moč pripisati temperaturi steklastega prehoda ( $T_g$ ), ki se za izbran material nahaja pri  $\approx 55^\circ\text{C}$ .

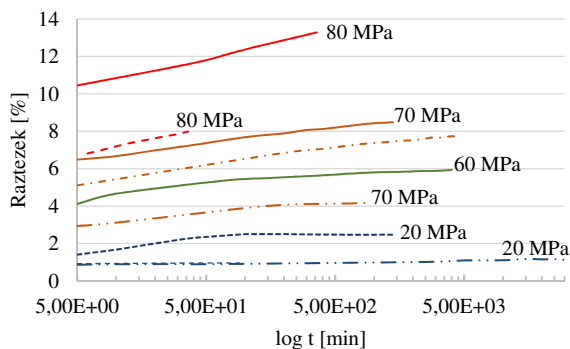
Tabela 1: Rezultati nateznega preizkusa za PA66 GF35.

$t$ [mm]	$\theta$ [°]	$\sigma_{m,25^\circ\text{C}}$ [MPa]	$\sigma_{m,55^\circ\text{C}}$ [MPa]	$\sigma_{m,110^\circ\text{C}}$ [MPa]	$\sigma_{m,130^\circ\text{C}}$ [MPa]
2	0	188	148	106	99
4	0	79	57	50	39
4	45	102	79	65	53
4	90	83	70	55	44

Opazna je tudi odvisnost vrednosti  $\sigma_m$  od  $\theta$ . V vseh primerih debeline 4 mm je bila najvišja vrednost dosežena pri 45° in najnižja pri 0°. Takšen rezultat brez poznavanje dejanske notranje strukture pri  $t = 4$  mm seveda ne bi bil smiseln. S povečevanjem debeline se namreč površinska sloja polimerne stene, ki imata strogo orientacijo vlaken v smeri tečenja materiala, v debelini ne povečujeta; povečuje se zgolj sredinski delež, ki ima zaradi notranjih turbulenc v fazi polnjenja naključno orientirana vlakna [3, 5].

Glede na rezultate v *Tabeli 1* in na *Sliki 16* smo se pri oblikovanju ohišja in določitvi debeline stene kolena odločili za kompromis med zagotavljanjem ustreznih mehanskih lastnosti ( $\sigma_m$  in  $E$ ), velikostjo izdelka in splošnih omejitev pri injekcijskem brizganju polimernih mas. Na podlagi vseh vplivnih faktorjev smo izbrali debelino osnovne stene 2,6 mm. Vsa ojačitvena geometrija (rebra, kvadratna bočna ojačitev) pa je ustrezno tanjša in sledi pravilom oblikovanja plastičnih izdelkov [4].

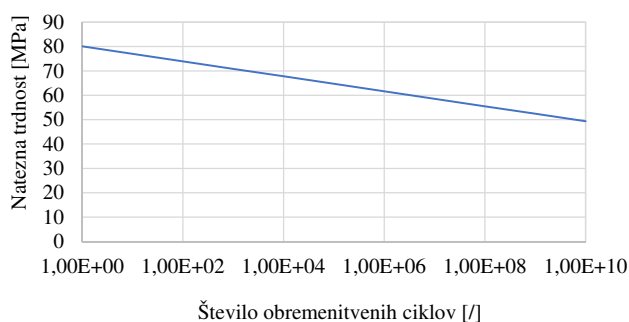
Na trgalnem stroju pa so bili za izbran material izvedeni tudi testi lezenja in sicer pri različnih konstantnih nateznih napetostih (*Slika 17*).



Slika 17: Test lezenja pri 110 °C za izbran PA66 GF35.

Ugotovljeno je bilo, da natezne napetosti pod 20 MPa z vidika lezenja niso kritične. Iz trdnostne analize na *Sliki 13* (pri 20g) so najvišje vrednosti segale do 7,5 MPa, kar je pod kritično mejo.

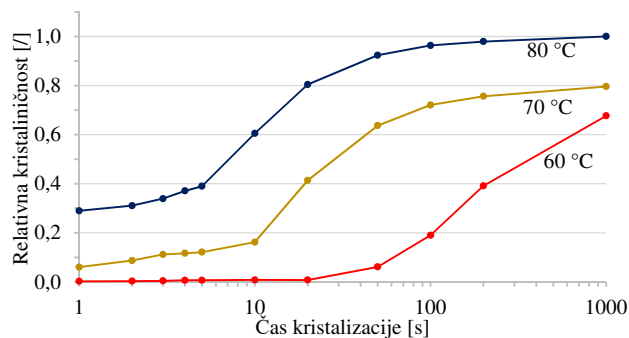
Generirana S–N krivulja (*Slika 18*) glede na predpisano število obremenitvenih ciklov ( $8,64 \cdot 10^9$  ciklov) predpisuje dopustne obremenitve v območju 50 MPa.



Slika 18: S-N krivulja za PA66 GF35 (T = 110 °C, R = -1).

Obremenitve, izračunane s harmonsko analizo (*Slika 12*), so znašale do 3 MPa, zaradi česar ni pričakovati poškodb zaradi utrujanja. Dodatno je bil celotni sestav oljnega separatorja z vidika utrujanja praktično verificiran tudi s testom utrujanja [5], izvedenega v okviru eksperimentalne verifikacije nove oblike.

Za doseganje ustreznih mehanskih lastnosti in čim nižjega deleža hladne kristalizacije, ki neugodno vpliva na dimenzijsko stabilnost izdelka po fazi izdelave, smo z DSC analizo (*Slika 5c*) določili optimalne procesne parametre (*Slika 19*).

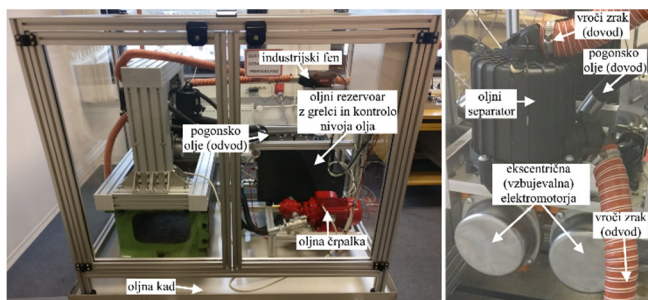


Slika 19: Relativna kristaliničnost v odvisnosti od temperature temperiranja in časa hlajenja.

Tu smo sprejeli ekonomičen kompromis s ciljem 90% relativne kristaliničnosti, ki je dosežena ob upoštevanju temperature temperiranja 80 °C in 45 sekund časa kristalizacije (čas hlajenja).

#### 4.1. Eksperimentalna verifikacija

Končna funkcionalna verifikacija nove polimerne (PA66 GF35) geometrije kolena je bila dosežena z izvedbo testa utrujanja (*Slika 20*), s sinusnim preletom v komori in z EMA za kontrolo dinamske karakteristike.

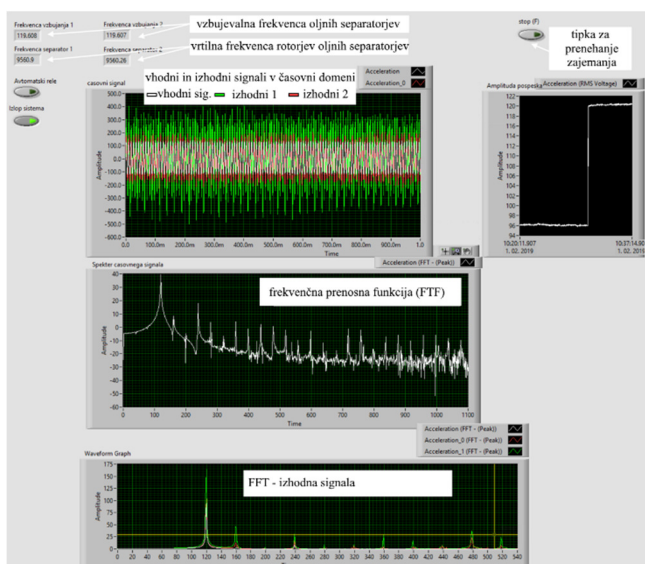


Slika 20: Preizkuševališče za test utrujanja.

Preizkuševališče za utrujanje je bilo zasnovano v skladu s testnimi pogoji, predpisanimi s strani kupca. Omogoča sočasno testiranje dveh sestavov oljnega separatorja. Preizkuševališče je bilo z vidika implementiranih varnostnih sistemov tudi certificirano s strani LOTRIČ-a.

Testni pogoji pospešeno simulirajo obratovanje separatorja v realnem okolju v časovnem razponu 1500h s predpisanim vibracijskim profilom, temperaturo in pretokom vročega vpihanega zraka ter temperaturo in tlakom pogonskega olja.

Proces je kontroliran z vzpostavljenim nadzornim »condition-monitoring« sistemom, ki 24/7 kontrolira stanje obeh testiranih oljnih separatorjev v časovni in frekvenčni domeni preko GUI vmesnika, posebej za ta projekt razvitega v LabVIEW-ju (Slika 21).



Slika 21: GUI vmesnik za kontrolo testa utrujanja.

S sistemom v realnem času spremljamo odziv v časovni domeni, zajeta pa je tudi frekvenčna prenosna funkcija (FRF) in izvedena Fourierova

transformacija (DFT), za predstavitev zajetega signala pospeška v frekvenčni domeni.

Ključni parameter pa je tudi vrtilna hitrost rotorja oljnega separatorja, saj je le ta tesno povezana s pogoji vzbujanja in direktno vpliva na končni izkoristek celotnega oljnega separatorja.

Poleg parametrične kontrole stanja vpetih oljnih separatorjev omogoča nadzorni sistem, preko integrirane kamere, tudi vizualno kontrolo (Slika 22).



Slika 22: Pogled integrirane kamere na testno postajo.

Poleg testa utrujanja je bil končni sestav oljnega separatorja preverjen tudi z EMA. Izmerjena prva lastna frekvenca je bila v primerjavi z Al povezovalnim kolenom znotraj 4% odstopanja, kar je znotraj dopustne meje.

## 5 DISKUSIJA

Predstavljena razvojna metodologija predstavlja ključne vplivne dejavnike na zasnovan izdelek tako v razvojni fazi, kot tudi v fazi izdelave.

Izkazalo se je, da je pri razvoju polimernih izdelkov, ki so izpostavljeni termo-mehanskim (dinamskim) obremenitvam, ključnega pomena natančno razumevanje obnašanja materiala z vidika lezenja in utrujanja, v nekaterih primerih pa tudi staranja. Temperaturni vpliv je na termoplaste znaten, saj se od temperature steklastega prehoda dalje prične material obnašati popolnoma drugače, kar je tudi razvidno iz izrazitega padca mehanskih lastnosti.

V ta namen je potrebno izvesti materialne analize ter se zavedati njihovih omejitev. To še posebej velja za dolgotrajne teste, kot so testi lezenja in utrujanja, kjer se znaten delež karakteristik ekstrapolira.

Ena iz med glavnih ugotovitev opravljenih materialnih analiz je vpliv debeline stene. Iz predstavljenih rezultatov (*Slika 16, Tabela 1*) je jasno razvidno, da je pri plastiki ključnega pomena ohranjati stene ustrezno tanke v smeri zagotavljanja optimalnih mehanskih lastnosti. Pomembno se je zavedati, da so mehanske lastnosti, ki so podane na tehničnih listih komercialno dostopnih polimerov, praviloma določene z uporabo testnih epruvet debeline 2 mm. Kljub temu, da je bil vpliv orientacije vlaken na izmerjen modul elastičnosti (*Slika 16*) nezanemarljiv in je nakazoval na anizotropno karakteristiko izbranega termoplasta, smo v razvitem digitalnem dvojčku upoštevali izotropen materialni model. Izkazalo se je namreč, da v primeru dinamskih testiranj steklena vlakna prejeto energijo, v sistem vneseno preko vznicanja, zaradi svoje oblike prenesejo na celotno strukturo in se izdelek kot celota obnaša izotropno.

Opravljeni podporni dinamski analizi (harmonska analiza in analiza z naključnim vznicanjem) sta nam služili predvsem za določitev kritičnih mest in lokacij potencialnih izboljšav z vidika celotnega sestava oljnega separatorja. Stik med podpornim kolenom in zgornjim, ločevalnim delom oljnega separatorja, se je izkazal za enega bolj obremenjenih spojev.

V zadnji fazi se je izkazala tudi pomembnost optimizacije procesnih parametrov in njihov vpliv na končni rezultat. Na podlagi opravljenih DSC analiz smo ugotovili, da lahko z optimizacijo procesnih parametrov (predvsem s temperaturo temperiranja orodja in časom hlajenja) povišamo elastični modul in natezno trdnost, izboljša se temperaturna obstojnost matrice, predvsem pa se zmanjšajo notranje napetosti in hladna kristalizacija, kar vodi do boljše dimenzijske stabilnosti.

## 6 ZAKLJUČEK

Končni rezultat razvojnega projekta, ki temelji na uporabi predstavljene razvojne metodologije, je nova, polimerna izvedba povezovalnega kolena oljnega separatorja. Z njo smo, ob primerljivi dinamski karakteristiki z Al kolenom, dosegli  $\approx 15\%$  prihranek na teži celotnega kolena, izdelek pa ima z vidika proizvodne cene popolno ekonomično upravičenost. V primerjavi z Al izvedbo, omogoča novo koleno z vidika potencialnih optimizacij v prihodnosti tudi nove, cenejše oblike spajanja, kar vodi do finančnega prihranka na celotnem oljnem separatorju.

Velik uspeh je bil dosežen tudi z numerično napovedjo obnašanja nove polimerne izvedbe z uporabo razvitega digitalnega dvojčka, saj smo dinamsko karakteristiko v celotnem temperaturnem območju napovedali znotraj 10% odstopanja – v povprečju  $\approx 5\%$ . To je glede na število vplivnih dejavnikov tako v fazi razvoja, kot tudi v fazi izdelave izdelka, velik uspeh, kar dokazuje dovršenost oblikovanega digitalnega dvojčka in pomembnost le tega.

Viri:

- [1] Park, C-K., Kan, C-D., Hollowell, W., & Hill, S.I. *Investigation of opportunities for lightweight vehicles using advanced plastics and composites*. (Report No. DOT HS 811 692). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2012.
- [2] S. Graham Kelly.: *Mechanical Vibrations*, CENGAGE Learning, Akron, 2012.
- [3] M. De Monte, E. Moosbrugger, M. Quaresimin.: Influence of temperature and thickness on the off-axis behaviour of short glass fibre reinforced polyamide 6.6 – Quasi-static loading, *Composites: Part A 41 (2010)*, pages 859 – 871.
- [4] BASF Corporation Engineering Plastics.: *Design Solutions Guide*, Ludwigshafen, Germany, 2007.
- [5] M. Mršnik, J. Slavič, M. Boltežar, *Multiaxial Vibration Fatigue – A Theoretical and Experimental Comparison*, Mechanical Systems and Signal processing, vol 77, 2016.
- [6] G. Čepon, J. Rogelj, L. Knez, M. Boltežar, On multibody-system equilibrium-point selection during joint-parameter identification: A numerical and experimental analysis, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 128, 2018.
- [6] M. Mršnik, J. Slavič, M. Boltežar, *Multiaxial Vibration Fatigue – A Theoretical and Experimental Comparison*, Mechanical Systems and Signal processing, vol 77, 2016.

## NAPREDNA 3D - DMLS TEHNOLOGIJA

**Mario ŠINKO<sup>1</sup>, Matic VOGRIN<sup>1</sup>, doc. dr. Miha ČEKADA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>MARSI, Mario Šinko s.p.

<sup>2</sup>Institut "Jožef Stefan"

Vaš partner prihodnosti.  
Inovativne rešitve in nova tehnologija, ki se obrestuje!

### IZVLEČEK

*Napredne industrije zahtevajo razvoj posebnih – inovativnih orodij, vendar nekaterih orodnih vložkov ni mogoče izdelati s tradicionalnimi – klasičnimi proizvodnimi in strojnimi tehnologijami – postopki.*

*Ta orodja je potrebno dolgoročno razvijati, konstruirati ter predvideti vse funkcije orodja. Nove tehnologije, kot je 3D tiskanje (angl. 3D print), omogočajo orodjarstvu izboljšanje kakovosti izdelka in podaljšanje življenjske dobe orodja.*

*MARSi je podjetje, ki je med ostalim specializirano za oblikovanje konformnih orodij za visoko tehnološko industrijo in integrirano aditivno proizvodnjo.*

### 1 UVOD

S pomočjo inženirskega oddelka in proizvodnih zmogljivosti aditivne proizvodnje, podjetje MARSi pomaga izboljševati orodne vložke pri izdelavi kompleksnih orodij.

Kot privzeti postopek je še vedno najpogosteje uporabljena konvencionalna obdelava in šele nato aditivna proizvodnja. Za nove konstrukcije orodnih delov so zahteve bistveno bolj zapletene. Prav iz tega razloga je možno z aditivno proizvodnjo izdelati površine z območji, ki jih s konvencionalnimi tehnologijami odzemanja ni bilo možno izdelati.

Orodne dele in vložke izdelujemo s pomočjo aditivne tehnologije neposrednega laserskega sintranja kovin (DMLS) na stroju EOSINT M280, v kombinaciji z naknadno obdelavo in možnostjo povečanja trdote s toplotno obdelavo ali z dodatnimi površinskimi prevlekami.

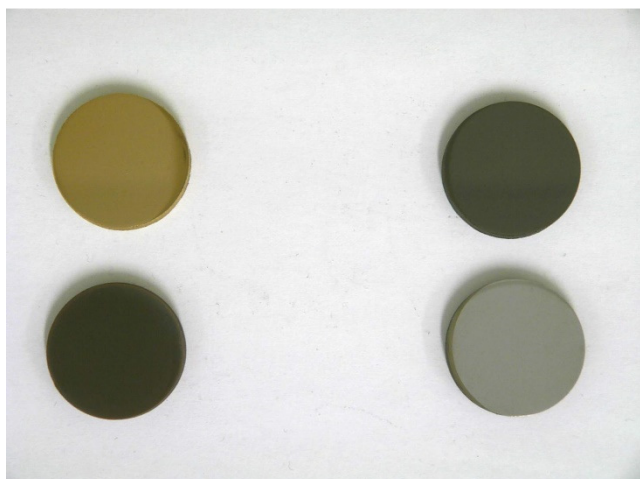
### 2 IZZIV

V podjetju se pri izdelavi orodnih delov z aditivnimi tehnologijami najpogosteje srečujemo z vprašanjem o doseženi trdoti. Trenutno pri proizvodnji 3D tiskanih izdelkov, ki se izdelujejo iz visoko kakovostnega orodnega jekla MS1 (W.Nr. 1.2709) dosegamo trdoto (neposredno po tisku) okoli 33-37 HRc. Izdelke pa lahko še dodatno utrudimo s postopkom toplotne obdelave na 490 °C, s čimer dosežemo trdoto nad 50HRc (tipično 52–54 HRc). Izdelki se lahko tudi dodatno konvencionalno obdelujejo, erodirajo, varijo, peskajo, polirajo ali prevlečejo s prevlekami.

Izziv je izdelava kompleksnih orodnih vložkov z zunanjo površinsko obdelavo in povečano trdnostjo. Kompleksne konformne orodne vložke je nemogoče izdelati s konvencionalnimi tehnologijami obdelav. Ključni izzivi pri izdelavi so lahko površinska hrapavost, visoka dimenzijska natančnost končnih izdelkov, izboljšana kakovost izdelkov, zmanjšanje mase in povečana površinska trdota izdelka.

### 3 REŠITEV

V podjetju smo se odločili izvesti eksperiment v sodelovanju z Institutom »Jožef Stefan« in pridobiti potrebne podatke in nekatere lastnosti sintranih okroglih testnih vzorcev, izdelanih iz materiala MS1 tj. orodnega jekla (W.Nr. 1.2709). Debelina sintranega sloja oz. nanosa je bila 40µm. Vzorce smo kasneje dodatno obdelali s postopkom brušenja ter jih tudi ročno polirali. Poliranje je potekalo s polirnimi papirji ter z diamantnimi pastami, katerih granulacija je bila od 9 do 1 µm. Na set enako pripravljenih vzorcev smo nanесли različne trde PVD-prevleke, pripravljene z različnimi postopki nanašanja (tabela 1). S tem smo zajeli čim večji obseg različnih lastnosti tako glede na parametre priprave kot tudi kemijske sestave in mikrostrukture prevleke. Za referenco smo uporabili vzorce iz klasično pripravljene orodnega jekla OCR12VM (Wr.N. 1.2379), na katere smo nanесли enake kombinacije prevlek. Te podlage so sicer nekoliko trše, vendar vseeno omogočajo dovolj ustrezno pripravo. Rezultate smo pridobili z mikroskopskim opazovanjem in tremi testi, kjer je bil poudarek na ovrednotenju kontakta med podlago in prevleko. Ti testi obsegajo metodo krogelnega obrusa (kalotest), vtiskovanje z Rockwell-C (Daimler Benz test), ter kvantitativni test razenja.

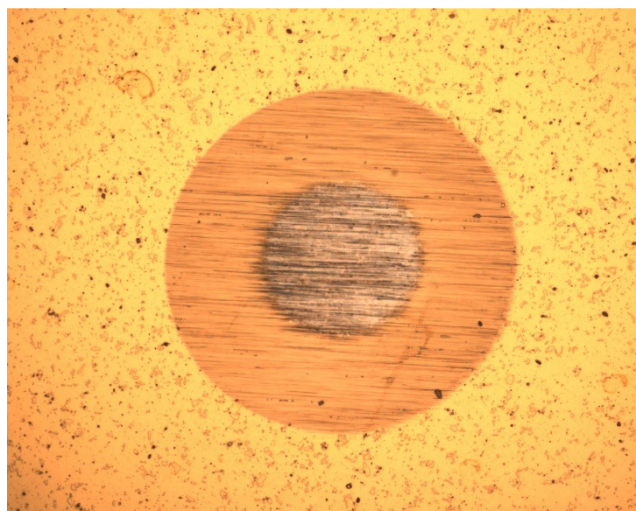
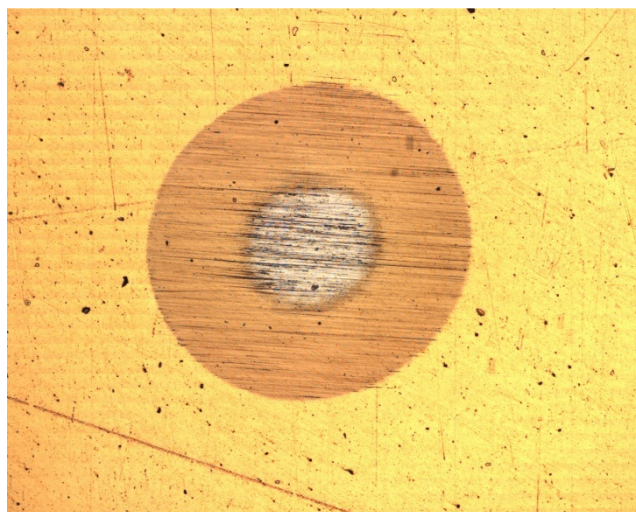


Slika 1 - Pregledna fotografija štirih vzorcev; zgoraj TiN in TiAlN, spodaj TiAlSiN ter gola podlaga

### 4 REZULTAT

V nadaljevanju na kratko popisujemo rezultate nekaterih testov, kjer smo premerjali vzorce z enako prevleko, a različno podlago

- *Metoda krogelnega obrusa (kalotest)* je test, ki je namenjen meritvam debeline plasti. Na posameznih vzorcih se testi ovrednotijo na podlagi velikosti pripravljenih kraterjev. Debelino plasti ovrednotimo glede na razmerja merjenih radijev. Pri dejanskih meritvah se velikosti kraterjev nekoliko razlikujejo zaradi pogojev priprave kraterja.



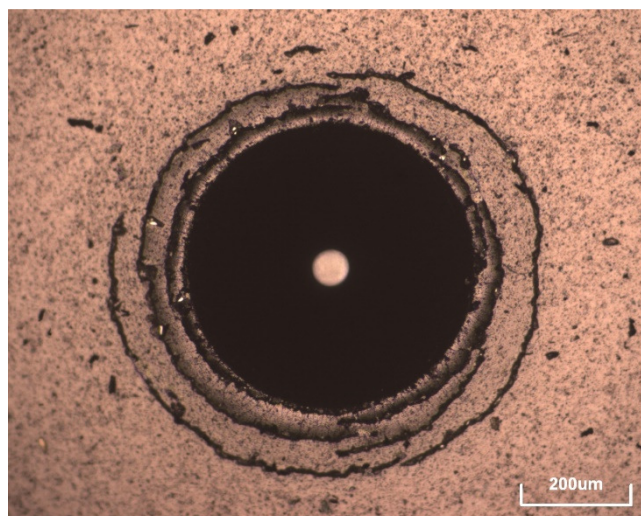
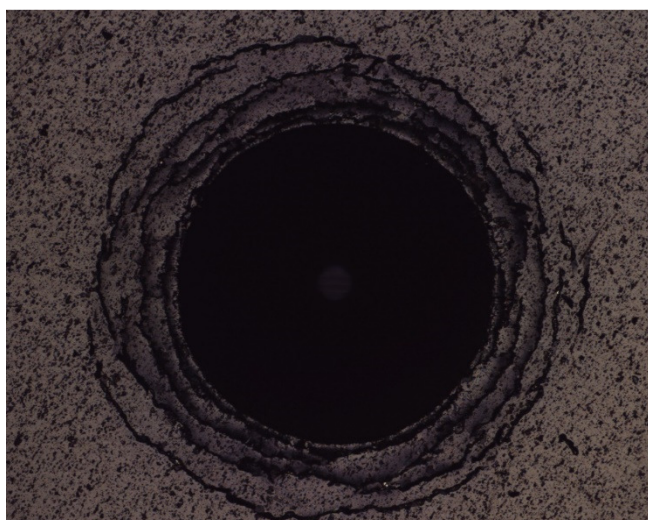
Slika 2 - Krogelni obrus (kalotest) na prevleki TiN: Tiskana podlaga (zgoraj), referenčna podlaga (spodaj)

**Tabela 1 – Pregled metod nanašanja in vrst prevlek**

Oznaka prevleke	Metoda nanašanja	Struktura prevleke
TiN	Naparevanje z elektronskim curkom	TiN - Enoplastna
TiAlN	Naparevanje s katodnim lokom	TiAlN - Enoplastna
TiAlSiN	Magnetronsko napraševanje	TiAlN/TiSiN/ TiAlSiN - Nanokompozitna

Pri nobenem od zgoraj naštetih vzorcev prevlek ni indikacije slabega stika med tiskano in dodatno ročno polirano podlago orodnega jekla MS1 ter posamezno trdo prevleko.

- *Rockwell-C »Daimler Benz test«* nam prikaže hitro indikacijo adhezije na podlagi standardnih odtisov. Izmerjena trdota na testnih vzorcih podjetja MARSi, MS1 (W.Nr. 1.2709) je bila ovrednotena na 53 HRc, medtem ko je bila trdota referenčne podlage D2 (W.Nr. 1.2379) okoli 58 HRc. Kljub različni trdoti pa so podane vrednosti, rezultati in posnetki med sabo primerljivi. Da je adhezija trdih prevlek na podlagah orodnega jekla MS1 primerljiva z adhezijo na klasičnem orodnem jeklu, je gotovo zelo dober rezultat.



**Slika 3 - Odtis Rockwell-C na prevleki TiAlN: tiskana podlaga (levo), referenčna podlaga (desno)**

-*Kvativni test razenja* se uporablja za ovrednotenje adhezije, tj. oprijemljivosti tankih plasti, ki so bile nanesene na testne vzorce iz materiala MS1 (W.Nr. 1.2709). Med postopkom merjenja se preverjajo naslednji parametri: sila razenja, koeficient razenja, trenutna globina razenja in akustična emisija. Poškodbe na prevlekah so merilo za adhezijo. Po samem postopku je potrebno še izvesti naknadno analizo, katera nam poda optično sliko celotne »raze« in možnost vizualne odločitve kritičnih obremenitev. Prevleke smo primerjali med testnimi vzorci MARSi in referenčnimi vzorci. Rezultati so prikazali, da je oprijemljivost prevleke TiN praktično enaka referenci, pri TiAlSiN pa so relevantne kritične sile le malenkost nižje kot pri referenci. Edina večja razlika je pri TiAlN, kjer je adhezija znatno nižja od reference, vendar še vedno znotraj zahtevanih meja.

## 5 SKLEP

Nova sodobna in visokotehnološka 3D DMLS tehnologija, nam omogoča številne nove možnosti oblikovanja in izdelave kakovostnih izdelkov, katere s konvencionalnimi tehnologijami ni mogoče izdelati. Uporaba 3D tehnologije sega prav v vse industrije. Namen opravljenih testov je bil povečati površinsko trdoto pri orodnih vložkih izdelanih z omenjeno tehnologijo. Testi so podali dobre rezultate in pokazali, da imajo sintrani materiali podobne lastnosti oprijemljivosti trdih

prevlek kot »klasični« materiali. Obenem pa služijo kot referenca za odločanje pri izdelavi orodnih vložkov z DMLS tehnologijo.

## Odkrijte prednosti 3D tiska in stavite na prihodnost



*Rešitve na enem mestu  
Tu smo za vas !*

### Področja uporabe:

RAZISKAVE IN RAZVOJ

PROTOTIPI

ORODJARSTVO

REZILNO ORODJE

LETALSKA INDUSTRIJA

VENTILNA TEHNIKA

*Prepričajte se v napredno izdelavo!*



## AVTOMATIZACIJA BRIZGANJA OPTIČNIH ELEMENTOV

Anet ROŽIČ, Matija OBOLNAR, David ŠENICA  
Hella Saturnus Slovenija d.o.o

### IZVLEČEK

*Z naraščajočo zahtevnostjo izdelkov se v avtomobilski industriji povečuje potreba po nadzoru procesa injekcijskega brizganja. V preteklosti se dodatnim nadzornim sistemom v orodju in na brizgalnem stroju ni posvečalo večje pozornosti. Z uvedbo meritev brizgalnega tlaka in temperature v orodju, uporabe nadzorovanega prilagajanja procesa brizganja ter ostalih nadzornih sistemov lahko izboljšamo nadzor in sledljivost procesa. Poleg nadzora ima v industriji 4.0 veliko vlogo tudi avtomatizacija, saj omogoča večjo sledljivost procesa ter izloča vpliv človeka. V članku bo predstavljen splošen primer izvedbe avtomatizacije in nadzora procesa v avtomobilski industriji, ki sledi industriji 4.0.*

### 1 UVOD

V avtomobilski industriji svetlobne opreme so se v zadnjih letih z zahtevnimi dizajni dvignile tudi zahteve po kvaliteti izdelkov. Svetlobna oprema avtomobila je poleg funkcijskega pomena dobila velik poudarek na področju dizajna. Končni izdelek, ki dosega zahtevano kakovost je mogoče sestaviti le s kvalitetnimi polizdelki. Težnja po izdelavi le-teh mora biti prisotna skozi celoten proces, od vhodnega materiala, procesa predelave do končne montaže. Z nadzorom proizvodnih procesov je mogoče znižati stroške nekakovosti ter zmanjšati dodatne kontrole.

Z namenom povečanja sledljivosti, lažjega odkrivanja vzrokov napak ter zmanjšanja stroškov reklamacij in sortiranja se v podjetju postopoma vpeljujejo popolnoma avtomatske brizgalne celice. Pravočasno zaznavo neustreznih polizdelkov in njihovo izločitev iz nadaljnje faze izdelave lahko zagotovimo s pomočjo sistemov za nadzor in stabilizacijo procesa brizganja

Vsaka dobava termoplastičnega materiala je opremljena s certifikatom, ki zagotavlja, da so lastnosti materiala znotraj dogovorjenih specifikacij. Zaradi širokega tolerančnega območja določenih karakteristik lahko lastnosti termoplastičnega materiala med posameznimi dobavami precej odstopajo. Na proces brizganja vplivajo poleg vhodnega materiala še ostali dejavniki, kot sta na primer človeški faktor in vpliv okolja, katere je mnogo težje nadzorovati.

Stabilnost procesa brizganja je odvisna od različnih dejavnikov. Eden izmed ključnih pokazateljev stabilnosti procesa in kvalitete izdelka je notranji tlak v orodju. Podatki o tlaku v orodju nam pomagajo določiti maso izdelka, dimenzijska odstopanja, posedenost in prelitja. To se odraža na kvaliteti izdelka, tako dekorativno kot dimenzijsko. V primeru pojava naštetih napak brizganja, se izvede analiza vpliva različnih dejavnikov, na podlagi česar se proces optimira. Z uvedbo LED svetil se je uporaba projekcijskih modulov povečala, s čimer se je pojavila potreba po debelostenskih lečah. Debelejše stene optičnih elementov se uporabljajo za zagotavljanje ustreznega prenosa svetlobe na cestiče, po drugi strani pa so debelostenski elementi tudi estetskega pomena.

Za zagotavljanje ustreznega prenosa in homogenosti svetlobe, ustrezne barve in vrednosti mora biti proces izdelave optičnih leč zelo stabilen in ponovljiv, kar lahko zagotovimo samo s kvalitetnim orodjem, ustreznimi nadzornimi sistemi in kvalitetno brizgalno celico.

### 2 NADZORNI SISTEMI V ORODJU

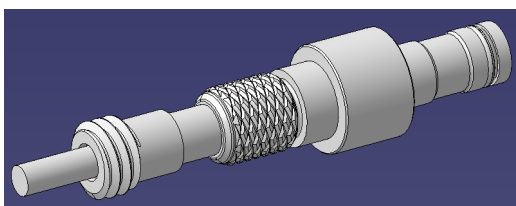
Cilj vsake proizvodnje je 100% kvaliteta, kar ne sme pogojevati postavljanja višjih standardov kvalitete, temveč spodbujati vzpostavitev ustreznega procesa za doseganje predpisanih kupčevih zahtev. Ključno je preprečevanje in ne popravljanje napak. Ker v podjetju poteka

večinoma le velikoserijska proizvodnja, je za dosego ciljev ključnega pomena tekoča proizvodnja, brez dodatnih kontrol in zastojev zaradi nekakovosti polizdelov. Podjetje investira v različne nadzorne sisteme, ki ob podanih tolerančnih mejah skrbijo za zaznavo odstopanj v procesu brizganja.

Za preprečevanje določenih napak na polizdelkih, ki so posledica brizganja, se lahko v orodja integrira tlačne in temperaturne senzorje. Tlak v orodju in temperatura kalupne votline sta zelo pomembni procesni spremenljivki, saj opisujeta trenutne pogoje, pri katerih se izdelek brizga. V proizvodnji svetlobne opreme je vgradnja tlačnih in temperaturnih senzorjev stalnica, saj pripomorejo k zgodnjemu odkrivanju napak že med procesom brizganja in s tem tudi k zmanjšanju stroškov izmeta.

### 2.1 Tlačni senzorji za nadzor notranjega tlaka v orodju

Tlačne senzorje lahko uporabimo za nadzor in spremljanje tlaka taline v kalupni votlini ter s tem stabilnost procesa brizganja. Lahko pa jih uporabimo za krmiljenje procesa brizganja in s tem stabiliziramo proces ter posledično kvaliteto polizdelka.

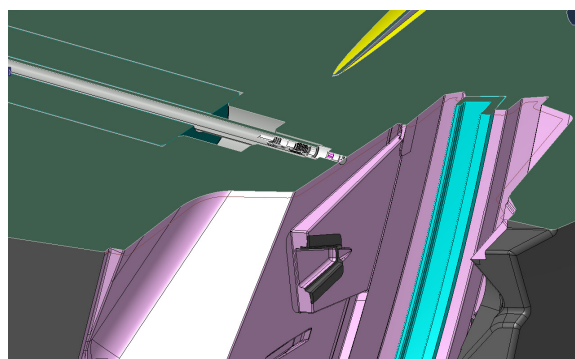


Slika 1: Tlačni senzor

Tlačne senzorje se lahko vgrajuje direktno, indirektno ali brezkontaktno. Ko oblika in končni izgled izdelka dovoljujeta, se vgradi direktno tlačne senzorje na površino kalupne votline. Kadar nimamo možnosti ali dovolj prostora v bližini kalupa vgradimo indirektno senzorje, ki delujejo preko izmetačev. Brezkontaktno senzorje uporabimo, kadar na izdelku niso dovoljene vidne sledi senzorja.

Za spremljanje krivulje notranjega tlaka je bistvenega pomena položaj tlačnih senzorjev, kajti z oddaljenostjo od dolivnega mesta tlak pada. Po priporočilih proizvajalcev tlačnih

senzorjev je tlak najbolj primerno meriti na eni tretjini poti tečenja taline.



Slika 2: Vgradnja tlačnega senzorja v orodje za brizganje dekorativne zaslonke

### 2.2 Temperaturni senzorji za nadzor temperature orodja

Razgibane geometrije izdelka ustvarjajo težje pogoje za homogeno temperiranje orodja. Z namenom znižanja nabavne cene ter poznejših stroškov povezanih z vzdrževanjem orodja je težnja po izdelavi enostavnih orodij.

Z merjenjem temperature orodja je mogoče zaznati dejanske temperature na posameznem delu orodja. Na osnovi tega lahko prilagodimo nastavljeno temperaturo na temperirnih tokokrogih in s tem zagotovimo bolj homogeno temperaturo orodja, kar pripomore k enakomernejšemu krčenju taline in posledično manjšim dimenzijskim odstopanjem.

Poznamo klasično meritev temperature orodja preko termočlenov vgrajenih v notranjost orodja. Praksa v podjetju je vgradnja termočlenov v vsa orodja za brizganje termoplastov. S tem načinom primerjamo temperaturo orodja in dejansko nastavljeno temperaturo na temperirnih napravah.

Obstajajo kombinirani tlačno temperaturni senzorji za zaznavo temperature taline in notranjega tlaka v orodju, s katerimi lahko preko namenskih sistemov povezanih na stroj korigiramo parametre brizganja.

## 2.3 Nadzorovano prilagajanje procesa brizganja

Proizvajalci brizgalnih strojev imajo razvito rešitev za uravnavanje količine vzbrizgane taline znotraj tolerančnega območja. Trenutno stanje procesa se primerja z referenčnimi parametri s čimer se zagotavlja stabilen in ponovljiv proces ter zmanjša spreminjajoče vplive temperature taline, viskoznosti termoplastičnega materiala, zapiranja proti-povratnega ventila na polžu, itd. V podjetju smo na brizgalne stroje proizvajalca Krauss Maffei vgradili njihov sistem za nadzorovano prilagajanje procesa brizganja, imenovan APC (Adaptive Process Control). Na primeru dekorativnega izdelka je prikazan pomen uporabe sistema APC za stabilnost procesa in končno kvaliteto izdelka. Test je bil narejen z uporabo termoplastičnega materiala z določeno vsebnostjo recikliranega materiala. Reciklirani materiali imajo širše tolerance karakteristik v primerjavi z originalnimi materiali, zato je procesno okno ožje ter proces brizganja manj stabilen.

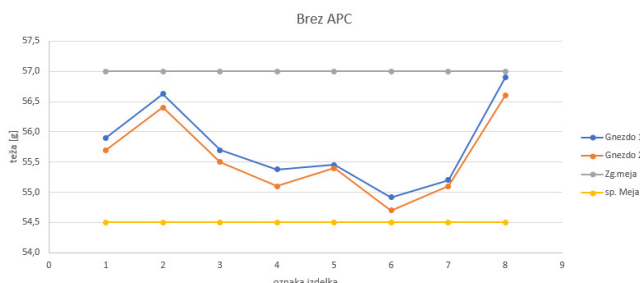


Diagram 1: Prikaz nihanja teže izdelka brez uporabe sistema APC

V primeru, ko je bil delež recikliranega materiala večji, se kalupna votlina ni povsem zapolnila, izdelek je bil lažji in nefunkcionalen. Pri uporabi sistema APC je brizgalni stroj zaznal spremembo v tečenju taline in prilagodil točko preklopa na naknadni tlak ter profil naknadnega tlaka. S tem je kompenziral odstopanja in zagotovil enako maso izdelka.

Amplituda nihanja teže brez uporabe sistema APC je znašala 2,5 g, kar je predstavljalo 4,5 odstotka celotne teže izdelka.

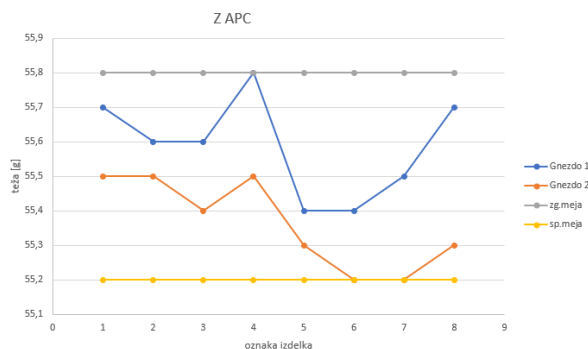


Diagram 2: Prikaz nihanja teže izdelka z uporabo sistema APC

Amplituda nihanja teže z uporabo sistema APC je znašala 0,6 g, kar predstavlja 1 odstotek celotne teže izdelka. Amplitudo nihanja smo zmanjšali za 3,5 odstotke, kar je za zagotavljanje dimenzijske in funkcionalne stabilnosti izdelka izrednega pomena.

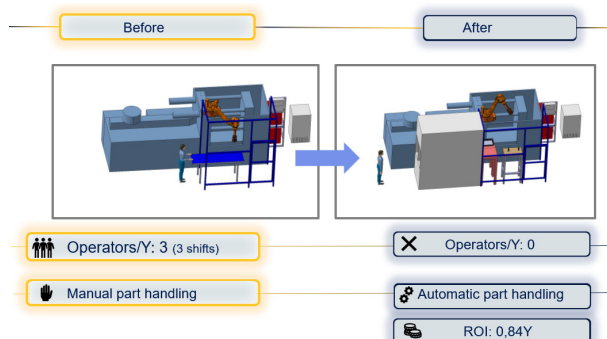
Za proizvodnjo kakovostnih optičnih izdelkov je bistvenega pomena stabilen proces brizganja, katerega lahko dosežemo ob podpori prej opisanih nadzornih sistemov v orodju in na stroju. Stabilnost procesa brizganja dodatno povečamo z avtomatiziranim procesom, kjer je zmanjšan vpliv zunanjih dejavnikov, ki vplivajo na končni izdelek.

## 3 AVTOMATIZIRAN PROCES BRIZGANJA BREZ VIZUALNE KONTROLE

Standardne brizgalne celice za proces brizganja so sestavljene iz stroja za brizganje plastike, robota za odvzem izdelkov iz orodja, transportnega traku, ionizacijske opreme, odreza dolivka ter končne vizualne kontrole z zlaganjem v namensko embalažo. Prednost standardne brizgalne celice je v tem, da ni potrebne prilagoditve v primeru izdelave različnih polizdelkov. Slabost je ter izvajanju sto odstotne vizualne kontrole, kar je obenem lahko tudi slabost, saj je prisoten vpliv človeka in s tem možnost nezaznavanja slabega izdelka.

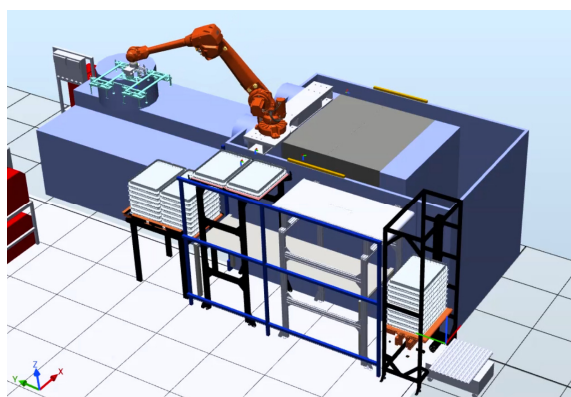
Z namenom povečanja kakovosti ter zmanjšanja stroškov, smo se v podjetju odločili avtomatizirati proces brizganja optičnih leč. Standardna proizvodna celica je bila nadgrajena z avtomatskim posluževalcem embalaže izdelkov.

Skupaj z brizgalnim strojem in postajo za odrez dolivka, pa je bila vzpostavljena dobra osnova za avtomatiziran proces.



Slika 3: Proizvodna celica pred in po spremembi

Slika 3 prikazuje polnoma avtomatizirano proizvodno celico za izdelavo optičnih lečk. Zaradi vzpostavitve ustreznega krmiljenja in nadzora procesa brizganja z nadzornimi sistemi ni potrebe po končni vizualni kontroli vsakega izdelka. Optične leče se po predpisanem kontrolnem planu kontrolira le občasno. Na namensko izdelanih testnih napravah se preverjajo optične vrednosti, vizualno kontrolo pa opravlja delavec. Razvijamo pa tudi testno napravo, katera bo s pomočjo optične kamere preverjala dekorativno ustreznost leč.



Slika 4: Avtomatizirana proizvodna celica

Ključna prednost avtomatizacije je vzpostavitev stabilnega procesa in eliminacija človeškega faktorja. Vizualno in dimenzijsko stabilnost izdelka smo dosegli z medsebojnim povezovanjem krmiljenja elementov. Naprave za temperiranje orodja in termočlene v orodju smo povezali s strojem za brizganje. Nedelovanje temperirnih naprav je mogoče zaznati direktno na stroju ali preko termočlenov.

Dvojna kontrola temperature orodja pripomore k hitremu zaznavanju anomalij temperature, katera je bistvenega pomena za optične in vizualne lastnosti optičnih leč.

### 3.1 METODA ZA PREVENTIVNO ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI

Za stabilen proces avtomatizacije je izrednega pomena analiza možnih napak in njihovih posledic. V ta namen se v podjetju uporablja standardno metodo za preventivno zagotavljanje kakovosti, imenovano »FMEA«. FMEA obrazec se izpolni že v razvojni fazi, kjer specialisti iz različnih področji podajo svoje znanje in izkušnje iz preteklih projektov in na ta način zmanjšajo možnost pojava iste napake na novem projektu. Z definiranjem potencialnih dogodkov, ki bi lahko privedeli do proizvodnje neustreznega izdelka ter implementacijo ustreznih elementov za nadzor procesa lahko stroške izmeta občutno znižamo.

### 3 SKLEP

Avtomatizacija procesa brizganja zagotovi stabilnejši in bolj ponovljiv proces ter s tem pripomore k dvigu kvalitete izdelkov. Odstrani se negativni vpliv človeka, tako glede zagotavljanja pogojev za stabilen proces, kot kontrolo kvalitete izdelkov. Z avtomatizacijo se enostavneje vzpostavi sledljivost polizdelkov do vgradnje v končni produkt. Ne nazadnje pa se zniža cena izdelka, predvsem na račun manjših stroškov nekakovosti in števila zaposlenih.

Viri:

- [1] Osvajanje 100-odstotne avtomatizirane kontrole na proizvodnji liniji, *IRT3000 83-84 (2018)*, str. 70-74.
- [2] APC plus stability, precision and cost-efficiency in production ([https://www.kraussmaffei.com/media/files/imm\\_broschueren/IMM\\_FL\\_APCPlus\\_en.pdf](https://www.kraussmaffei.com/media/files/imm_broschueren/IMM_FL_APCPlus_en.pdf))
- [3] Sensor and systems (<https://www.kistler.com/en/applications/industrial-process-control/plastic-process-monitoring/injection-molding-process-control/>)
- [4] 1.0 WE . 1st edition 09/17. IMM 306 FL 10/2014 EN

## OPTIMIZACIJA BRIZGANJA PA 66 GF35 S FLASH DSC

Silvester BOLKA<sup>1</sup>, Luka BERTONCELJ<sup>2</sup>, Robert KOCBEK<sup>2</sup>, Tamara ROZMAN<sup>1</sup>, Rebeka LORBER<sup>1</sup>, Teja PEŠL<sup>1</sup>, Rajko BOBOVNIK<sup>1</sup>, Thomas WILHELM<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za tehnologijo polimerov

<sup>2</sup>Iskra ISD Plast d.o.o.

### IZVLEČEK

S Flash DSC-jem lahko dosežemo velike hitrosti segrevanja (2.400.000 °C/min) in ohlajanja (240.000 °C/min), kar omogoča simulacijo predelave termoplastov. Lahko določimo temperature steklastega prehoda, tališča, kristalizacije in hladne kristalizacije, entalpije tališča, kristalizacije in hladne kristalizacije. Temperaturno območje izvedbe meritev je od -35 °C do 300 °C. Velikost vzorca je od 10 ng – 1000 ng. Pri brizganju delnokristaliničnih termoplastov je še posebej pomembna hitrost ohlajanja v orodju in temperatura orodja. S tem lahko uravnavamo velikost kristaliničnih področij in njihovo število. Od teh dveh parametrov so močno odvisne tudi končne lastnosti brizganih kosov.

V prispevku bomo predstavili Flash DSC in njegovo praktično uporabo pri optimizaciji brizganja PA 66 GF35. Zasedovali smo vpliv temperature orodja in časa ohlajanja na stopnjo kristaliničnosti PA 66 GF35. Karakterizacijo lastnosti smo izvedli v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu. Ovrednotili smo mehanske in toplotne lastnosti pred in po optimizaciji skladno z rezultati Flash DSC meritev.

Delo je bilo opravljeno v okviru projekta "Turbine House" podjetja Iskra ISD Plast iz Kranja.

### 1 UVOD

Pri brizganju termoplastičnih kompozitov so lastnosti izdelkov močno odvisne od parametrov brizganja. Pri izbiri le teh, predvsem temperatur in pogojev plastificiranja je najpomembnejše slediti navodilom proizvajalcev granulotov. Pri temperaturi orodja in času hlajenja pa imamo še dve dodatni možnosti in sicer podatki simulacije brizganja in optimizacija s Flash DSC.

Optimizacija s Flash DSC nam omogoča, da pri delnokristaliničnih termoplastih (termoplastičnih kompozitih) dobimo tudi na stenah izdelkov primerljivo stopnjo kristaliničnosti kot na sredini, kar pomeni, da preprečimo dimenzijske spremembe po brizganju in tudi zvišamo togost in trdnost. Izvedba takšnih eksperimentov je možna, ker je masa tako vzorca kot same delovne površine senzorja izredno majhna, kar omogoča hitrosti ohlajanja in segrevanja tako visoke, da preprečimo reorganizacijo pri delnokristaliničnem termoplastu (ne kristalizira). Rezultate simulacije brizganja s Flash DSC lahko potem uporabimo za brizganje in sicer pri temperaturi orodja in času ohlajanja v orodju. [1]

### 2 FLASH DSC

Pri diferenčni dinamični kalorimetriji visoke hitrosti segrevanja in ohlajanja preprečijo reorganizacijo in s tem omogočijo karakterizacijo tudi metastabilnih materialov. Tehnika nam omogoča:

- preiskave reorganizacije in nastanka struktur pri segrevanju
- karakterizacijo materiala v svoji originalni strukturi
- meritve kinetike kristalizacije v širokem območju hitrosti ohlajanja
- meritve izotermne kristalizacije podhlajene kapljevine
- vpliv dodatkov na kinetiko kristalizacije
- preučevanje nastanka amorfne morfologije
- simulacijo ohlajanja pri predelavi pri dejanskih hitrostih ohlajanja ter
- definicijo ustreznih modelov in parametrov za numerične simulacije pri ohlajanju (strjevanju). [1]

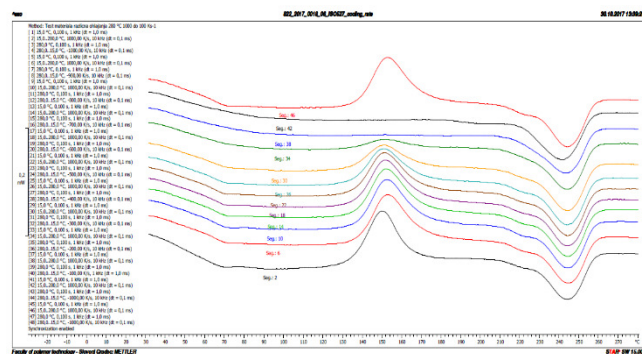
S Flash DSC lahko dosežemo visoke hitrosti segrevanja in ohlajanja, ker ima senzor nizko toplotno kapaciteto. Da pa lahko izvedemo

karakterizacije z visokimi hitrostmi, mora imeti vzorec dober toplotni kontakt s kalorimetrom (senzorjem), hkrati pa mora biti tudi zelo tanek, da preprečimo previsok temperaturni gradient v vzorcu samem (Slika 1).



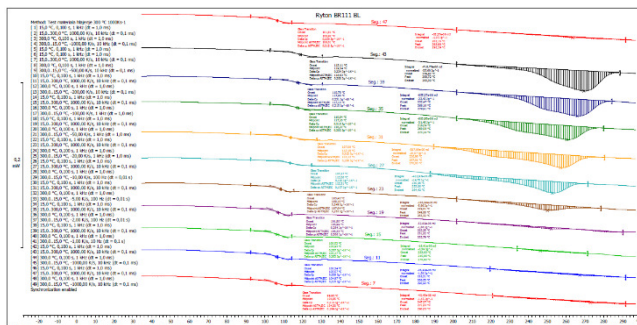
Slika 1: Flash DSC – senzor z vzorcem

S Flash DSC lahko tako določimo minimalno hitrost ohlajanja, da preprečimo reorganizacijo (Slika 2). Na Sliki 2 je predstavljeno segrevanje s 1.000 °C/s, ter predhodnimi različnimi hitrostmi ohlajanja (od -1 °C/s do -1.000 °C/s). Po steklastem prehodu sledi hladna kristalizacija le pri meritvah z višjimi hitrostmi ohlajanja. Iz teh meritev lahko razberemo, da je hitrost segrevanja 1.000 °C/s še vedno »prenizka«, da bi preprečili reorganizacijo (hladno kristalizacijo) pri segrevanju.



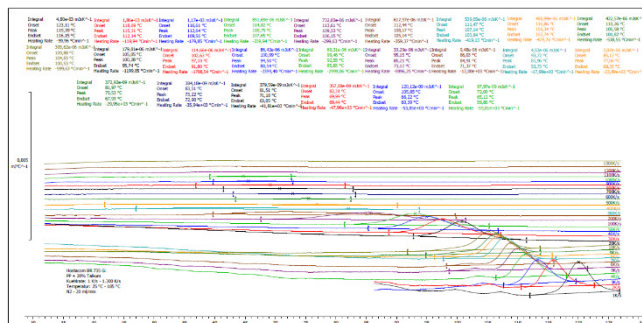
Slika 2: Flash DSC – segrevanje PA 66 s 1.000 °C/s in predhodnimi različnimi hitrostmi ohlajanja

Če je hitrost segrevanja zadosti visoka, da preprečimo reorganizacijo med segrevanjem, potem s predhodno različnimi hitrostmi ohlajanja lahko analiziramo kinetiko kristalizacije materiala (Slika 3).



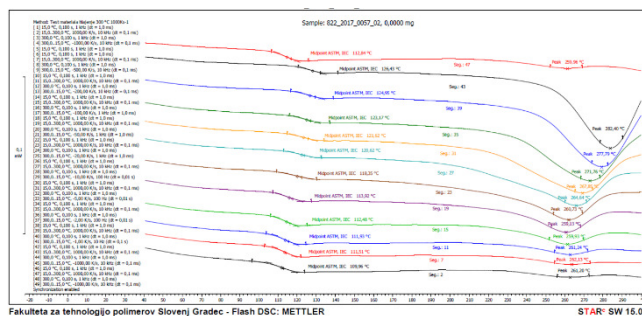
Slika 3: Flash DSC – segrevanje PA 66 s 1.000 °C/s in predhodnimi različnimi hitrostmi ohlajanja

Za definicijo ustreznih modelov in parametrov za numerične simulacije pri ohlajanju izberemo različne hitrosti ohlajanja in karakteriziramo temperature kristalizacije ter tudi hitrost ohlajanja ki je potrebna, da preprečimo reorganizacijo med ohlajanjem (Slika 4).



Slika 4: Flash DSC – različne hitrosti ohlajanja za PP kompozit

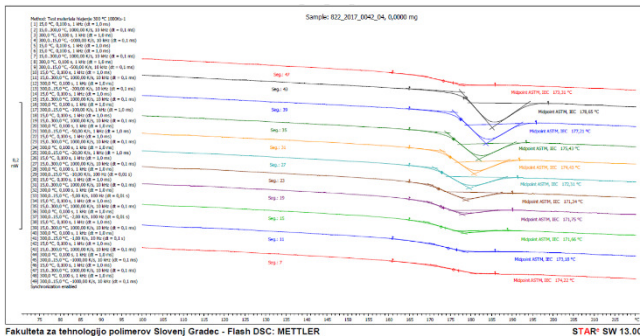
S Flash DSC lahko študiramo vpliv stopnje kristaliničnosti na temperaturo steklastega prehoda delnokristaliničnega materiala (Slika 5).



Slika 5: Flash DSC – odvisnost temperature steklastega prehoda od stopnje kristaliničnosti

Flash DSC je lahko tudi ustrezen inštrument za karakterizacijo relativne degradacije amorfnih

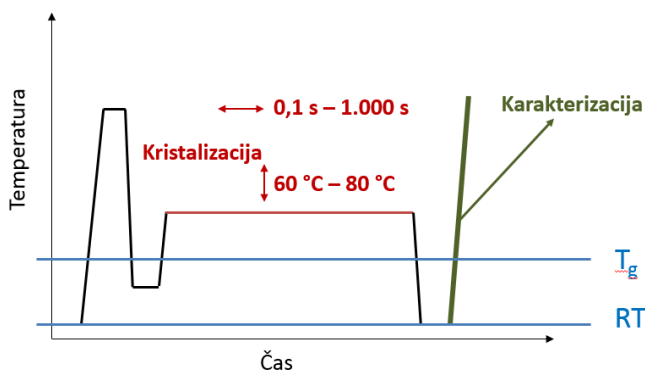
termoplastov. Dober pokazatelj je relaksacijska entalpija po steklastem prehodu. Če je material degradiran, potem se relaksacijska entalpija pojavi pri višji hitrosti segrevanja (Slika 6).



Slika 6: Flash DSC – možnost karakterizacije degradacije amornega termoplasta

## 2.1 Optimizacija brizganja s Flash DSC

S hitrim segrevanjem in ohlajanjem lahko preprečimo kristalizacijo termoplastov tako med segrevanjem kot ohlajanjem. Na Sliki 1 je predstavljena metoda za Flash DSC, kjer uporabimo hitrosti segrevanja in ohlajanja tako visoke, da preprečimo kristalizacijo – običajno segrevanje in ohlajanje višje ali enako 1.000 °C/s.



Slika 1: Metoda za Flash DSC meritve

S testom po zgornji metodi simuliramo kristalizacijo pri ohlajanju brizganih kosov v orodju. Rezultati meritev nam podajo relativno stopnjo kristaliničnosti brizganih kosov pri različnih testiranih temperaturah, ki predstavljajo temperaturo orodja pri brizganju, čas izotermnega segmenta pri tej temperaturi pa nam predstavlja čas hlajenja brizganega kosa. Tako dobimo potreben čas kristalizacije pri temperaturi orodja. Zaželeno relativno stopnjo kristaliničnosti je vsaj

90 %, kar zmanjša notranje napetosti zaradi različne morfologije na steni in v sredini brizganega kosa. Z višjo stopnjo kristaliničnosti se povišata tudi togost in trdnost, ter rahlo tudi temperaturna obstojnost in HDT. Hkrati se z višjo stopnjo kristaliničnosti drastično zmanjša tudi naknadno krčenje, oz. kar je tudi možno v primeru poliamida, navzemanje vlage in s tem višanje dimenzij – z višjo stopnjo kristaliničnosti takoj po brizganju se močno poviša dimenzijska stabilnost brizganih kosov.

## 3 PRIPRAVA VZORCEV IN TESTIRANJA

### 3.1 Priprava vzorcev

Uporabljen termoplastični kompozit je bil PA 66 GF35. Najprej smo brizgali testne epruvete za karakterizacijo mehanskih in toplotnih lastnosti s priporočenimi parametri brizganja proizvajalca granulata. Sledile so laboratorijske meritve in karakterizacija.

V drugem koraku smo izvedli meritve na Flash DSC, kjer smo določili optimalno temperaturo orodja in potreben čas hlajenja, da smo dobili več kot 90 % stopnjo kristaliničnosti.

Z optimalno temperaturo orodja in optimalnim časom hlajenja smo ponovili brizganje testnih epruvet za karakterizacijo mehanskih in toplotnih lastnosti, katere smo izmerili na laboratorijski opremi in karakterizirali.

### 3.1 Laboratorijska testiranja

Testiranja smo opravili v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu in laboratorijih podjetja Kolektor Group d.o.o. iz Idrije.

Brizgali smo na brizgalnem stroju Krauss Maffei KM 50-180 CX.

Dinamične mehanske analize (DMA) smo izvedli na Perkin Elmer DMA 8000. Vzorce smo segrevali s hitrostjo segrevanja 2 °C/min, pri frekvenci 1 Hz in amplitudi 10 μm v temperaturnem območju od – 80 °C do 150 °C. Za testiranja smo uporabili dvojno prižemo.

Termogravimetrične analize (TGA) smo izvedli na instrumentu Perkin Elmer TGA 4000. Vzorec smo segrevali od 40 °C do 550 °C, s hitrostjo segrevanja 10 °C/min, v dušikovi

atmosferi (20 mL/min), nato pa 10 min. pri 550 °C v kisikovi atmosferi (20 mL/min).

Upogibne in natezne teste smo izvedli na trgalnem stroju Shimadzu AG-X plus 10kN. Upogibne teste smo izvedli skladno z ISO 178, natezne teste skladno z ISO 527. Pri upogibnem testu je bil razmik spodnjih podpor 64 mm, hitrost testiranja 2 mm/min. Pri nateznem testu je bil razmak čeljusti 50 mm, hitrost testiranja do razteška 0,25 % je bila 1 mm/min, nad 0,25 % do pretrga pa 50 mm/min.

Ultrahitro diferenčno dinamično kalorimetrijo (Flash DSC) smo izvedli na kalorimetru Mettler Toledo Flash DSC 1. Vzorcem smo najprej izbrisali toplotno zgodovino, potem smo ji segreli od sobne temperature do 60 °C oz. 70 °C oz. 80 °C in jih držali pri tej temperaturi različne časovne intervale (od 0,1 s do 1.000 s). Sledilo je hitro ohlajanje do sobne temperature in hitro segrevanje. Vrednotili smo segment segrevanja.

Meritve udarne žilavosti smo izvedli na Charpy LY-XJJDS skladno z ISO 179. Razmik med podporama je bil 60 mm, uporabili smo 2 J kladivo.

Teste diferenčne dinamične kalorimetrije smo izvedli na Mettler Toledo DSC 2. Uporabili smo 40 µl Al lončke, zatehte vzorcev med 10 mg in 30 mg. Teste smo izvajali v N<sub>2</sub> atmosferi. Vzorce smo najprej ohladili do 0 °C, sledil je izotermni segment 3 min; segrevanje z 10 °C/min od 0 °C do +300 °C, izotermni segment pri +300 °C 10 min., ohlajanje od +300 °C do 0 °C z -10 °C, potem se ponovijo še enkrat vsi koraki.

#### 4 REZULTATI IN DISKUSIJA

V Tabeli 1 so zbrani rezultati laboratorijskih testiranj testnih epruvet s parametri brizganja, ki jih priporoča proizvajalec granulata.

Tabela 1: Rezultati laboratorijskih testiranj pred optimizacijo

Lastnost	Vrednost	Enota	Metoda
Upogibni E modul - $E_f$	8,50	GPa	ISO 178
Maks. upogibna trdnost - $\sigma_{fM}$	252.2	MPa	ISO 178
Natezni E modul pri 110 °C - $E_t$	1,43	GPa	ISO 527
Natezna trdnost pri 110 °C - $\sigma_m$	92,80	MPa	ISO 527
Raztezek pri pretrgu 110 °C - $\epsilon_{tb}$	7,90	%	ISO 527
Dinamični E modul pri -25 °C - $E'$	7,30	GPa	ISO 6721
Dinamični E modul pri +25 °C - $E'$	6,30	GPa	ISO 6721
Dinamični E modul pri +110 °C - $E'$	2,90	GPa	ISO 6721
Temperatura razpada - $T_d$	467	°C	ISO 6964
Tališče - $T_m$	259.8	°C	ISO 11357
Kristaliničnost - $W_{c,h}$	29	%	ISO 11357
Udarna žilavost (Charpy) pri 25 °C	62.7	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179

Natezni E modul pri sobni temperaturi je 9,4 GPa, natezna trdnost višja kot 180 MPa, raztezek pri natezni trdnosti je le malenkost manjši kot raztezek pri pretrgu, kar pomeni, da ima kompozit visoko togost in trdnost, ter zelo krhko obnašanje, kot posledica dodanih 35 m.% steklenih vlaken.

Upogibni E modul pri sobni temperaturi je 8,3 GPa, maksimalna upogibna trdnost višja kot 250 MPa, upogibni raztezek pri maksimalni upogibni trdnosti je le malenkost manjši kot 4 %, kar pomeni, da ima kompozit visoko togost in zelo visoko trdnost kot posledica dodanih 35 m.% steklenih vlaken.

Dinamični E modul je nižji kot natezni ali upogibni E modul in znaša pri 30 °C 6,4 GPa in se zniža na 3,4 GPa pri 110 °C, kar znaša tudi temperatura pri uporabi. Dinamični E modul je še vedno višji od 3,0 GPa pri temperaturi 145 °C, kar je posledica vsebnosti steklenih vlaken. Faktor izgub ima vrh pri 70 °C (kar pomeni steklasti prehod pri frekvenci 1 Hz) in znaša 0,075, kar je

pričakovana nizka vrednost za PA 66 s 35 % steklenih vlaken.

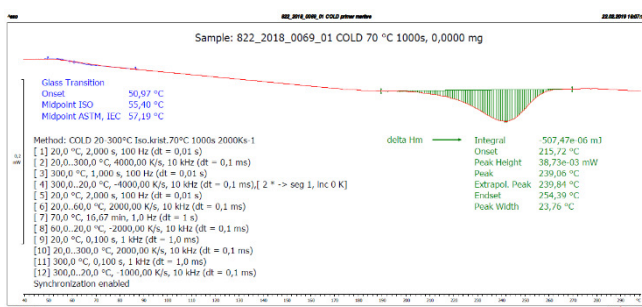
Udarna žilavost je višja od 60 kJ/m<sup>2</sup> in je kljub dodatkom 35 % steklenih vlaken še vedno zelo visoka.

Temperatura degradacije je višja od 467 °C, vsebnost steklenih vlaken je malo nad 36 m.%.

Steklasti prehod je 50 °C, tališče 259 °C, stopnja kristaliničnosti 28 % in temperatura kristalizacije 223 °C. Vse vrednosti so pričakovane za PA 66 GF35.

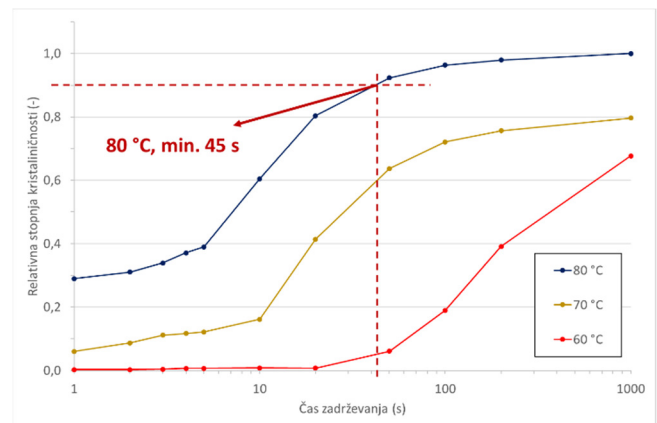
Vrednosti smo v nadaljevanju uporabili kot referenčne vrednosti za karakterizacijo optimizacije brizganja.

Pri Flash DSC meritvah smo karakterizirali zadnje segrevanje (Slika 2). Kot referenčno vrednost za talilno entalpijo pri izračunu relativne stopnje kristaliničnosti smo uporabili talilno entalpijo pri 80 °C in času 1.000s.



Slika 2: Segrevanje po zadrževanju pri 70 °C 1.000s

Da lahko določimo optimalno temperaturo orodja in čas ohlajanja, je potrebno da dosežemo vsaj 90 % stopnjo kristaliničnosti pri termoplastičnem kompozitu. Na Sliki 3 so predstavljene zbrane meritve relativne stopnje kristaliničnosti v odvisnosti od časa zadrževanja pri treh različnih temperaturah na Flash DSC.



Slika 3: Optimizacija temperature orodja in časa ohlajanja pri brizganju v orodju

Na podlagi Flash DSC analiz lahko zaključimo, da pri nižji temperaturi od 80 °C v času 1.000 s ne dosežemo več kot 80 % relativne stopnje kristaliničnosti, kar pomeni, da se morfologija na robu in v sredini brizganega kosa močno razlikujeta. To pomeni, da bo prišlo do hladne kristalizacije po brizganju, ko bo brizgan kos izpostavljen temperaturam v bližini steklastega prehoda materiala (okoli 45 °C). Pri testiranem materialu je tako minimalna temperatura orodja 80 °C in minimalen čas hlajenja v orodju 45 s, da dosežemo tudi na robu brizganega kosa primerljivo stopnjo kristaliničnosti kot v sredini. Pri tem se zmanjša tudi navzemanje vlage, saj poliamid navzema vlago v amorfem področju.

Na podlagi rezultatov Flash DSC analize smo spremenili parametra brizganja: temperaturo orodja in čas hlajenja, na 80 °C in 45 s.

Sledilo je brizganje in ponovna karakterizacija. V Tabeli 2 so predstavljeni rezultati laboratorijskih meritev po optimizaciji brizganja. Vrednosti smo primerjali z vrednostmi predhodne karakterizacije s parametri brizganja skladnimi s priporočili proizvajalca granulata.

Tabela 1: Zbrani rezultati meritev po optimizaciji brizganja

Lastnost	Razlika (%)
Upogibni E modul - $E_f$	+14
Maks. upogibna trdnost - $\sigma_{fM}$	+2
Natezni E modul pri 110 °C - $E_t$	+21
Natezna trdnost pri 110 °C - $\sigma_m$	+2
Raztezek pri pretrgu 110 °C - $\epsilon_{tb}$	-1
Dinamični E modul pri - 25 °C - $E'$	+4
Dinamični E modul pri + 25 °C - $E'$	+14
Dinamični E modul pri + 110 °C - $E'$	+7
Temperatura razpada - $T_d$	+2
Tališče - $T_m$	0
Kristaliničnost - $W_{c,h}$	+3
Udarne žilavost (Charpy) pri 25 °C	-8

Natezni E modul smo pri 110 °C uspeli dvigniti iz predhodnih 1,43 GPa na 2,73 GPa, kar pomeni, da bo material pri obremenitvi imel manjši raztezek. Natezno trdnost smo iz 92,8 MPa dvignili na 94,2 MPa, kar pomeni, da bo material prenesel višje napetostne obremenitve. Skladno z zvišanjem togosti in trdnosti se je zmanjšal raztezek pri natezni trdnosti iz 7,7 % na 7,4 %. Skladno z rezultati nateznega testa so bili tudi rezultati upogibnega testa, kjer smo dobili višjo togost in trdnost ter nižji raztezek.

Dinamični E modul je višji po celotnem temperaturnem območju testiranja. Vrh faktorja izgub se je pri optimiranem brizganju premaknil k višjim temperaturam, kar pomeni, da je višja togost materiala v tesni povezavi z višjo stopnjo kristaliničnosti, kar potrjujejo tudi rezultati dinamičnega E modula, ker je tudi po steklastem prehodu dinamični E modul pri optimiranem brizganju višji, kar tudi pomeni višjo stopnjo kristaliničnosti materiala pred meritvijo. To hipotezo dodatno potrjuje tudi višja stopnja kristaliničnosti, ki smo jo izmerili z DSC. Temperatura degradacije se je zvišala za 7 °C. Udarne žilavost se pričakovano zniža, saj smo material zadrževali pri relativno nizkih temperaturah, kjer nastanejo večja kristalinična območja, ki zvišajo tudi krhkost materialu.

## 5 SKLEP

Iz rezultatov lahko zaključimo, da je optimalna temperatura za brizganje PA 66 GF 35 80 °C, pri tem pa je čas hlajenja v orodju vsaj 45 s. Tako dobimo visoko stopnjo kristaliničnosti tudi zunanjih plasti brizganega izdelka in s tem primerljivo morfologijo po celotnem preseku. S takšnimi nastavitvami dobimo višjo togost in malenkostno višjo trdnost brizganega izdelka po celotnem temperaturnem intervalu. Visoka stopnja kristaliničnosti robnih plasti nam zagotavlja dimenzijsko stabilnejši brizgan izdelek, saj s tem skoraj v celoti preprečimo hladno kristalizacijo po brizganju in z visoko stopnjo kristaliničnosti zagotovimo tudi veliko manjše navzemanje vlage, s čimer zagotovimo višjo togost in trdnost in hkrati manjše spreminjanje dimenzij brizganega izdelka.

V okviru našega projekta nam višja togost pomeni, da bomo lahko nadomestili kovino s termoplastičnim kompozitom za nosilno avtomobilsko komponento.

Flash DSC je zelo uporabna analiza za optimizacijo procesnih parametrov brizganja za delnokristalinične termoplaste (termoplastične kompozite), saj lahko določimo optimalno temperaturo orodja in čas hlajenja v orodju. Rezultati laboratorijskih meritev po optimizaciji brizganja jasno kažejo možne velike prihranke za podjetja, ki se ukvarjajo z brizganjem delnokristaliničnih termoplastov, saj optimizacija doprinese tako k trdnjšim, bolj togim in dimenzijo stabilnejšim brizganim izdelkom, kar pomeni veliko manjše možnosti za reklamacije brizganih kosov.

Viri:

- [1] Schick, C, Mathot, V.: *Fast Scanning Calorimetry*, Springer, Switzerland, 2016.

## 3D TISKANJE KONČNIH IZDELKOV S HP MULTI JET FUSION TEHNOLOGIJO

David FISTER, Andrej SUHADOLC  
CGS plus d.o.o.

### IZVLEČEK

*Z uporabo HP Multi Jet Fusion (MJF) tehnologije 3D tiskanja in prilagojeno tehniko 3D modeliranja tehnologiji HP MJF so v podjetju Slatnar d.o.o. uspeli pohitrili razvoj izdelka, v procesu razvoja optimizirati geometrijo, zmanjšati težo in poenostaviti izdelavo končnega izdelka - Swiss Timing ohišja, ki se bo serijsko izdeloval na HP MJF 3D tiskalnikih.*

### 1 UVOD

V 80 letih je HP predstavil prvi tiskalnik, ki je bil zasnovan na Thermal inkjet tehnologiji. Gre za tehnologijo, kjer zelo droben grelec, imenovan TIJ segreje črnilo do vrelišča, pri čemer nastane mehurček, ki brizgne črnilo skozi šobo. Ta princip delovanja je ostal do danes nespremenjen. V 30 letih razvoja Thermal inkjet tehnologije se je skladno z Moorovim zakonom brizganje števila kapljic na sekundo podvojilo vsakih 18 mesecev.

Pri snovanju HP Multi Jet Fusion tehnologije, v nadaljevanju HP MJF, za razvoj HP 3D tiskalnika je HP uporabil do dobra preizkušeno Thermal inkjet tehnologijo, ki s 30 let razvoje in izkušenj danes zagotavlja konkurenčno prednost HP 3D tiskalnikom.

V sodelovanju s podjetjem Slatnar d.o.o. smo do dobra preizkusili MJF tehnologijo v praksi, kot pomoč pri razvoju specifičnega izdelka ter dejansko tudi uporabili MJF tehnologijo 3D tiska za proizvodnjo končnega izdelka. V nadaljevanju predstavljamo podrobneje tehnologijo MJF ter ugotovitve podjetja Slatnar d.o.o. glede primernosti uporabe tehnologije v praksi.

### 2 HP Multi Jet Fusion tehnologija

Princip delovanja HP MJF 3D tiskalnika temelji na preprostem dejstvu, da se črno telo na soncu precej bolj segreje kot belo. HP MJF 3D tiskalnik v enem koraku nanese plast prahu, ki jo potem potiska z črno barvo in sočasno osvetli z žarnico.

Pri tem se prah, ki je potiskan segreje do temperature, ki prah stopi in zlije s spodnjo plastjo materiala. Debelina posamezne plasti je 80  $\mu\text{m}$ .

Za tiskanje HP uporablja Inkjet Page Wide tehnologijo, to pomeni, da je širina, ki jo natisne v enem prehodu enaka širini materiala na katerega tiskamo. V konkretnem primeru je to 280 mm. Tiskali smo na HP Jet Fusion 3D 4200 tiskalnik s procesno enoto, namenjeno pripravi in upravljanju t.i. Build Unit-a – enote, v kateri je komora za tiskanje (Slika 1).



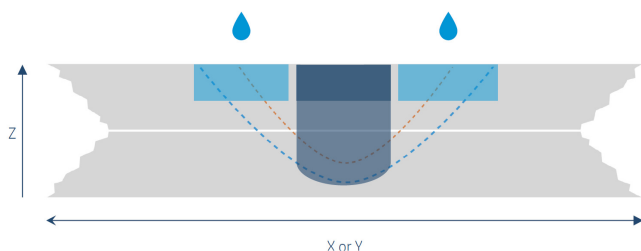
Slika 1: Hp Jet Fusion 3D 4200, procesna enota in komora za tiskanje, t.i. Build Unit

Na enakem principu delujejo tako namizni Page Wide tiskalniki kot tiskalniki velikega formata Page Wide XL in tudi tiskarski stroji HP Web Jet press, ki dosegajo hitrosti tiskanja do 280 m/min.

Omenjena tehnologija omogoča bistveno višje hitrosti 3D tiskanja kot jo dosegajo konkurenčne tehnologije, saj se celoten proces 3D tiska zgodi v

enem ali dveh prehodih glave preko materiala. Ker je ta del procesa zelo hiter se lahko na točki segrevanja materiala zadržimo dlje časa, 60 ms, pri SLS tehnologiji je ta čas približno 1000 krat krajši, 60  $\mu$ s. Posledično je material, natisnjen z MJF tehnologijo homogen, lastnosti materiala v x, y in z smeri so praktično enake, izdelek je vodotesen in zrakotesen.

Pri 3D tiskanju z MJF tehnologijo tiskalnik uporablja dva agenta in sicer Fusing in Detailing agent. Fusing agent je črna barva, ki poskrbi za absorpcijo energije. Detailing agent pa je snov, ki jo tiskalnik nanese na rob izdelka in ustvari mejo med prahom in stopljenim materialom, s tem poveča tako natančnost roba izdelka kot usmerjanje energije v globino spodnje plasti materiala (Slika 2).



Slika 2: Fuzija materiala pri MJF

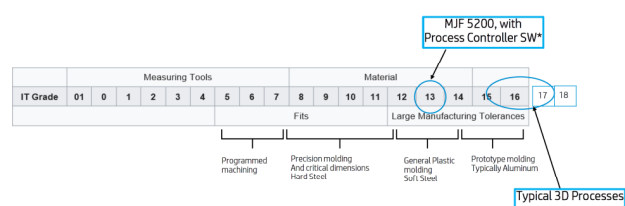
Dejansko z MJF tehnologijo dosegamo kvaliteto 3D natisnjenih izdelkov primerljivo izdelkom iz brizgane plastike. Hitrost tiskanja pa je vsaj 10 krat hitrejša od katerekoli druge 3D tehnologije tiskanja. Omenjena dejstva postavljajo MJF tehnologijo kot prvo, ki omogoča serijsko proizvodnjo 3D tiskanih izdelkov. Novi model tiskalnika, HP Jet Fusion 5200 3D (Slika 3),



Slika 3: HP JF 5200 3D – dosega IT 13

Predstavljen javnosti 10.5.2019 dosega kvaliteto natisnjenih izdelkov skladno z IT 13 (Slika 4).

Process Capabilities of Cpk  $\geq 1.33$  or 4 sigma



3D Printing Results from HP Internal Test Data  
 \* Results for MJF 5200 with Process Control SW in X&Y on dimensions up to 80mm. Larger dimensions & Z-direction lightly worse.  
 Results for Typical 3D Processes include Laser Sintering from 2 Part Providers, Material Extrusion from 1 Provider, and non-statistical results from other processes

Slika 4: HP JF 5200 3D lahko tiska v tolerancah IT 13, Cpk  $\geq 1.33$  ali 4 sigma

S tem je omogočena kontrola kvalitete izdelkov po statističnih metodah, kar je pogoja za kakršnokoli serijsko proizvodnjo končnih izdelkov

### 3 Uporaba MJF pri razvoju Swiss Timing ohišja

Slatnar d.o.o. je podjetje, katerega prvotna dejavnost je bila izdelava karbonskih vezi za skakalne smuči. Danes njihove vezi uporablja 98% tekmovalcev v svetovnem pokalu. Ko je v začetku leta 2016 podjetje Elan opustilo program skakalnih smuči je podjetju Slatnar d.o.o. v rekordnem času uspelo vzpostaviti lastno proizvodnjo smuči. Slatnar d.o.o. je razvojno usmerjeno podjetje, ki neprestano stremi k inovacijam, razvoju novih in izboljšavam obstoječih izdelkov. To je nujno potrebno za ohranjanje konkurenčne prednosti in pridobivanju tržnega deleža v tako specifičnem okolju, kot je razvoj in proizvodnja smučarske opreme na nivoju profesionalne uporabe. Rezultat je, da trenutno v svetovnem pokalu smučarskih skokov 98% skakalcev uporablja Slatnarjeve vezi, 25% skakalcev pa skače s Slatnarjevimi smučmi.

#### 3.1 Napredna smučarska skakalna vez z vgrajeno Swiss Timing telemetrijo

S strani krovne smučarske organizacije FIS je bil podjetju Slatnar d.o.o. zaupan razvoj napredne smučarske skakalne vezi z vgrajeno Swiss Timing telemetrijo. Uporaba telemetrije bo v prihodnje zahtevana na vseh FIS tekmovanjih v smučarskih skokih.

Prvi prototipi Swiss Timing ohišja so bili izdelani na klasičen način z rezkanjem, kasneje z izdelavo kalupov in izdelavo karbonskega ohišja. Zaradi specifičnih zahtev tekmovalcev je geometrija ohišja zahtevna. Ohišje je bilo v osnovi projektirano in sestavljeno iz treh delov, ki jih je bilo potrebno med seboj vijačiti. Postopek razvoja in izdelave ohišja je bil kompleksen, zamuden in posledično drag. Kljub uporabi karbona pri izdelavi ohišja teža izdelka ni bila optimalna (Slika 5).



Slika 5: Karbonsko ohišje izdelano po klasični metodi

Ravno v času razvoja ohišja in po izdelavi prvih prototipov je bila podjetju Slatnar d.o.o. s strani CGS plus d.o.o. predstavljena HP Multi Jet Fusion (MJF) tehnologija 3D tiskanja. Že po prvem sestanku je bil s strani podjetja Slatnar d.o.o. izkazan interes za sodelovanje. Izkazalo se je, da je potencial uporabe HP MJF tehnologije 3D tiskanja v podjetju velik. Ocenili smo, da je tehnologija primerna tako v fazi razvoja izdelkov kot tudi serijske izdelave končnih izdelkov v praktično vseh področjih razvoja. Omeniti je potrebno, da je razvoj smučarskih skakalnih vezi in smuči samo del razvojnega dejavnosti s katero se podjetje ukvarja.

Konkretno smo imeli priložnost preizkusiti HP MJF pri nadaljevanju razvoja Swiss Timing ohišja.

V prvi fazi smo natisnili nekaj vzorcev ohišja vezi z namenom preizkusa uporabnosti materiala PA 12. Vzorci so bili natisnjeni z HP JF 4200 3D tiskalnikom v CGS plus d.o.o.. Kvaliteta izdelave 3D tiskanega kosa je bila ocenjena kot izvrstna. Geometrijska natančnost in mehanske lastnosti so bile ekvivalentne uporabi klasične metode izdelave ohišja. Izkazalo se je, da v nasprotju s klasičnim razvojem prototipa pri izdelavi z HP MJF tehnologijo 3D tiskanja ni geometrijskih omejitev. S tem pa je bilo na relativno enostaven način omogočena optimizacija samega 3D modela ohišja. Načrtovanje novega 3D modela se je prilagodilo predvideni tudi končni izdelavi izdelka s tehnologijo HP MJF. Med postopkom razvoja ohišja smo tako brez težav natisnili več različnih variant ohišja, saj z uporabo HP MJF lahko zagotovimo dobavo natisnjenega izdelka v 2-3 dneh po prejemu 3D modela, strošek tiska pa ni odvisen od variacij geometrije izdelka. Izkazalo se je, da se na tak način lahko zelo hitro pride do izboljšanih verzij izdelka. Izkazalo se je, da se je geometrija ohišja optimizirala, na določenih delih so se stanjšale debeline sten, posledično se je znižala tudi teža izdelka, izdelek je natisnjen v enem kosu (Slika 6), sestavljanje ni več potrebno. Sam postopek razvoja se je dejansko z uporabo HP MJF tehnologije 3D tiskanja pohitiril.



Slika 6: Ohišje natisnjeno z HP MJF tehnologijo 3D tiskanja

#### 4 Zaključek

Z uporabo tehnike modeliranja, prilagojene tehnologiji produkcije 3D tiskanja, so v podjetju Slatnar uspeli poenostaviti produkcijo Swiss Timing ohišij ter z optimizacijo modela zmanjšati težo ohišja na primerljivo karbonskemu izdelano po klasični metodi. HP MJF tehnologija se je izkazala kot zelo primerna za izdelavo maloserijskih izdelkov. Z novim načinom razmišljanja razvojne ekipe, glede na to, da geometrijskih ovir praktično ni več, so že pri prvem izdelku dosegli zmanjšanje stroškov razvoja in tudi izdelave končnega izdelka. Dejstvo je, da HP MJF tehnologija 3D tiskanja presega okvirje izdelave prototipov, dejansko je primerna in omogoča tiskanje serijske proizvodnje končnih izdelkov. V CGS plus d.o.o. ocenjujemo, da HP MJF tehnologija ne bo izpodrinila klasičnega načina izdelave velikoserijskih in geometrijsko enostavnih izdelkov, dejstvo pa je, da HP MJF tehnologija omogoča izdelavo izdelkov, ki jih s klasičnimi metodami sploh ni možno izdelati, personalizacija izdelkov, spremembe modelov, ipd. pa dejansko ne vplivajo na proizvodni strošek, saj pri 3D tiskanju izdelava orodji za posamezen izdelek ni potrebna.

## MOŽNOSTI OBDELAVE 3D TISKANIH KOVINSKIH IZDELKOV Z ABRAZIVNIM TOKOM

**Luka KASTELIC, Davorin KRAMAR, Franci PUŠAVEC**  
Katedra za menedžment obdelovalnih tehnologij, FS UNI-LJ

### IZVLEČEK

V današnjem času narašča uporaba dodajalnih tehnologij. Kljub izjemnim sposobnostim za izdelavo kompleksnih geometrij, se z dodajalnimi tehnologijami ne da izdelati komponent oziroma funkcionalnih površin znotraj zahtevanih toleranc in določene kvalitete površine. Z drugimi besedami, površina izdelka izdelanega z dodajalnimi tehnologijami, je slabša, kot površina izdelana s konvencionalnimi tehnologijami, zaradi česar morajo biti komponente naknadno obdelane. V takih primerih ponuja izboljšave obdelava z abrazivnim tokom (AFM – angl. Abrasive Flow Machining). Na učinkovitost AFM vplivajo parametri kot na primer: lastnosti abrazivnega medija, temperatura, hitrost, itd., zaradi česar je njihovo poznavanje nujno za vključevanje AFM v industrijske aplikacije. Prispevek tako predstavlja pregled dosedanjih raziskav in trend razvoja na področju obdelave 3D tiskanih izdelkov s postopkom AFM.

### 1 UVOD

Dodajalne tehnologije oziroma metode 3D tiska omogočajo izdelavo izdelkov kompleksnih oblik, katere je s konvencionalnimi težko oziroma nemogoče obdelati. Na tem področju obdelava z abrazivnim tokom ponuja prednosti predvsem pri obdelavi notranjih kanalov, kot so na primer hladilni kanali v orodnih vložkih. Zaradi te prednosti, je postopek trenutno zanimiv predvsem v orodjarski industriji. V prispevku bodo predstavljene osnovne značilnosti AFM postopka, ter dosedanje raziskave na obdelavi 3D tiskanih izdelkov s pomočjo AFM in ter ostalimi postopki.

### 2 POSTOPEK AFM

Postopek poliranja z abrazivnim tokom AFM (angl. Abrasive Flow Machining) je postopek poliranja, pri katerem je kot orodje uporabljen polimerni medij z dodanim abrazivom. Deformabilnost in ne-newtonsko obnašanje abrazivnega medija (strižno odvisno obnašanje) omogoča, da se s tem postopkom obdeluje tudi dele s kompleksnimi geometrijami, katerih obdelava s konvencionalnimi postopki ni mogoča [1].

### 2.1 AFM SISTEM

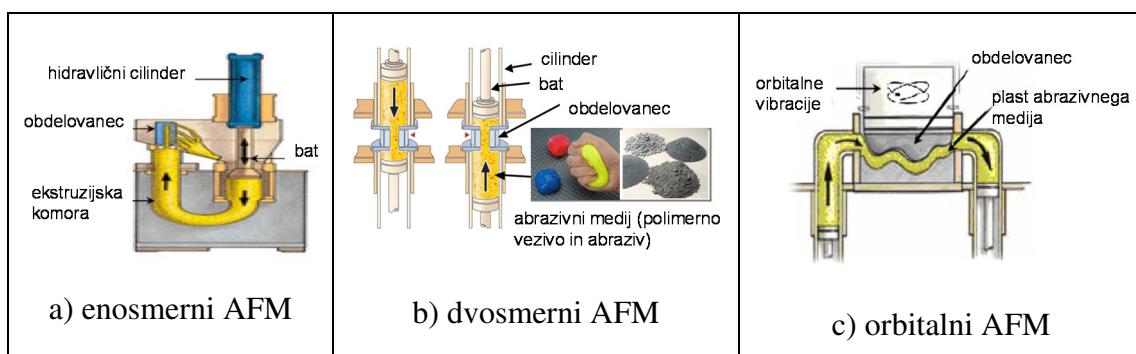
Sistem za obdelavo z AFM je v splošnem sestavljen iz stroja za AFM, obdelovanca in abrazivnega medija [2]. Naprave za AFM se glede na smer gibanja abrazivnega medija delijo na [3]:

- enosmerni AFM: pri tem postopku se abrazivni medij potiska le v eno smer, kot je to prikazano na sliki 2.1a,
- dvosmerni AFM: pri tem postopku se abrazivni medij izmenično potiska najprej v eno smer in nato v drugo, kot je to prikazano na sliki 2.1b,
- orbitalni AFM: poleg toka abrazivnega medija k obdelavi prisostvujejo še orbitalne vibracije, kar je prikazano na sliki 2.1c.

Kot so zapisali avtorji prispevkov [4, 5, 6], so glavni vplivni parametri, ki vplivajo na obdelavo z AFM razdeljeni na:

- nastavitvene parametre, ki se jih nastavi na stroju,
- na lastnosti abrazivnega medija,
- uporabo pomožnih orodij/struktur/mehanizmov, ter
- na lastnosti obdelovanca.

Izbrani vplivni parametri, so prikazani v tabeli 1.



Slika 2.1: Tipi strojev za obdelavo z AFM [3]

Tabela 1: Glavni vplivni parametri na AFM [3]

Nastavitveni parametri	Lastnosti medija	Lastnosti obdelovanca
<ul style="list-style-type: none"> <li>- tlak iztiskanja,</li> <li>- število ciklov.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tip nosilnega medija,</li> <li>- tip abraziva,</li> <li>- reološke lastnosti abrazivnega medija,</li> <li>- velikost abraziva,</li> <li>- koncentracija abraziva v nosilnem mediju,</li> <li>- aditivi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kemijska sestava,</li> <li>- trdota,</li> <li>- geometrija,</li> <li>- začetna hrapavost in tekstura površine.</li> </ul>

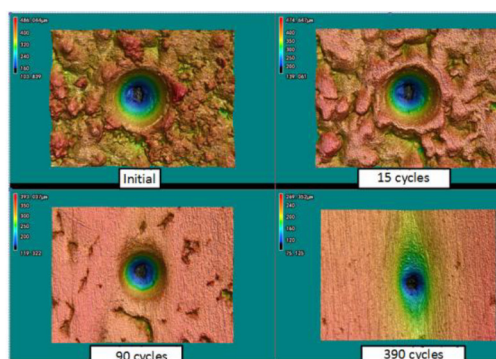
AFM je popolnoma mehanska obdelava z odrezavanjem na osnovi nedefinirane rezalne geometrije. Viskoelastični polimer predstavlja nosilni medij, v katerem je pomešan abraziv, ki obdeluje površino obdelovanca. Glavni mehanizmi odstranjevanja materiala, ki se pojavijo pri AFM obdelavi so: elastično deformiranje, plastično deformiranje (pluženje abraziva po površini) in mikroodrezavanje materiala [3].

### 3 PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV

Na področju AFM obdelave klasično pridobljenih kovinskih materialov, je bilo narejeno že veliko različnih raziskav, pri 3D tiskanih kovinskih materialih pa temu ni tako. Razlog za to, je verjetno v dokaj novi tehnologiji 3D tiska, ki se še razvija in uvaja v industriji.

Peng in ostali [7], so ugotavljali izboljšanje površine aluminijeve zlitine AlSi10Mg narejene s postopkom 3D tiska, z dvosmernim AFM postopkom. Učinkovitost obdelave so merili tako, da so v površino 3D natisnjene vzorca izvrtali izvrtino, katera jim je nato pri meritvah z konfokalnim laserskim mikroskopom VK-X250

služila kot referenca za določitev višine odstranjenega materiala. Na sliki 3.1 je prikazan tlorisni posnetek površine po 15, 90 in 390 opravljenih AFM ciklih. Navedli so, da so po 15 ciklih odstranjeni le nekateri delci, ki so bili nalepljeni na površino, po 90 ciklih, so ti večji delci po večini odstranjeni, ostanejo pa še kraterji, kateri so skoraj v celoti odstranjeni po 390 ciklih. Podobno je vidno tudi na sliki 3.2, kjer je prikazan napredek poliranja po 15, 90 in 390 ciklih. Hrapavost so iz začetnih  $Sa = 14 \mu\text{m}$  zmanjšali na  $Sa = 1,8 \mu\text{m}$ .



Slika 3.1: Topologija površine v okolici izvrtine tekom eksperimenta [7]

Glede odstranjevanja materiala so zapisali, da v začetnih ciklih prihaja večinoma do odstranjevanja nalepljenih delcev materiala, v kasnejših ciklih, pa postaja odstranjevanje osnovnega materiala bolj očitno. Merili so tudi zaostale napetosti, kjer so ugotovili, da so na površini natisnjene izdelka natezne napetosti, po obdelavi z AFM, pa na površini izdelka ostanejo tlačne zaostale napetosti.

Tina Bremstein in ostali [8], so merili obrabo abrazivnih zrn pred in po obdelavi ploščice iz avstenitnega nerjavnega jekla X2CrNiMo17, ki je bila izdelana s postopkom selektivnega laserskega pretaljevanja SLM (*angl. Selective Laser Melting*). Ugotovili so, da je obrabljeno abrazivno sredstvo zmanjšuje učinkovitost procesa, prav tako se povečuje hrapavost obdelane površine, saj prihaja do pluzenja ter kotaljenja abrazivnih delcev po površini obdelovanca. Zaradi višanja koncentracije obrabnih delcev v abrazivnem sredstvu, le to postaja trdnejše in bolj elastično, kar abrazivne delce potiska globlje v površino, zaradi česar na njej ostane veliko raz. Ugotovili so, da uporaba obrabljene abrazivnega medija vodi k do 20% slabši kvaliteti površine in do 30% nižji učinkovitosti obdelave v primerjavi z obdelavo, kjer je uporabljen nov abraziv.

Ker pri orodjih za tlačno litje oziroma brizganje plastike prihaja do velikih temperaturnih nihanj, so ta zelo obremenjena zaradi temperaturnih raztezkov in skrčkov. Hrapavost površine in zaostale napetosti na površini tako pomembno vplivajo na njihovo življenjsko dobo. Duval-Chaneac je skupaj z ostalimi [9] zato ugotavljala, kako viskoznost polimera ter koncentracija abraziva vplivata na hrapavost ter zaostale napetosti poboljšanih ter nepoboljšanih vzorcih iz maraging 300 jekla, ki so bili izdelani z SLM postopkom. Uporabili so dvosmerni AFM sistem, med eksperimenti so kontrolirali normalno silo na steno vzorca, ter temperaturo vzorca in abrazivnega medija tako, da so bili zagotovljeni konstantni pogoji. Po 25, 50, 75, 150 in 200 ciklih, so merili hrapavost površine vzorca Sa in Sq, pri čemer so ugotovili, da toplotna obdelava nima bistvenega vpliva na hrapavost obdelane površine, imata pa nanjo velik vpliv viskoznost nosilnega medija, koncentracija abraziva in velikost abrazivnih zrn. Vzorca, na katerih se je obdelava

vršila z medijem z višjo viskoznostjo, so imeli namreč nižjo hrapavost površine Sa in Sq. Prav tako tudi višja koncentracija abrazivnih zrn vpliva na hitrejšo obdelavo, ter nižjo hrapavost obdelane površine po istem številu opravljenih ciklov. Pri meritvah zaostalih napetosti na površini vzorca so ugotovili, da pri toplotno neobdelanih vzorcih pride do tlačnih zaostalih napetosti po obdelavi z AFM, tako v vzdolžni smeri ( $0^\circ$ ) glede na smer abrazivnega toka, kot v smeri pravokotno ( $90^\circ$ ) glede na smer abrazivnega toka. Pri toplotno obdelanih vzorcih, pa so po obdelavi z AFM v smeri abrazivnega toka ( $0^\circ$ ) ostale tlačne zaostale napetosti, v smeri pravokotno na smer abrazivnega toka ( $90^\circ$ ), pa ni bilo izmerjenih večjih zaostalih napetosti. Ti rezultati kažejo na to, da pri toplotno neobdelanih vzorcih pride do večjega efekta pluzenja oziroma narivanja materiala, kot pri toplotno obdelanih vzorcih, zaradi česar so tudi tlačne zaostale napetosti na površini toplotno neobdelanih vzorcih višje.

Uhlmann in ostali [10], so se ukvarjali s CFD (*angl. Computational Fluid Dynamics*) simulacijami AFM procesa, pri čemer so simulirali tok abrazivnega medija pri obdelavi vzorčnega kosa in turbinske lopatice. Lastnosti abrazivnega medija so dobili s pomočjo eksperimentov, ter jih nato popisali z Maxwellovim modelom. Odvisnost viskoznosti od strižne stopnje, pa so popisali in uvedli v CFD simulacijo s pomočjo Cox-Merzovega pravila. Simulacije pa so bile izvedene na podlagi reševanja neelastičnih Navier-Stokesovih enačb v stabilnem stanju. Kot rezultat simulacije niso spremljali odstranjenega materiala, saj bi to pomenilo mnogo kompleksnejše simulacije. Namesto tega, so primerjali stopnjo striga na površini obdelovanca, s končno obdelano površino, kjer so oboji rezultati pokazali, da je na sredini površine stopnja striga najvišja in zato tudi najučinkovitejša obdelava. Poleg tega je pomemben zaključek tudi to, da je zaokroževanje robov neizogibno saj je posledica toka abrazivnega medija, ki zaradi zastojnega tlaka največ materiala odnese ravno na robovih. Zaključili so tudi, da se lahko tok abrazivnega medija naredi čim bolj uniformen tako, da se ob obdelovanec postavi ustrezne ovire oziroma usmerjevalce abrazivnega medija.

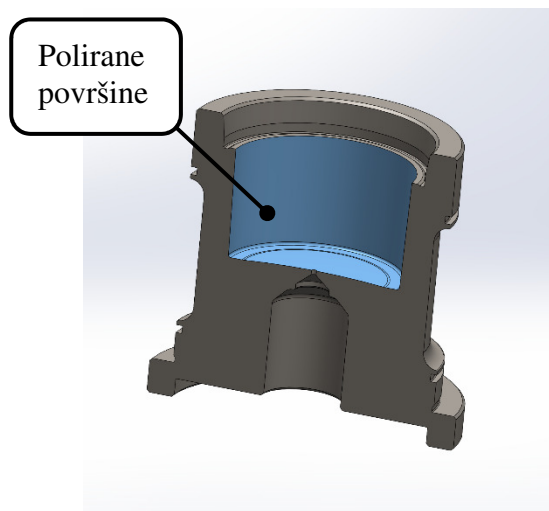
Na kombinaciji obdelave z abrazivnega toka ter kemične obdelave, so delali Mohammadian in ostali [11]. Vzorci so bili iz materiala Inconel 625, izdelani z metodo SLM. Ker so kombinirali kemično in AFM obdelavo, za nosilni medij abrazivnih delcev ni bil uporabljen viskoelastični polimer kot običajno pri obdelavi z AFM, ampak kislina, ki nima značilnih visko-elastičnih lastnosti. Ugotovili so, da se s kombinacijo postopkov zmanjša čas poliranja za kar dve tretjini v primerjavi z uporabo posameznih postopkov. Poleg tega so ugotovili tudi, da se z višanjem hitrosti fluida, povečuje globina poliranja.

William Gilmore, je v svoji magistrski nalogi [12] primerjal površino vzorcev, kateri so bili obdelani z ultrazvočnim obstreljevanjem ter abrazivnim tokom. Material vzorcev je bilo nerjavno jeklo 316L, izdelani so bili s postopkom SLM. Z eksperimenti je ugotovil, da imata oba postopka svoje prednosti in slabosti, tako noben ni univerzalen za obdelavo 3D tiskanih izdelkov. Pri obdelavi z AFM, se lahko doseže nižjo hrapavost obdelane površine, vendar pa omejitve predstavljajo hitre spremembe preseka, zaradi katerih ne dosežemo enakomerno obdelane površine. AFM je tako odličen postopek za obdelavo kanalov, ki so prilagojeni za tok fluida. Prednost obdelave z ultrazvočnim obstreljevanjem površine, pa je v utrjevanju obdelane površine in minimalnem odstopanju velikosti kosa, saj se materiala ne odstranjuje. Je pa hrapavost obdelane površine slabša kot pri obdelavi z AFM, ter obdelava notranjih površin omejena oziroma močno odvisna od njihove geometrije.

#### 4 PRIMER APLIKACIJE NA POLIRANJE ORODIJ ZA BRIZGANJE PLASTIKE

Obdelava z abrazivnim tokom oziroma postopek AFM, je uporaben tudi v praksi, kar dokazuje projekt, pri katerem se je za poliranje več-gneznega orodja za brizganje plastike uvedlo AFM postopek [13]. Pri plastičnih izdelkih, ki so izdelani s postopkom tlačnega brizganja, je pogosto zahtevana visoka kakovost površine končnega izdelka. Da to dosežemo, je potrebno izdelati orodje oziroma orodne vložke, katerih funkcionalna površina ima čim nižjo hrapavost in je brez poškodb. To lahko dosežemo z ročnim

poliranjem, ki pa je zelo zamudno in monotono, ter utrujajoče za delavca. Za ta namen, se je pri tem projektu uvedlo poliranje orodnih vložkov s postopkom poliranja z abrazivnim tokom (AFM). 3D model orodnega vložka je v prerezu prikazan na sliki 4.1, kjer so z modro barvo označene polirane površine.



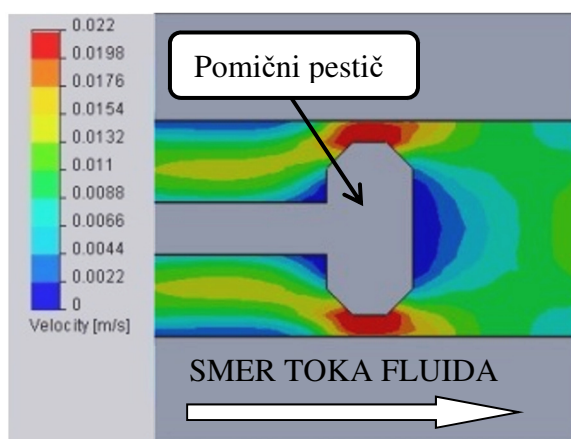
Slika 4.1: 3D model orodnega vložka v prerezu

Skupaj s podjetjem Extrude Hone Corporation v Nemčiji, se je izdelalo vpenjalno pripravo za ustrezno vpetje orodnih vložkov na stroj za AFM, ter opravilo eksperimente. Izkazalo se je, da poliranje z AFM, v primerjavi z ročnim poliranjem, omogoča kar 12-krat krajši cikel poliranja. To je še posebej pomembno pri več gnezdnih orodjih, kjer so časovni in stroškovni prihrantni signifikantni, kupec/naročnik pa hitreje dobi naročene izdelke, kar povečuje konkurenčnost na trgu. Kakovost površine polirane z AFM ni dosegla visokega sijaja, kot pri ročnem poliranju, vendar zadostno glede na zahteve kupca. Bi pa bile potrebne izboljšave predvsem na konstrukciji vpenjalne priprave vložka, ter v parametrih AFM procesa, s čimer bi dosegli še boljše, ter bolj enakomerno kakovost polirane površine.

## 5 INOVATIVNI AFM ZA POVEČANJE NADZORA IN UČINKOVITOSTI PROCESA

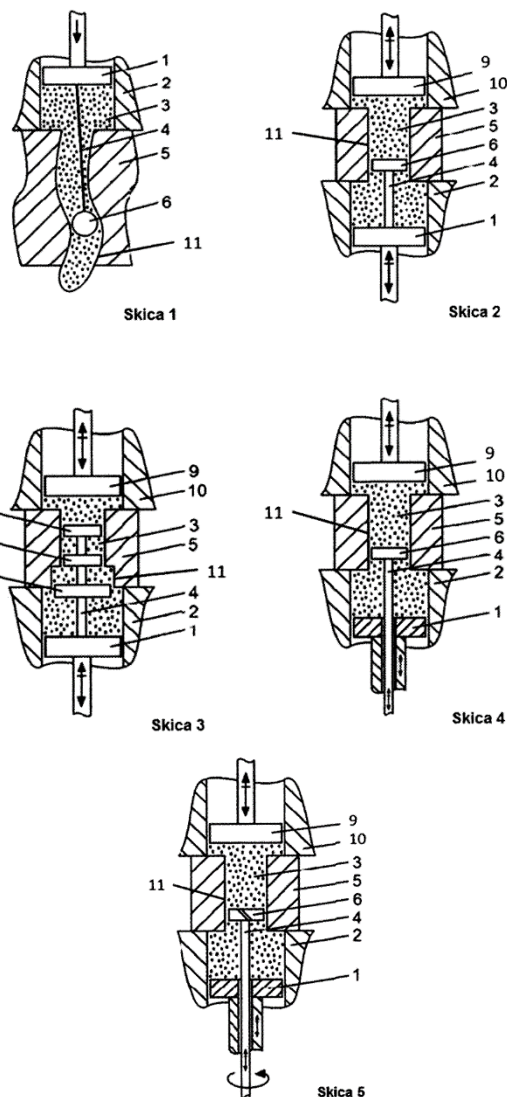
Na področju obdelave z abrazivnim tokom je trenutni trend razvoja osredotočen na večanje učinkovitosti in nadzora nad sam procesom. Slednje je bilo s strani Laboratorija za odrezavnaje (UNI-LJ) analizirano s strani zaostalih napetosti [14]. Rezultati dokazujejo pozitiven vpliv obdelave z AFM na hrapavost ter zaostale napetosti na površini orodnega jekla AISI D2, po elektroerozijski obdelavi EDM (angl. *Electrical Discharge Machining*). Glede na ugotovitve, obdelava z AFM zmanjša neugodne natezne zaostale napetosti, ki ostanejo po EDM obdelavi, ter zmanjša hrapavost obdelane površine.

Dodatno je bil razvit sistem za obdelavo z abrazivnim tokom s pomičnim pestičem AFMmm (angl. *Abrasive Flow Machining with movable mandrell*) [15], pri katerem se uporablja poseben trn, s katerim je moč povežati in lokalno kontrolirati hitrostni profil abrazivnega medija. Slika 5.1 prikazuje hitrostni profil znotraj obdelovanca kot rezultat FEM analize (angl. *Finite Element Model*), kjer je vidno, kako se hitrostni profil abrazivnega medija poviša na mestu zoženja reže zaradi fiksnega/pomičnega pestiča.



Slika 5.1: Hitrostni profil abrazivnega medija pri FEM analizi AFMmm obdelave [15].

Z omenjenim sistemom, je moč povečati nadzor nad topografijo obdelane površine in skrajšati čas obdelave ob hkratni skoraj 20% zmanjšani porabi energije. Omenjena inovacija (slika 5.2) je v proceduri patentiranja [16].



Slika 5.2: Različne izvedbe pomičnih pestičev [16]

Na sliki 5.2, je na skici 1 prikazan pomični pestič (krogla), ki se lahko uporablja pri poliranju neravnih kanalov, na skici 2 je prikazan pestič, ki je fiksno pritrjen na bat stroja, pestič na skici 3 se uporablja pri poliranju kanalov, kjer je potrebno poliranje na več različnih premerih, s konceptom na skici 4, pa lahko pomični pestič pomikamo neodvisno glede na bat stroja in ga s konceptom na skici 5 ob tem še vrtimo.

Na tem področju je potrebna implementacija pomičnih pestičev na sam stroj, saj je je tehnična izvedba pomičnih pestičev dokaj zahtevna, v osnovi pa standardni stroji za obdelavo z AFM še niso prilagojeni za obdelavo z AFMmm.

## 6 SKLEP

Glede na pregled literature ter dosedanjih raziskav je bilo ugotovljeno, da se AFM največ uporablja na področju orodjarstva, za poliranje hladilnih kanalov in/ali gravur oblikovnih vložkih, poleg tega pa se uporablja tudi za obdelavo površin lopatic turbin, šob in podobno. Raziskave so bile usmerjene predvsem na ugotavljanje vpliva parametrov na hrapavost obdelane površine, zaostale napetosti na površini in učinkovitost obdelave.

Viri:

- [1] Williams R. E., Melton V. L.: Abrasive flow finishing of stereolithography prototypes, *Rapid Prototyping Journal* (1998) 4(2), str. 56-67.
- [2] Rhoades L.J.: Abrasive flow machining: a case study, *Journal Material Processing Technology* 28 (1991), str. 107-116.
- [3] Sankar M.R., Jain V.K., Ramkumar J., Abrasive flow machining (AFM): An Overview, *Intelligent Machining Systems and Multi-scale Manufacturing*, December, 2008.
- [3] *Intelligent Machining Systems and Multi-scale Manufacturing*. December, 2008.
- [4] Williams R. E., Investigation of the abrasive flow machining process and development of a monitoring strategy using acoustic emission, doktorska disertacija (1993), Univerza v Nebraski - Lincoln.
- [5] Loveless T.R., Williams R.E., Rajurkar K.P., A study of the effects of abrasive flow machining on various machined surfaces, *Journal Material Processing Technology* 47 (1994), str. 133-151.
- [6] Gorana V.K., Jain V.K., Lal V.K., Forces prediction during material deformation in abrasive flow machining, *Wear* 260 (2006), str. 128-139.
- [7] C. Peng, Y. Fu, H. Wei, S. Li, X. Wang, H. Gao, Study on Improvement of Surface Roughness and Induced Residual Stress for Additively Manufactured Metal Parts by Abrasive Flow Machining, *Procedia CIRP* 71 (2018), str. 386-389.
- [8] T. Bremerstein, A. Potthoff, A. Michaelis, C. Schmiedel, E. Uhlmann, B. Blug, T. Amann, Wear of abrasive media and its effect on abrasive flow machining results, *Wear* 342-343 (2015), str. 44-51.
- [9] M.S. Duval-Chaneac, S. Han, C. Claudin, F. Salvatore, J. Bajolet, J. Rech, Experimental study on finishing of internal laser melting (SLM) surface with abrasive flow machining (AFM), *Precision Engineering* 54 (2018), str. 1-6.
- [10] E. Uhlmann, C. Schmiedel, J. Wendler, CFD simulation of the Abrasive Flow Machining process, *Procedia CIRP* 31 (2015), str. 209-214.
- [11] N. Mohammadian, S. Turenne, V. Brailovski, Surface finish control of additively-manufactured Inconel 625 components using combined chemical-abrasive flow polishing, *Journal of Materials Processing Technology* (2017).
- [12] W. Gilmore, An evaluation of ultrasonic shot peening and abrasive flow machining as surface finishing processes for selective laser melted 316L, magistrska naloga (2018), Politehnična Univerza v Kaliforniji.
- [13] B. Stanonik, Aplikacija poliranja z abrazivnim medijem, diplomsko delo RR (2019), FS UNI-LJ.
- [14] Jani Kenda, Franci Pušavec, Guillaume Kermouche, Janez Kopač, Surface Integrity in Abrasive Flow Machining of Hardened Tool Steel AISI D2, *Procedia Engineering* 17 (2011), str. 172-177.
- [15] Franci Pušavec, Jani Kenda, Janez Kopač, Modeling and Energy Efficiency of Abrasive Flow Machining on Tooling Industry Case Study, *Procedia CIRP* 13 (2014), str. 13-18.
- [16] Jani Kenda, Franci Pušavec, Janez Kopač, Priprave in postopki poliranja z abrazivnim tokom, Ministrstvo za gospodarstvo, razvoj in tehnologijo, patent (SI 24359 A) (2014).

## GRAVIMETRIČNA ANALIZA HITRO HLAPLJIVIH OLJ ZA IZREZOVANJE ELEKTROPLOČEVINE

Ines BERGOČ, Špela BOLKA, Urška ŽONTA  
Hidria d.o.o.

### IZVLEČEK

Strokovni prispevek zajema študijo hlapnosti hitro hlapljivih olj pri tehnoloških pogojih skozi časovno komponento. Mazalni del, kot sestavni del olja, se pri nekontroliranemu nadzoru porabe olj ter neustreznem zagotavljanju čistosti površin koncentrira. Mastnost delovnih površin, zaradi same narave tehnoloških operacij, povzroča formiranje nečistoč na končnih izdelkih, kjer so, poleg olja, prisotni delci iz okolja ter kovinski droben prah. Ovrednotenje izvora nečistoč je prispevalo k boljšemu razumevanju funkcije hitro hlapljivih olj in posledično k izboljšanju procesnih parametrov mazanja. Prepoznani so bili tudi večji poudarki na zagotavljanju čistosti površin, kot sestavni del priprave štančne linije med zamenjavo štančnih orodij.

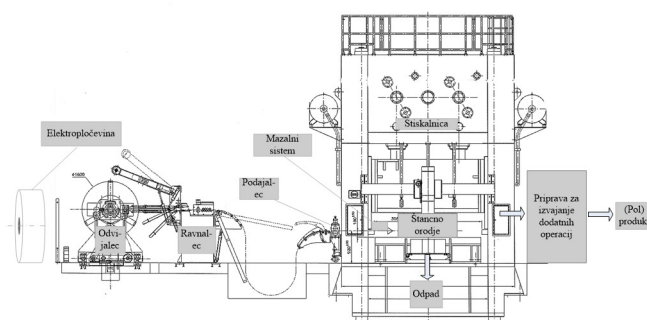
### 1 UVOD

Izdelava lamel, lameliranih segmentov in jeder elektromotorjev iz elektro pločevine poteka po t.i. tehnologiji štančanja, kjer se pri postopku izreza posameznih lamel uporabljajo hitro hlapljiva olja. Osnovna naloga hitro hlapljivih olj je mazanje kontaktnih površin, ki bistveno vplivajo na podaljšanje življenjske dobe štančnih orodij.[1,2]

Hitro hlapljiva olja v osnovi sestavljata dve komponenti, topilo ter ogljikovodiki višjih molekulskih mas, t.i. mazalni del. Delež topila je glede na mazalni del visok.[1] V tehnološkem procesu je poleg optimalnih parametrov mazanja potrebno zagotoviti, da v sistemu vzdržujemo optimalno razmerje omenjenih osnovnih komponent olja. Poleg omenjenega olja za mazanje orodij so tekom procesa na površini orodij lahko prisotne tudi druge snovi, ki zaradi same narave procesa neizogibno vplivajo na končno čistost izdelkov oz. sestavo nečistoč.

Gravimetrična analiza olj nam med segrevanjem vzorca beleži spremembo mase, ki je povezana z razgradnjo olj in izgubo hlapnih komponent ter reakcijami z atmosfero. Na ta način smo analizirali tudi hitro hlapljiva olja in iz termogramov dobili koristne informacije za

razumevanje izvora nečistoč, ki nastajajo pri izrezovanju elektro pločevine.



Slika 1: Shema tehnološkega procesa štančanja za izdelavo (pol) produktov iz elektro pločevine



Slika 2: Primer štančnega orodja in kontaktnih površin ter nečistoč na površini (detajl)

## 2 EKSPERIMENTALNI DEL

Termo gravimetrična analiza je ena izmed metod, ki nam na laboratorijskem nivoju omogoča natančen vpogled spreminjanja masnega deleža topila in mazalnega dela v odvisnosti od temperature in časa v hitro hlapljivih oljih, v nadaljevanju bo uporabljena kratica HH olja.

V prvem delu eksperimentov smo se osredotočili na nečistoče. V merilni lonček smo natehtali  $20 \pm 0,2$  mg analizirane snovi in za vsako opravljeno analizo naredili dve paralelki. Nečistoče smo izpostavili dinamičnemu termičnemu segrevanju od sobne temperature do  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hitrost segrevanja je bila  $30\text{ K/min}$ . Termograme razpada ter prvi odvod termogramov smo primerjali s termogrami ostalih snovi, ki bi potencialno lahko bile prisotne v nečistočah, kot so HH olja, hidravlična olja, lak na elektro pločevini, ali posamezne komponente v omenjenih snoveh.

V drugem delu eksperimentov smo se osredotočili na termo gravimetrično analizo HH olja. Olje smo najprej koncentrirali s spreminjanjem temperature in časa izpostavitve vzorcev. Vzorce smo koncentrirali pri  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  in sicer 24 h ter 48 h. Tako pripravljene vzorce HH olja z različnimi deleži nehlapnega t.i. mazalnega dela smo pri enakih pogojih kot v prvem delu izpostavili dinamičnemu termičnemu segrevanju.

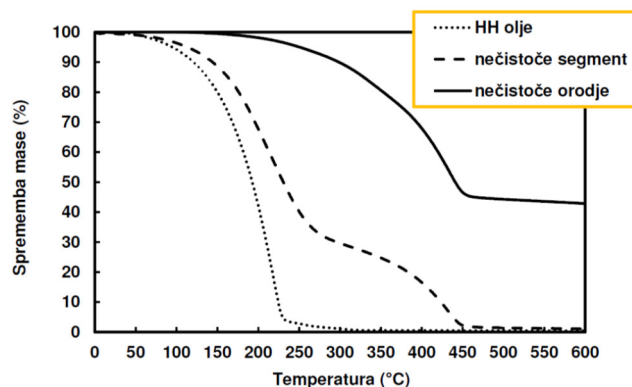
Vsi eksperimenti so bili narejeni v inertni atmosferi, pri čemer smo merilno celico prepihovali z dušikom ( $\text{N}_2$ ). Pretok je bil  $30\text{ ml/min}$ . Na ta način smo preprečili morebitne reakcije z atmosfero, saj je bil cilj dobiti podatke razpada posameznih komponent v analiziranih vzorcih.

## 3 REZULTATI

### 3.1 Ovrednotenje nečistoč na štancnem orodju

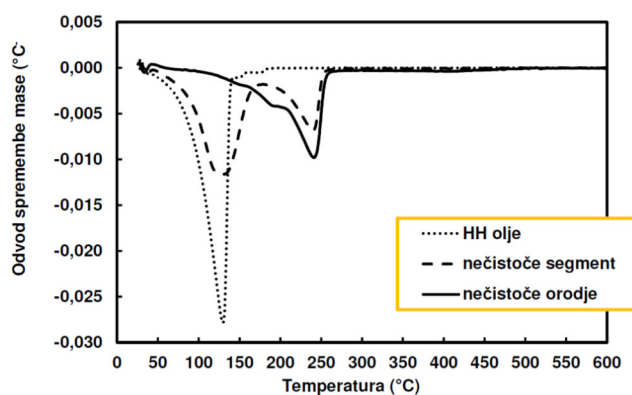
Slika 3 prikazuje termogram spremembe mase in 1. odvod spremembe mase (slika 4) HH olja ter nečistoč, vzorčenih na štancnem orodju ter

nečistoč prisotnih na površini lameliranih segmentov, vzorčenih pred končnim pakiranjem.



Slika 3: Termogram spremembe mase HH olja ter nečistoč na lameliranih segmentih in orodju

Z analizo termogramov na sliki 3 smo ugotovili, da je HH olje v osnovi sestavljeno iz dveh komponent, pri čemer je  $95\text{ ut } \%$  topila, termično stabilnejši preostanek predstavlja mazalni del. Nečistoče na segmentih so z analizo pokazale, da so organskega izvora, najverjetneje kombinacija hlapnega in termično stabilnejšega dela HH olj.  $71\text{ ut } \%$  nečistoč na segmentih je po sestavi topilo v HH olju, preostanek je termično stabilnejši del, t.i. mazalni del. Med tem ko so bile nečistoče na površini štancnega orodja  $61\text{ ut } \%$  organskega izvora, preostanek, kar  $39\text{ ut } \%$ , pa so predstavljali delci, ki so bili termično stabilnejši od  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Slika 4: 1. Odvod spremembe mase HH olja ter nečistoč na lameliranih segmentih in orodju

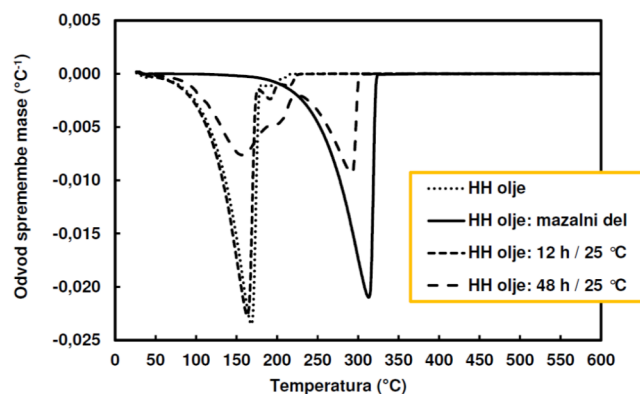
1. odvod termogramov HH olja ter analiziranih nečistoč (slika 4) je pokazal, da ima HH olje vrh, kjer je zaznati velik delež spremembe mase in smo ga pripisali topilu, pri temperaturi 130 °C. Nečistoče na segmentu so pokazale dva karakteristična vrhova spremembe mase, in sicer pri 140 °C in 250 °C, kar nakazuje na prisotnost tako topila kot mazalnega dela. Nečistoče na orodju so imele vrh spremembe mase pri 250 °C. Le tega smo pripisali t.i. mazalnemu delu v HH olju. Na sliki 5 je prikaz nečistoč na lameliranem segmentu.



Slika 5: Nečistoče (detajl) na površini lamele

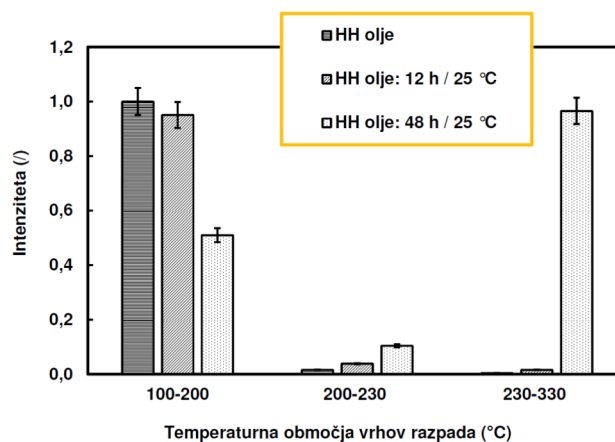
### 3.2 Ovrednotenje HH olj z različnimi deleži mazalnega dela

Da smo potrdili spreminjanje deležev v sestavi HH olja skozi časovno komponento, smo HH olje izpostavili za 12 h ter 48 h sobni temperaturi. Slika 6 prikazuje 1. odvod termogramov starih HH olj, ter osnovno HH olje in mazalni del HH olja.



Slika 6: 1. Odvod termogramov HH olja, mazalnega dela HH olja ter t.i. starih HH olj

1. odvod termogramov analiziranih t.i. starih HH olj je pokazal spreminjanje deležev v sestavi HH olj, pri čemer smo potrdili izhlapevanje topila ter koncentriranje t.i. mazalnega dela. Vrhove spreminjanja posameznih komponent smo normalizirali na vrednost vrha izhlapevanja topila v osnovnem HH olju. Intenziteta vrhov skozi časovno obdobje t.i. starih HH olj in posameznih komponent v HH olju je prikazana na sliki 7.



Slika 7: Intenziteta posameznih temperaturnih območij vrhov razpada HH olj skozi časovno komponento

Slika 7 nazorno dodatno potrdi, da delež topila skozi čas izhlapeva, koncentrira se t.i. mazalni del, ki je termično stabilnejši in ima posledično območje razpada pri višjih temperaturah. Kadar poraba emulzije ni kontrolirana in sistem za doziranje omogoča izhlapevanje iz rezervoarja, prihaja skozi časovno obdobje do kopičenja večjih količin mazalnega dela HH olj na delovnih površinah tehnološkega postopka ter na končnih izdelkih.

V prikazanih termogramih niso zajete ostale analizirane snovi, ki bi potencialno lahko bile prisotne v nečistočah. Hidravlično olje, ki bi potencialno lahko bilo prisotno v nečistočah je imelo vrh razpada nad 355 °C in smo ga zato izključili kot možen vir nečistoč. Prav tako bi bil potencialno lahko prisoten lak, ki je na površini pločevine, vendar ima le ta vrh razpada organskega dela pri 418 °C, za kar je verjetnost prisotnosti v nečistočah zopet minimalna, saj ga z termično analizo nismo zaznali.

#### 4 SKLEP

Koncentriranje mazalne komponente na delovnih površinah tehnološkega postopka ter na končnih izdelkih povzroča kopičenje nečistoč. Površine so posledično bolj mastne, kar povzroča kopičenje tudi netopnih nečistoč kot so prah ter drobni kovinski delci.

Ovrednotenje izvora nečistoč je prispevalo k boljšemu razumevanju funkcije HH olj in posledično k izboljšanju procesnih parametrov mazanja. Prepoznan je bil tudi večji poudarek na zagotavljanju čistosti površin, kot sestavni del priprave štancne linije med zamenjavo štancnih orodij.

Analiza je pokazala inovativno zamisel uporabe znanja s področja analiznih metod na konkreten problem, ki je izražal trenutno stanje v industriji. Pripomogla je k izboljšavi v industrijskem okolju in je tako dober primer prenosa poznavanj iz raziskovalnega okolja v industrijo.

#### Viri:

1. Mortier, R.M.; Fox, M.F.; Orszulik, S.T.: Chemistry and Technology of Lubricants, Springer, Netherlands, 2010.
2. Machinery Lubrication  
(<https://www.machinerylubrication.com/Read/29169/oil-degradation-cause>)

## ANALIZA VPLIVA PARAMETROV ŽARJENJA, MIKROSTRUKTURE IN FAKTORJA OBLIKE NA KINETIKO RAZOGLJIČENJA PODEVTEKTOIDNEGA OGLJIKOVEGA JEKLA C45 MED ŽARJENJEM V ZRAČNI ATMOSFERI

**Matija ZORC, Milan BIZJAK, Borut KOSEC, Katja ZUPANČIČ, Aleš NAGODE**  
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za materiale in metalurgijo

### IZVLEČEK

Preučen je bil vpliv temperature in časa žarjenja v zračni atmosferi na debelino razogljíčene plasti na svetlo brušeni površini nelegiranega jekla C45. Temperature in časi žarjenja so bili izbrani na način, ki je najbolje ponazoril kinetiko razogljíčenja in hkrati poudaril razlike med potekom samega procesa razogljíčenja v različnih mikrostrukturah. Izbrane temperature žarjenj so znašale:  $T_z < A_{C1}$  (600 in 700 °C),  $A_{C1} < T_z < A_{C3}$  (760 °C) in  $T_z > A_{C3}$  (850, 950 in 1100 °C), časi žarjenj pa so bili na vseh temperaturah enaki in so znašali  $t_z = 1/2, 1$  in 2 uri. Poleg že omenjenega vpliva mikrostrukture in parametrov žarjenja je bil raziskan tudi oblikovni faktor izdelka (ravne površine, robovi, utori) na kinetiko razogljíčenja. Razogljíčenje je bilo v splošnem ocenjeno metalografsko, vzorcem žarjenim v kaljenem stanju pa je bila izmerjena tudi mikrotrdota HV 0,1. Ugotovljeno je bilo, da se debelina dejanske razogljíčene plasti večja z daljšimi časi in višjimi temperaturami žarjenja, da se ravne površine pri istih parametrih žarjenja razogljíčijo manj od robov in utorov ter da je pri istih parametrih žarjenja razogljíčenje kaljene mikrostrukture hitrejše od bolj ravnotežne feritno-perlitne mikrostrukture.

### 1. UVOD

Jeklo doživi med proizvodnjo od ingota do končnega izdelka več termomehanskih in termičnih obdelav. V primeru oksidirajočih plinov v peči se zaradi reakcije z ogljikom ustvari konstantni koncentracijski gradient ogljika med površino in notranjostjo jeklenega kosa. To ima za posledica nezaželjeno difuzijo ogljika proti površini, kjer ta zgoreva v CO in CO<sub>2</sub>. Zaradi tega se površinski del jeklenega izdelka razogljíči, rezultat pa je na zarezni učinek in utrujenostni lom občutljiva mehka feritna plast, ki se ne spremeni niti po kaljenju in ne daje željene trdote površine. Ker atomi ogljika zaradi ustvarjenega kemičnega potenciala iz notranjosti konstantno difundirajo proti površini, posledično s časom žarjenja narašča tudi debelina razogljíčene plasti. Kinetika razogljíčenja je odvisna od vrste oksidativne atmosfere, časa in temperature žarjenja, vsebnosti ogljika in legirnih elementov v jeklu, stanja površine (škajasta, svetlo brušena), od mikrostrukture jekla na temperaturi žarjenja, ter od oblikovnih značilnosti jeklenega izdelka (npr. robovi, zareze, tanki štrleči segmenti in podobno). Razogljíčenje površine je v bistvu spremljajoči

pojav oksidacije železa in je vidno le, če je difuzija ogljika hitrejša od oksidacije železa. V nasprotnem primeru je hitrejša oksidacija železa, zato po termomehanski oziroma toplotni obdelavi površina jeklenega izdelka ni razogljíčena, kar je tudi končni cilj vsakega metalurškega inženirja. V praksi je torej potrebno doseči pogoje za čim manjše možno razogljíčenje površine jeklenih izdelkov bodisi s prijemi preprečevanja odgora ogljika ali s pogoji žarjenja, pri katerih je oksidacija železa hitrejša od difuzije ogljika. Takšne pogoje je možno doseči tudi v za žarjenje jekla zelo neugodni zračni atmosferi. Drugi, v praksi uporaben način pa je ugotavljanje globine razogljíčene plasti pri izbranih pogojih žarjenja, na osnovi katere se določi globino posnetja razogljíčene površine pred končno toplotno obdelavo.

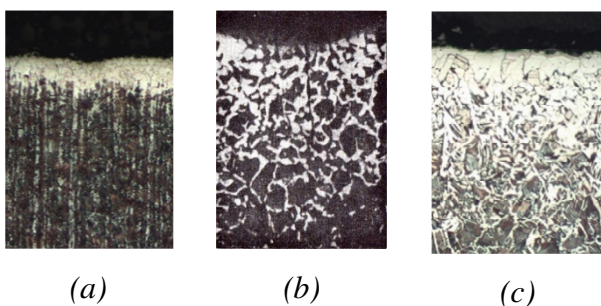
### 2. TEORETIČNE OSNOVE

Razogljíčenje je pojav zmanjšanja deleža ogljika v površinskem delu jeklenega izdelka, ko je ta dalj časa izpostavljen kisiku in tudi nekaterim drugim plinom iz atmosfere (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>) med žarjenjem pri povišanih temperaturah oz. pri

toplotni obdelavi. V praksi lahko vpliv teh ostalih plinov zaradi majhnega deleža in posledično majhne vloge, ki jo igrajo pri razogljčenju, zanemarimo (razen delno CO<sub>2</sub>, katerega vpliv je odvisen od temperature žarjenja). Zaradi reakcije med kisikom v atmosferi in ogljikom na površini, ogljik zapusti material, posledično pa se ustvari koncentracijski gradient ogljika med površino in notranjostjo jeklenega izdelka. To sproži difuzijo ogljika iz jedra proti površini, kjer pa ta novo prispeli ogljik prav tako oksidira in zapusti površino jekla. Posledica je konstantna difuzija ogljika iz notranjosti proti površini in njegov odgor. To pomeni, da se debelina razogljčene plasti s časom veča.

Mikrostrukturno se razogljčenje kaže kot nastanek večjega deleža ferita v primerjavi z osnovno mikrostrukturno. Glede na pogoje žarjenja se razogljčenje lahko pojavi v več oblikah, in sicer kot:

- popolnoma razogljčena feritna plast pod katero ni delno razogljčene plasti (slika 1a) (pov. 50x)
- delno razogljčena plast v kateri je delež ferita večji od osnovnega (slika 1b) [1]
- popolnoma razogljčena feritna plast pod katero je prisotna tudi delno razogljčena plast (slika 1c) (pov. 50x)



Slika 1: Primeri razogljčenja

Nastanek določene razogljčene plasti je pogojen s temperaturo žarjenja. Tudi legirni elementi vplivajo na kinetiko razogljčenja. Znano je, da silicij povečuje aktivnost ogljika in posledično njegovo difuzijo ter razogljčenje [2,3,4,5], nikelj in krom razogljčenje zmanjšujeta [2,4], baker razogljčenje prav tako zmanjšuje [2],

mangan pa ima na proces razogljčenja zanemarljiv učinek [2].

Razogljčenje je v splošnem negativen pojav, kateremu se je potrebno izogniti, saj nastala feritna plast povzroči poslabšanje mehanskih lastnosti kot so trdota, trdnost in trajna dinamična trdnost, posledično pa se izdelku poslabša odpornost na obrabo in utrujenost.

## 2.1. Razogljčenje kot oksidacijski proces

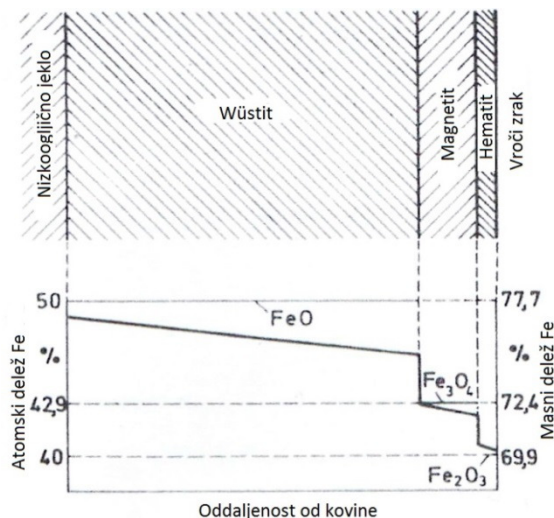
Razogljčenje je posledica oksidacije železa in ogljika v jeklu. Po koncu žarjenja vidno razogljčenje je odvisno od hitrosti procesov oksidacije in razogljčenja. Če oksidacija razogljčenje prehitava oz. poteka z enako hitrostjo, potem po žarjenju v izdelku ne bo vidnega razogljčenja. To seveda ne pomeni, da do razogljčenja ni prišlo; pomeni le, da je debelina razogljčene plasti enaka debelini plasti oksidiranega jekla. V primeru da je hitrost procesa razogljčenja večja od hitrosti procesa oksidacije, pa bo po koncu toplotne obdelave vidna tudi plast razogljčenja. Za obravnavo debeline razogljčene plasti, ki je nastala med žarjenjem pri določenih parametrih, je potrebno poznati tudi kinetiko oksidacije železa in debelino oksidirane plasti prištetih debelini vidne razogljčene plasti. S tem se dobi debelino materiala, ki jo je potrebno v praksi upoštevati kot dodatek za predimenzioniranje.

Pri obravnavi oksidacije ogljikovega jekla lahko oksidacijo lergirnih elementov, zaradi majhnega deleža teh, zanemarimo in se osredotočimo le na oksidaciji železa in ogljika. Za železo je značilno, da oksidira v troplasten oksidni sloj, v katerem si od jedra proti površini oksidi vedno sledijo v istem vrstnem redu in v istih deležih ne glede na debelino oksidne plasti. Od jedra proti površini si sledijo wüstit (FeO), magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) in hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (slika 2). Njihovi deleži v oksidni plasti so 95 % wüstita, 4 % magnetita in 1 % hematita.

Izračun debeline oksidne plasti se opravi z enačbo (1). V enačbi je že upoštevan vpliv povečanja volumna pri oksidaciji železa v okside.

$$d_{\text{oks.j.}} = 0,565 \cdot \sqrt{6 \cdot t_z \cdot e^{\frac{-20392}{T_z}}} \quad (1)$$

Oksidacija ogljika poteka z reakcijami ogljika raztopljenega v trdni raztopini železa in kisika ter ogljikovega dioksida iz atmosfere in pa tudi wüstita na meji med oksidno plastjo in površino jeklenega izdelka.



Slika 2: Sestava troplastnega oksida na površini jeklenega izdelka pri oksidaciji nad 575 °C [6]

## 2.2. Razogljíčenje kot difuzijski proces

Ogljik je v železu raztopljen intersticijsko. Difuzija atomov ogljika poteka s preskoki iz enega intersticijskega mesta v drugo. Na hitrost difuzije močno vpliva temperatura. Temperaturno odvisnost difuzijskega koeficienta  $D$  opiše enačba 2 [1]:

$$D = D_0 e^{\frac{-Q}{RT}} \left( \frac{cm^2}{s} \right) \quad (2)$$

pri čemer je  $D_0$  frekvenčni faktor ( $cm^2/s$ ) in predstavlja merilo za frekvenco nihanja difundirajočih atomov,  $Q$  aktivacijska energija (J/mol),  $R$  splošna plinska konstanta (8,314 J/mol) in  $T$  temperatura (K).

Hitrost difuzije pa je odvisna tudi od količine napak v kristalni mreži in je zato višja v hladno deformirani mikrostrukturi in ostalih oblikah neravnotežnih mikrostruktur kot je martenzit.

Pomemben faktor hitrosti difuzije pa je tudi oblika kristalne celice železa. Pri isti temperaturi je difuzija v feritu hitrejša od difuzije v avstenitu,

kar je posledica nižje aktivacijske energije za difuzijo v feritu in manjšega prostora zapolnitve telesno centrirane kubične celice ferita od ploskovno centrirane kubične celice avstenita.

## 2.3. Preprečevanje razogljíčenja v praksi

V praksi se je razogljíčenju potrebno izogniti oz. ga preprečiti. Poleg predimenzioniranja izdelka in brušenja po toplotni obdelavi se lahko razogljíčenju izognemo tudi preventivno. Med ukrepe za doseg tega cilja spadajo žarjenje v varovalni atmosferi [1,5,7,8], vakuumu [5,8] ali solni kopeli [1,5,8], nanos zaščitnih plasti (boraks [5], baker [9]), predgretje [5,7], čim krajše žarjenje [7] ali pa zakop jeklenih kosov pred žarjenjem v ostružke sive litine [1] oziroma grodlja [5].

## 3. EKSPERIMENTALNO DELO

Vzorci so bili dimenzij 40 x 30 x 17 mm in imeli mase  $160 \pm 20$  g. Pred žarjenjem so bili svetlo zbrušeni, s čimer je bil odpravljen vpliv od prej prisotne škaje na kinetiko razogljíčenja. Preiskovana je bila kinetika razogljíčenja pri različnih časih žarjenja (1/2, 1 in 2 uri), različnih temperaturah žarjenja (600, 700, 760, 850, 950 in 1100 °C) in na različnih oblikah površine (ravna, rob, utor). Na 600 in 700 °C sta bila žarjena tudi vzorca, ki sta bila predhodno iz 950 °C zakaljena v slanici. S tem je bil preučen tudi vpliv neravnotežne kaljene mikrostrukture na kinetiko razogljíčenja. Temperature žarjenja so bile izbrane tako, da sovpadajo s temperaturami običajnih toplotnih obdelav te vrste jekla v praksi.

Material za preiskave je bilo ogljikovo podevtektoidno jeklo C45 s kemijsko sestavo podano v tabeli 1 (v mas. %). Ta je bila določena z emisijskim spektrometrom.

Tabela 1: Kemijska sestava preiskovanega jekla

C	Si	Mn	P	S	Fe
0,43	0,22	0,61	0,034	0,014	ost.

Premenski temperaturi izbranega jekla sta  $A_{C1} = 735$  °C in  $A_{C3} = 785$  °C.

Žarjenje je potekalo v zračni atmosferi v laboratorijski elektrouporovno ogrevani peči

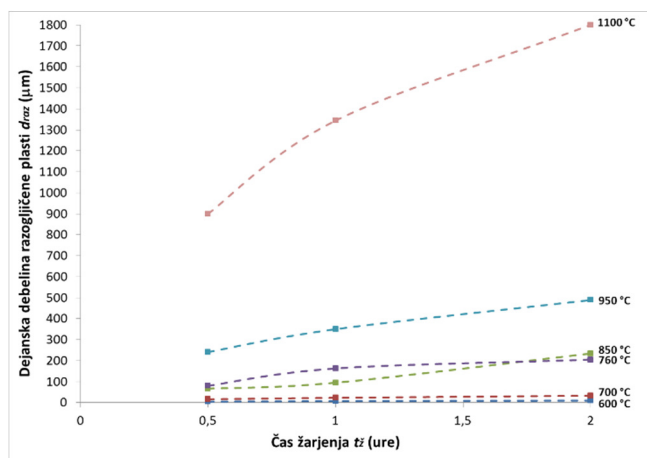
CARBOLITE. Temperatura vzorca je bila merjena s kontaktnim termometrom ALMEMO 2590-9. Vsi vzorci so bili postavljeni na isto mesto v peči, to je čimbolj na sredino volumna peči in na ognjevarno opeko.

Preiskovalne metode so zajemale svetlobno mikroskopijo in meritve debelin razogljčenih plasti s pomočjo merilnega okularja in računalniškega programa. Na predhodno zakaljenih vzorcih so bile opravljene tudi meritve mikrotrdot HV 0,1, saj je razogljčeno plast v kaljeni mikrostrukturi težko ali pa celo nemogoče opaziti.

## 4. REZULTATI IN ANALIZA

### 4.1. Razogljčenje jekla z izhodno feritno-perlitno mikrostrukturo

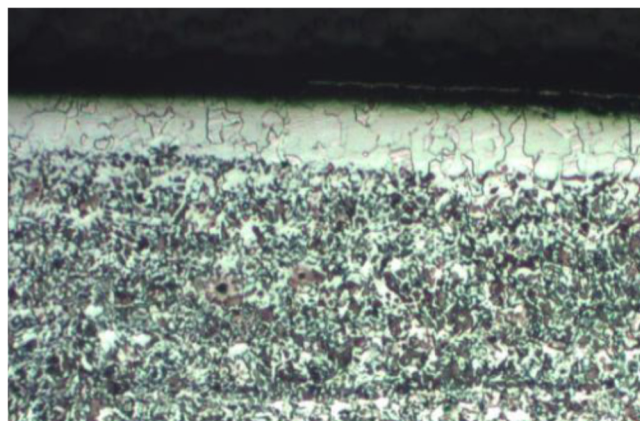
Ugotovljeno je bilo, da se z daljšimi časi in temperaturami žarjenja debeline razogljčenih plasti večajo (slika 3). Se pa ta trend prekine pri 850 °C, kar je posledica večje hitrosti procesa oksidacije od procesa razogljčenja na tej temperaturi. To pomeni, da vidnega razogljčenja pri žarjenju na tej temperaturi ni, in je debelina dejanske razogljčene plasti enaka debelini oksidiranega jekla. Pri 950 °C lahko vidimo, da je vidno razogljčenje zopet prisotno. Slike 4,5 in 6 prikazujejo debeline razogljčenih plasti pri 760, 850 in 950 °C.



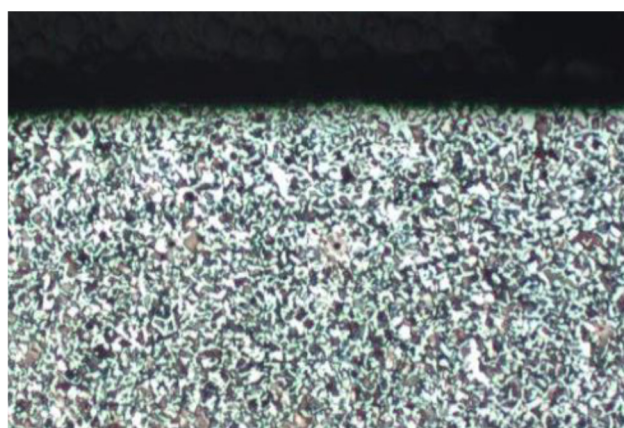
Slika 3: Debeline dejanskih razogljčenih plasti na ravnih površinah

Oksidirana plast jekla ni bila merjena, saj je zaradi krhkosti pokala in odpadala že med

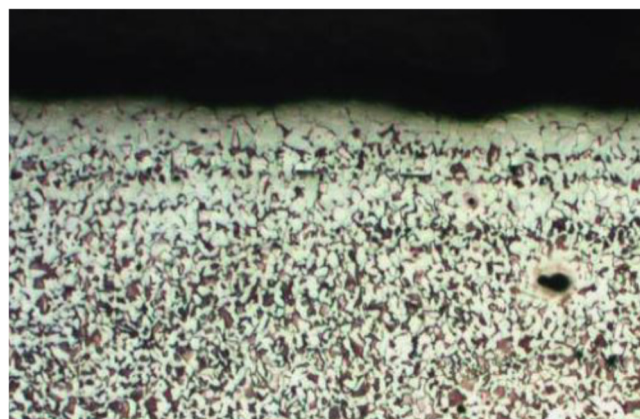
žarjenjem. Rezultati prikazani na sliki 3 so zatorej bili dobljeni s seštevkom izmerjenih debelin vidnih razogljčenih plasti in izračunanih debelin oksidiranega jekla, ki so bile izračunane z enačbo 1.



Slika 4: Razogljčenje ravne površine pri 760 °C in 2 h žarjenja (pov. 100x)

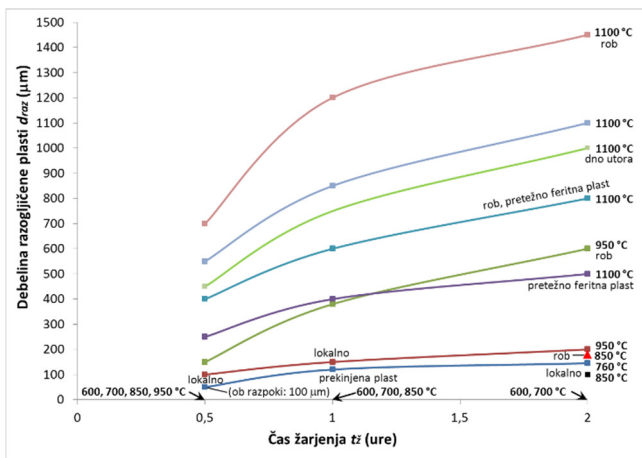


Slika 5: Razogljčenje ravne površine pri 850 °C in 2 h žarjenja (pov. 100x)

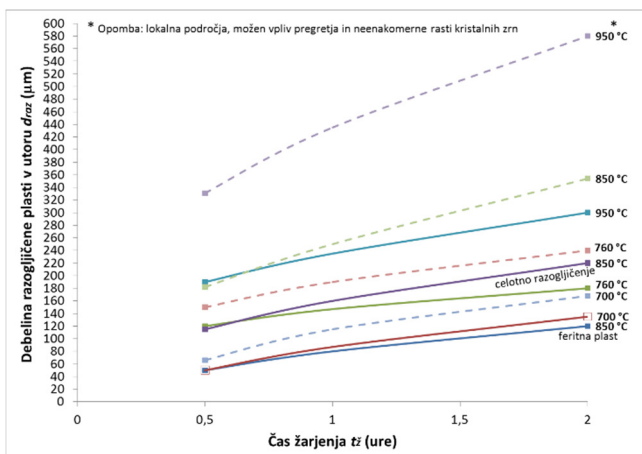


Slika 6: Razogljčenje ravne površine pri 950 °C in 2 h žarjenja (pov. 100x)

Robovi so se pri istih parametrih žarjenja razogljčili bolj kakor ravne površine (slika 7). To je posledica hitrejšega ogrevanja materiala na robovih, zaradi česar je rob dlje časa na visoki temperaturi kakor ravni del površine, in večje površine iz katere lahko ogljik odgoreva. Prav tako je razogljčenje večje v utorih kakor na ravnih površinah (slika 8). Tudi tu odločilno vlogo igra večja površina iz katere lahko odgoreva ogljik in pa drugačna kinetika oksidacije zaradi oblike ozke odprtine.



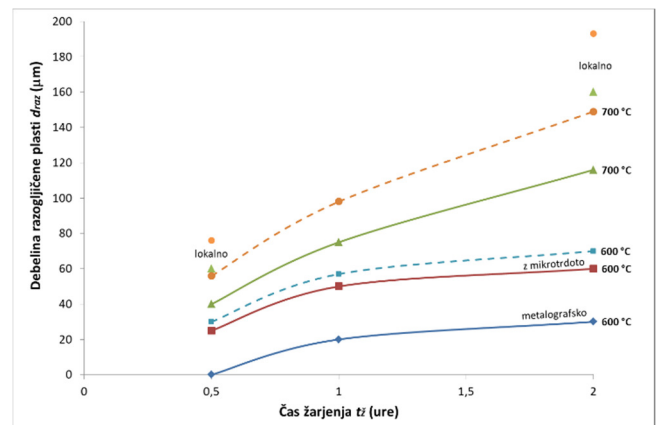
Slika 7: Debeline vidnih razogljčenih plasti na robovih (krivulje pri katerih ni drugače navedeno veljajo za ravne površine)



Slika 8: Debeline vidnih razogljčenih plasti v utorih (črtkane črte so dejanske debeline (vsota vidnega razogljčenja in izračunanih oksidnih plasti))

## 4.2. Razogljčenje jekla z izhodno kaljeno mikrostrukturo

Razogljčenje se pri vzorcih s kaljeno izhodno mikrostrukturo v obliki lokalnih razogljčenih področij pojavi že pri žarjenju na 600 °C in 2 h oz. 700 °C in ½ h. V feritno-perlitni izhodni mikrostrukturi pri teh temperaturah in časih žarjenja še ni vidne razogljčene plasti. Debeline razogljčenih plasti pri teh vzorcih so bile za zagotavljanje pravilnih rezultatov določene tudi z meritvami trdote. Globine razogljčenja so prikazane na sliki 9 in so pri istih parametrih žarjenja večje kakor v normalizirani feritno-perlitni mikrostrukturi.



Slika 9: Debeline razogljčenih plasti kaljenih vzorcev (črtkane črte so dejanske debeline razogljčenja)

## 5. ZAKLJUČEK

Razogljčenje površine predstavlja pogost problem pri toplotni obdelavi jekel v zračni atmosferi. V praksi je nujno doseči pogoje za čim manjšo možno stopnjo razogljčenja površine jeklenih izdelkov. To se lahko zagotovi s preventivnimi ukrepi kot so žarjenje v zaščitni atmosferi, vakuumu ali solni kopeli, nanosi raznih površinskih zaščitnih plasti, predgretje, krajšanje časa žarjenja ali pa zakop kosov v ostružke sive litine oziroma grodlja. Ker so ti preventivni ukrepi marsikdaj predragi za prakticanje, se razogljčenju lahko izogne tudi z brušenjem površinske plasti jeklenega izdelka.

S to raziskavo je bila raziskana kinetika razogljichenja ogljikovega jekla C45 pri žarjenju z različnimi parametri žarjenja in izmerjene oz. izračunane debeline razogljichenih plasti, ki pri tem nastanejo. Raziskava je v praksi uporabna, saj omogoča preskok metalografskih preiskav in določanja debeline materiala potrebne za odbrus. Iz grafov je mogoče odčitati debeline nastalih razogljichenih plasti za jeklo C45 in opraviti brušenje površine brez potrebe po dodatnih preiskavah, lahko pa se uporabi tudi za načrtovanje izdelka že pred njegovo izdelavo, in sicer z dodatkom na dimenzije. V primeru odbrusa površinske plasti po toplotni obdelavi je seveda smotrno odvzeti malo več materiala, saj je kinetika razogljichenja pogojena tudi z izcejami oz. z lokalnimi flukcuacijami v kemijski sestavi, ki so lahko prisotne v vsakem jeklu. To posledično privede do nihanja v debelini razogljichenih plasti po jeklenem izdelku.

Ključne ugotovitve so:

- debelina razogljichenih plasti se veča z daljšimi časi in večjimi temperaturami žarjenja; pri tem prihaja tudi do anomalij pri žarjenju na določenih temperaturah, kjer proces oksidacije poteka hitreje od procesa razogljichenja, zato to ni vidno
- v tem primeru je debelina razogljichenih plasti enaka debelini oksidiranelega jekla
- razogljichenje je pri istih parametrih žarjenja na robovih in v utorih večje kakor na ravnih površinah
- razogljichenje kaljene mikrostrukture je pri istih parametrih žarjenja večje od razogljichenja v feritno-perlitni mikrostrukturi.

Viri:

- [1] Schumann, H.: *Metallographie*, 12. Auflage, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1988, 616 str.
- [2] Mardon, C.: *The austenitization and decarburization of high silicon spring steel: doktorska disertacija*, Christchurch, 1998, 317 str.
- [3] Perović, B.: *Fizička metalurgija*, Univerzitetna riječ, Titograd, 1984, 448 str.
- [4] Lišičič, B.: *Steel Heat Treatment – Metallurgy and Technologies*, Edited by G. E. TOTTEN, CRC Press-Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2007, 848 str.
- [5] Roberts, G. et al.: *Tool Steels, 5th edition*, ASM International, Materials Park, 1998, 364 str.
- [6] Nauman F. K.: *Das Buch der Schadensfälle*, Dr. Riederer-Verlag GmbH, Stuttgart, 1976, 481 str.
- [7] *Metalurški priročnik*, Urednik Kveder A., Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 1972, 1470 str.
- [8] Becherer. A. B., Whiteford T. J.: *Heat Treating of Ultrahigh-Strength Steels, ASM Handbook, Vol.4 – Heat Treating*, Edited by Lampman S. R. et al., ASM International, Materials Park, 2009, str. 207-218
- [9] Bramfitt B. L.: *Annealing of Steel, ASM Handbook, Vol. 4 – Heat Treating*, Edited by Lampman S.R. et al., ASM International, Materials Park, 2009, str. 42-55

# 11. INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

**Drugi dan**

**Dvorana 3**

Portorož, 3. in 4. junij 2019



## KONCEPT INTELIGENTNEGA POGONSKEGA SKLOPA

Martin STEPANČIČ<sup>1,2</sup>, Andrej BIČEK<sup>3</sup>, Miha ERJAVEC<sup>4</sup>, Simon KULOVEC<sup>4</sup>, Leon ŽLAJPAH<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Jožef Stefan, Ljubljana

<sup>2</sup>Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana

<sup>3</sup>Nela d.o.o., Železniki

<sup>4</sup>Podkrižnik d.o.o., Nazarje

### IZVLEČEK

Visokozmogljivi pozicionirni sistemi so ena izmed ključnih komponent v sodobnih robotskih sistemih, CNC strojih in drugih mehatronskih napravah na področju avtomatizacije. V nestrukturiranih okoljih, kjer lahko pride tudi do fizičnega kontakta, mora regulacijski sistem odpraviti motnjo in doseči želeno podajnost. Obravnavali bomo preizkus koncepta inteligentnega pogonskega sklopa, ki temelji na sinhronskem motorju, planocentričnim gonilom, dvema enkoderjema, merilnikom navora in merilnikom vibracij. Pogonski sklop je opremljen s standardnim krmilnikom servomotorjev in namenskim računalnikom, ki omogoča kompenzacijo neželenih učinkov, diagnostiko in uporabniški vmesnik preko spletnega strežnika.

### 1. UVOD

V aplikacijah za natančen nadzor gibanja kot so to sodobni robotski sistemi in druge mehatronske naprave, je potrebno zagotoviti natančno pozicioniranje in nadzorovati obremenitve pogona. Pogosto se v takšnih sistemih uporabljajo servopogoni, ker s pomočjo povratne informacije dosegajo visoko zmogljivost zaradi natančnega nadzora položaja, hitrosti ali navora. To je zelo pomembno pri robotskih sistemih, ki so v kontaktu z okoljem, in pri kolaborativnih robotih, ker lahko zagotovimo potrebno varnost. Poleg tega pa je izbira vgradnih komponent, zasnova in integracija kompletnega pozicionirnega sistema ključnega pomena za doseganje ustrezne ponovljivosti in natančnosti gibanja. Pogon mora doseči zahtevan navor, hitrost in natančnost, zato mora biti ustrezno dimenzioniran. Pri tem je potrebno upoštevati vrsto obremenitve, mehanski prenos, delovni cikel<sup>1</sup>, hitrost cikla in nenazadnje natančnost gibanja.

Za konvencionalne motorje je značilna visoka nazivna hitrost in relativno majhen nazivni navor.

Pri pozicionirnih sistemih pa se običajno zahteva ravno obratno. V pozicionirnih sistemih se uporablja t.i. servopogon, kjer motor povežemo z mehanskim prenosnikom z visokim prestavnim razmerjem, npr. s harmoničnim gonilom (angl. »Harmonic drive«).

Precizen pozicionirni sistem je tipično sestavljen iz naslednjih komponent:

- motor z enkoderjem (obravnavamo kot servomotor),
- močnostni vmesnik za krmiljenje motorja,
- prenosnik ali (tudi poimenovan kot) gonilo,
- vektorski krmilnik.

Pri sodobnih robotskih sistemih, ki morajo zagotoviti ustrezne dinamične lastnosti, v sistem vključimo še:

- merilnik položaja, merilnik navora na bremenski strani prenosnika in temu ustrezen vektorski krmilnik.

Zaradi vključitve prenosnika v pogonski sklop breme ni togo povezano z motorjem. Med njima je več mehanskih elementov, ki v sistemu povzročajo zračnost, mrtvi hod, trenje in elastičnost. Ti pojavi predstavljajo nelinearnosti v sistemu in vplivajo na

<sup>1</sup> Pri delovnem ciklu nas zanima kako pogosto se pogon začne gibati in ustavljati.

natančnost pozicioniranja, ponovljivost in odzivnost sistema. Sodobne obdelovalne tehnologije omogočajo izdelavo preciznih prenosov, kjer so vzroki za napake precej zmanjšani. Kljub temu pa je, odvisno od zahtev aplikacije, nekatere motnje pri visokozmogljivih pozicionirnih sistemih potrebno upoštevati. Po drugi strani želimo pri inteligentnem pogonskem sklopu uvesti sistem za spremljanje stanja in prediktivno vzdrževanje mehanskih ter električnih komponent produkta.

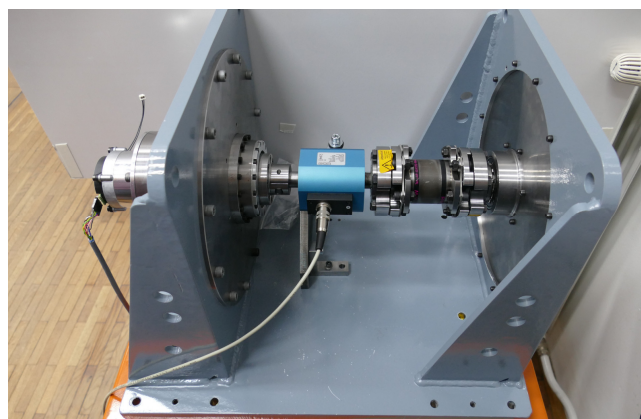
Visoka zmogljivost pogona zaradi natančnega nadzora položaja, hitrosti ali navora, ter sistema za spremljanje stanja in prediktivno vzdrževanje so trenutno nekateri izmed ključnih faktorjev, ki podjetjem lahko zagotovijo konkurenčnost na trgu. Za pogonski sklop s takšnimi lastnostmi je potreben razvoj ustreznega motorja in prenosnika, ki sta opremljena z ustreznimi senzori, ter zasnova in izvedba krmilniškega sistema za ustrezno vodenje pogonskega sklopa, ki omogoča diagnostiko, prognostiko in koncept IoT. Shema koncepta inteligentnega pogonskega sklopa je prikazana na Sliki 1.

V prvi fazi razvoja so bili postavljeni in razviti različni koncepti planocentričnih prenosnikov, ki v relativno majhni prostornini omogočajo prenos velikih obremenitev s togostjo, primerljivo z ostalimi prenosniki. V prenosnik smo vgradili serijski enkoder na bremenski strani, ki omogoča natančno pozicioniranje bremena. Glede na izbrano predvideno področje obremenitev in hitrost gibanja je bil razvit tudi ustrezen sinhronski motor s permanentnim magnetom. Za krmiljenje motorja je bil izbran ustrezen močnostni krmilnik. Zasnovan je bil tudi dodaten (zunanji) krmilnik, ki bo omogočal priključitev dodatnih senzorjev za nadzor stanja pogona ter izvedbo algoritma vodenja za kompenzacijo nelinearnih pojavov v

pogonskem sklopu. V vmesni fazi razvoja krmilniškega sistema smo ta sistem poenostavili z uporabo obstoječih industrijskih krmilnikov na trgu in nadgradnjo z lastnim krmilnikom, zasnovanim na PC-ju. Z ustrezno hitro medsebojno komunikacijo delujeta oba krmilnika kot enoten krmilnik.

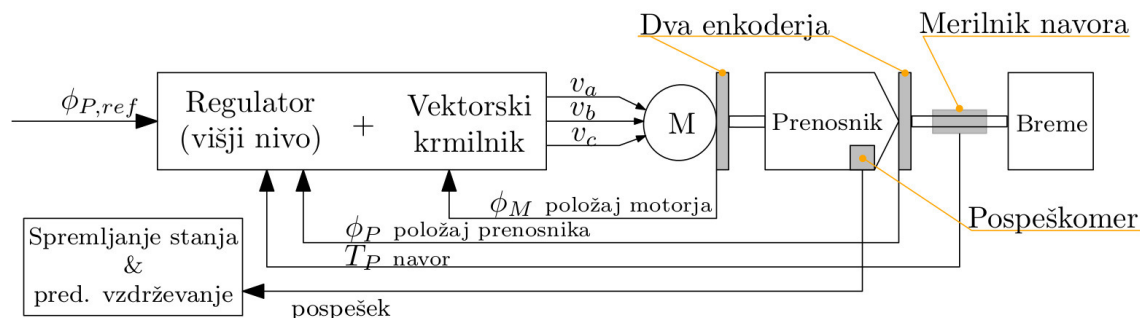
V nadaljevanju je opisan razvoj posameznih podsklopov pogonskega sistema. Pri tem smo združili do sedaj izdelane komponente celotnega robotskega pogonskega sistema v obliko eksperimentalnega pogona, ki predstavlja vmesno fazo integracije pogonskega sklopa.

Za izdelavo eksperimentalnega sklopa smo načrtali in izdelali nosilno konstrukcijo, prikazano na Sliki 2, ki omogoča togo povezavo osi motorja in prenosnika.



Slika 2 Ohišje pogonskega sklopa sestavlja več elementov: motor, prenosnik, senzor navora na izhodni osi prenosnika, torzijsko togo sklopko, gred in vztrajnostno breme

Med gredjo z bremenom in senzorjem navora se nahaja torzijsko toga sklopka. Sklopka zagotavlja dovolj visoko torzijsko togost, s čimer želimo doseči majhno napako položaja med gonilno in obremenilno gredjo. To je namreč predpogoj za doseganje hitrega odzivnega časa regulacijskega sistema.



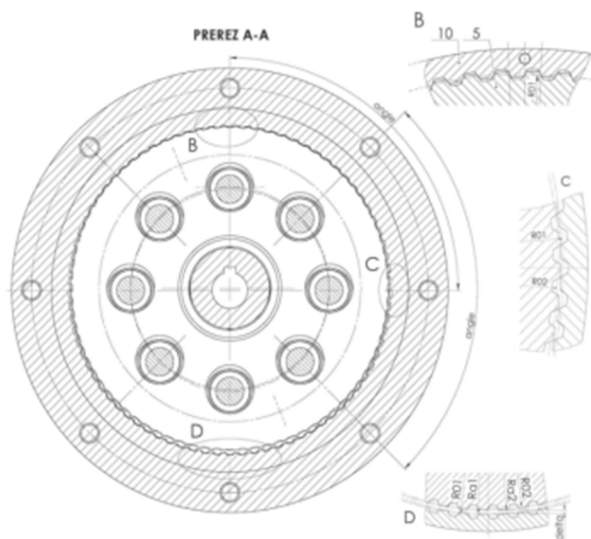
Slika 1: Shema testnega pogonskega sklopa na levi strani prikazuje modul za regulacijo in modul za spremljanje stanja, na desni strani pa prikazuje glavne mehanske komponente z ustrežno merilno opremo: motor, prenosnik in breme.

Gred je uležajena in trdno nameščena v pogonskem sklopu. To nam omogoča dodajanje različnih vrst elementov za povezavo pogona z bremenom. Zaščito pred prekomerno obremenitvijo testnega pogonskega sklopa lahko izvedemo v krmilniku z uporabo povratne informacije preko senzorja navora.

## 2. PRENOSNIK

Planocentrične prenosnike trenutno proizvajajo kar nekaj proizvajalcev (kot npr. Spinea, Harmonic drive in Nabtesco). Primerjava izdelkov, ki so trenutno na trgu, pokaže, da imajo ti nekatere prednosti in slabosti, predvsem na mehanskem delu. Pri razvoju novega prenosnika se je potrebno soočiti predvsem z zagotavljanjem kakovosti komponent prenosnikov kot tudi s pravilnim delovanjem prenosnika. Dva izmed izzivov sta zagotavljanje natančnosti delovanja v širokem temperaturnem območju in visok izkoristek.

Za potrebe integriranega pogonskega sklopa je podjetje Podkrižnik razvilo prenosnik s posebnim ozobjem, ki omogoča bolj uravnano razporeditev kontaktne sile po ozobju in boljši izkoristek v primerjavi z evolventim ozobjem. Slika 3 prikazuje prerez razvitega prototipa planocentričnega prenosnika.



Slika 3: Prerez prenosnika, kjer lahko vidimo glavni koncept planocentričnega prenosnika z (80-zobim) notranjim in zunanjam

(81-zobim) S-ozobjem. V sredini prenosnika je vhodna gred. Izhodna gred je določena s položajem osmih valjev, ki prebadajo zobnik (z zunanjim ozobjem).

### 2.1. Meritve karakteristike prenosnika

Samo testiranje togosti ter zračnosti se je izvajalo na posebej pripravljenem testirnem mestu, t.i. preizkuševališču. Meritev togosti se opravlja tako, da se vstopno gred gonila (SGU) blokira (idealno s togim vpetjem) na ohišje. Na izstopno gred se nato privijači ročica. Na zareze, izdelane na ročici, se stopenjsko dodaja ter odvzema masa bremena.

Obremenitveno-razbremenitveni cikel se izvaja tako, da se breme (masa) na eni strani ročice dodaja od stanja brez obremenitve do stanja s polno obremenitvijo ter nato v obratnem vrstnem redu odvzema. V naslednjem koraku stopnjujemo dodajanje mase preko osi gonila na nasprotni strani ročice: od stanja brez obremenitve do stanja s polno obremenitvijo in obratno. Ob vsaki stopnji obremenitve (ali razbremenitve) izmerimo in zabeležimo zasuk osi. Za vsako gonilo se ponovijo 3 celotni obremenitveno-razbremenitveni cikli pri položaju  $0^\circ$  in  $90^\circ$  na izstopni gredi.

Na podlagi meritev v [1] smo ocenili togost prenosnika na približno<sup>2</sup> 366 Nm/mrad in zračnost na približno 4.36 mrad.

### 2.2. Izbira pospeškmera

Na podlagi meritev vibracij prenosnika iz [2] s pospeškometerom Kistler 8702B je bilo ugotovljeno, da se uporabna vsebina vibracij nahaja v območju do 15 kHz. V tem primeru smo predvideli pospeškometer »Brüel&Kjær tip 4508«, ki ima občutljivost 100 mV na enoto težnostnega pospeška. Izmerjeno napetost na senzorju vzorčimo z modulom za zajem podatkov »Advantech 4716«<sup>3</sup> s hitrostjo vzorčenja do 200kHz.

### 2.3. Spremljanje stanja – lociranje poškodbe na ležajih prenosnika

<sup>2</sup> Velja v območju obremenitve z navorom nad 25Nm. Pri manjši obremenitvi je nelinearnost togosti bolj izrazita.

<sup>3</sup> Modul Advantech smo izbrali zaradi podpore gonilnikov za operacijski sistem Linux (tudi z različico jedra 4.x). To olajša izvedbo namenskega sistema za zajem podatkov in omogoča

Pri testnem pogonskem sklopu je predvideno pozicionirno vodenje med različnimi položaji, zato se hitrost vrtenja spreminja in sledi nekemu zelenemu hitrostnemu profilu. S stališča diagnostike neenakomerna hitrost gredi predstavlja poseben izziv za analizo vibracij, saj se večina vibracij spreminja v odvisnosti od hitrosti vrtenja. Pri stacionarnih pogojih delovanja zadošča le analiza vibracij v frekvenčnem prostoru, pri nestacionarnih pogojih pa moramo ta (evklidski) prostor povečati z dodatnimi dimenzijami, to sta običajno položaj ali hitrost vrtenja ter navor. Za natančno primerjavo vibracij na prenosniku z zgodovinskimi podatki smo predvideli kalibracijski postopek testnega pogonskega sklopa. Ta postopek se prične z izvedbo nekega vnaprej določenega gibanja in traja predvidoma manj kot 20 sekund. Ob predpostavki, da se uporablja enako breme na izhodni osi pogonskega sklopa v času kalibracij, lahko s kalibracijskim postopkom izločimo probleme diagnostike zaradi nestacionarnih pogojev delovanja naprave.

Poškodbe ležajev prenosnika so lahko na notranjem obroču, na zunanem obroču, na kotalnem elementu in v kletki kotalnih elementov. Poškodovan ležaj in tip poškodbe lahko lociramo s pomočjo t.i. frekvenc poškodbe ležaja [3]: BPFI, BPFO, FTF in BSF.

Vibracije ležajev v primeru nepoškodovanega prenosnika so neizrazite. Pri poškodbi ležaja se pojavi periodično udarjanje ob steno ležaja, ki ga ne moremo zaznati neposredno. Periodični udarec lahko izmerimo posredno, z merjenjem vibracij ohišja prenosnika. Del izmerjenih vibracij, ki nastanejo zaradi periodičnega udarjanja ležaja, vsebuje lastne frekvence ohišja prenosnika. Informativno komponento v izmerjenem signalu vibracij lahko razložimo kot modulacijo impulznega odziva v okolici lastne frekvence konstrukcije prenosnika. V tem primeru postopek za diagnostiko ležajev temelji na demodulaciji signala vibracij pri tistih centralnih frekvencah, ki so značilne za impulzni odziv konstrukcije. Postopek je naslednji:

1. Določitev frekvenčnega območja, kjer pričakujemo prisotnost impulznega odziva

konstrukcije. Frekvenčno območje lahko določimo z različnimi centralnimi frekvencami in širinami frekvenčnega okna. Uporabno orodje za določitev frekvenčnega območja je kurtogram [3], slika, ki prikazuje sploščenost signala pri različnih frekvencah in pri različnih pasovnih širinah. Impulzni odziv konstrukcije prenosnika lahko v eni periodi razumemo kot nestacionaren signal. Zaradi nestacionarnosti ima ta signal veliko sploščenost (angl. »Kurtosis«). To se lahko opazi tudi v kurtogramu pri nekaterih frekvencah.

2. Signal vibracij demoduliramo za vsako centralno frekvenco posebej.
3. S Hilbertovo transformacijo izračunamo ovojnico demoduliranega signala vibracij.
4. Identificiramo osnovne frekvence in harmonike ležajev v signalu ovojnice demoduliranega signala. To so frekvence poškodbe ležaja BPFI, BPFO, FTF in BSF. V našem primeru prenosnik vsebuje šest ležajev, od tega tri različne konfiguracije frekvenc ležajev, kar skupaj zneso 12 frekvenc.
5. Moč trenutnih vibracij na prenosniku primerjamo z meritvami v nominalnem delovanju pri omenjenih 12 različnih frekvenčnih točkah.

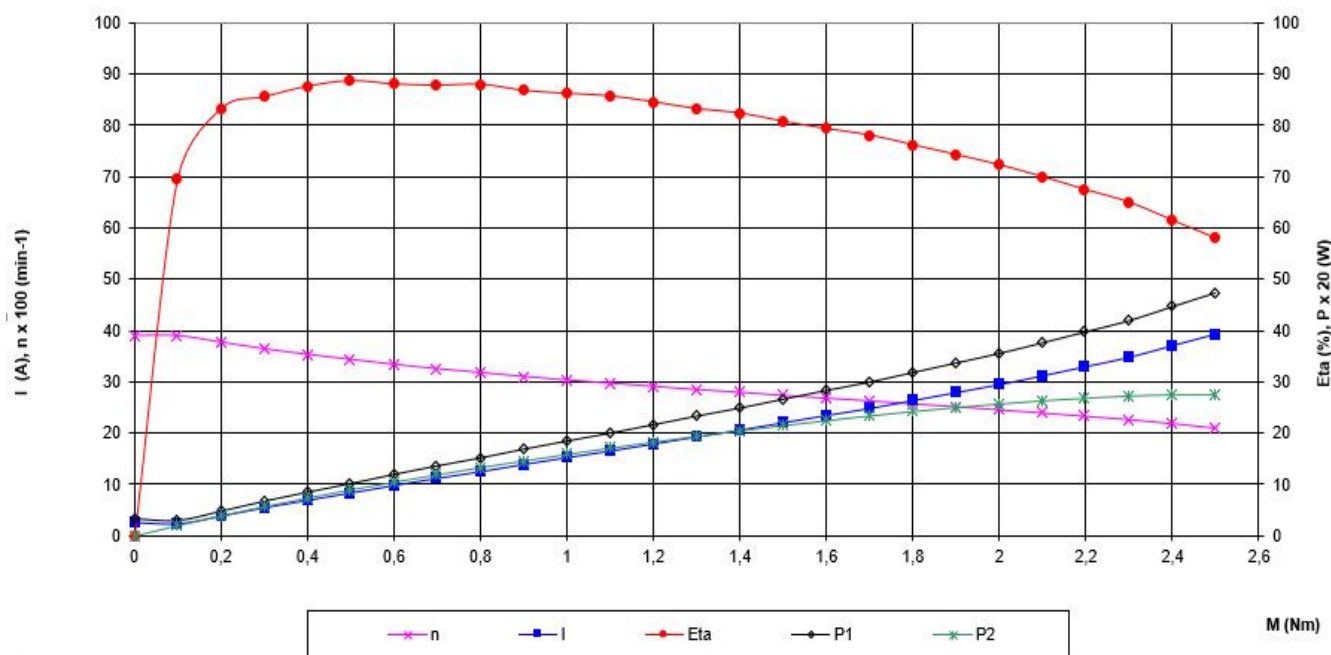
### 3. MOTOR

Na podlagi zahtev je Nela definirala električno shemo motorja z 12 poli na statorju in rotorjem z vstavljenimi magneti. Sledili so modeliranje ohišja, konstruiranje in montaža sestavnih delov motorja. Pogoji obratovanja ter konstrukcija motorja sta vplivala na optimalno izbiro enkoderja. Glede na konstrukcijo motorja se je izkazalo, da je radialna izvedba enkoderja bolj primerna od aksialne, saj je napaka v legi magnetnega obroča pri takšni izvedbi majhna. Magnetni obroč je fiksiran na izstopni del gredi rotorja, bralna glava pa je pritrjena na nosilcu na zadnji strani motorja.

Izbrali smo radialni inkrementalni enkoder RLC2IC proizvajalca RLS. Izbira magnetnega obroča je odvisna od željene ločljivosti, zato smo se odločili za največjo možno ločljivost pri kateri

lahko še dosežemo željeno hitrost motorja, in sicer

Iz meritev karakteristike na sliki 4 smo razbrali,



3000 vrtljajev/min, oziroma 37.5 vrtljaja/min na izstopni gredi prenosnika. Izdelan prototip motorja je prikazan na Sliki 4.

da je delovna točka nazivnega navora 1.4 Nm dosegljiva pri 2750 vrtljajih/min.

#### 4. IZVEDBA KRMILNIŠKEGA SISTEMA

Slika 5 Momentna karakteristika prototipa 731.3.701 št. 5 s testno elektroniko JETI SPIN 200 s krmilno napetostjo Ureg=24Vac.



Slika 4: Izdelan prototip motorja. Prikazana je zadnja stran motorja, kjer je nameščen radialni enkoder. Na prednji strani motorja je vidna obrobnica za vpetje motorja s prenosnikom.

Na preizkuševališču momentnih karakteristik smo izvedli tudi meritve vhodne električne moči  $P_1$ , električnega toka  $I$ , delovne moči  $P_2$  in vrtljajev v odvisnosti od navora  $M$ , ki so predstavljene na Sliki 5.

#### ZA TESTNI POGONSKI SKLOP

Krmilniški sistem testnega pogonskega sklopa ima vlogo:

- regulacijskega sistema, vključno s kompenzacijo nelinearnih efektov v prenosniku,
- diagnostičnega modula za spremljanje stanja in prediktivnega vzdrževanja, ter
- modula IoT, ki vsebuje spletni vmesnik in orodja za prikazovanje in poročanje stanja pogonskega sklopa.

Krmilniški sistem je fizično izveden v dveh napravah, s tovarniškim krmilnikom in namenskim računalnikom (IPC) kot prikazuje Slika 6 in 7. Ideja izvedbe z dvema napravama omogoča učinkovitejši razvoj krmilniškega sistema, vendar zahteva hiter komunikacijski vmesnik. Uporabili smo tovarniški krmilnik ELMO »Gold Cello«, da lahko izkoristimo že obstoječe rešitve regulacijske tehnike. Krmilnik ELMO vsebuje komunikacijski vmesnik EtherCAT, ker omogoča integracijo v večosni

regulacijski sistem z uporabo krmilnika na višjem nivoju. Ta vmesnik omogoča čas vzorčenja do 250 mikrosekund, kar ustreza našim potrebam. Po drugi strani nam IPC omogoča:

- nadgradnjo ali modifikacijo regulatorja v krmilniku Elmo na način, da v regulacijsko shemo vključimo še merilnik navora,
- razvoj diagnostičnega modula in
- razvoj modula IoT
- komunikacijski vmesnik EtherCAT z uporabo že obstoječega vmesnika Ethernet

Razen pospeškovera so vsi merilniki povezani na krmilnik ELMO.



Slika 6: Izvedba krmilnika IPC (levo) in krmilnika Elmo (na sredi). Ob krmilniku Elmo se na desni nahaja enosmerni napajalnik z napetostjo 60Vdc in enofazni transformator iz omrežja na napetost 60Vac.

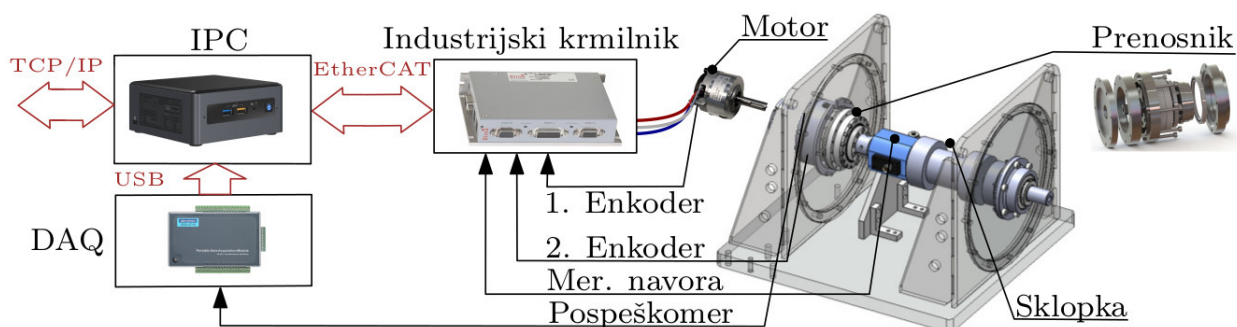
#### 4.1. Konfiguracija in komunikacija krmilniškega sistema s senzorji

Priklopljeni senzorji na krmilniškem sistemu za regulacijo (na Sliki 6) so: enkoder za položaj motorja (z ločljivostjo 102400 pulzov/vrtljaj),

enkoder za položaj prenosnika (s približno 10-krat večjo ločljivostjo 1048576 pulzov/vrtljaj) in senzor navora na izhodni osi prenosnika. Poleg senzorjev za regulacijo lahko uporabljamo pospeškover na prenosniku, namenjenemu za diagnostiko in prognosniko prenosnika.

Konfiguracija regulacijskega sistema je večinoma podana v obliki kaskadne regulacije. Na najvišjem nivoju kaskadne regulacije se lahko izvaja regulacija položaja (ali hitrosti), nivo nižje se izvaja vektorska regulacija FOC (angl. »Field Oriented Control«). To je regulacija aktivne in reaktivne komponente toka v motorju, kjer regulirni signali medfazne napetosti na sponkah motorja.

Konfiguracijo regulacijskega sistema smo predvideli za dva načina delovanja, vendar v obeh primerih krmilnik ELMO izvaja FOC-regulacijo. V prvem primeru kaskadno regulacijo prepuščamo industrijskemu krmilniku - tako regulacijo tokov kot tudi regulacijo položaja (in/ali hitrosti). S krmilnikom IPC želimo k regulacijski shemi krmilnika ELMO dodati kompenzacijo nelinearnih motenj z načrtnim spreminjanjem reference aktivnega toka v shemi krmilnika ELMO. V drugem primeru pa regulacijo položaja (in hitrosti) prepustimo krmilniku IPC, kjer ta shema že vsebuje kompenzacijo nelinearnih motenj. Tu se kaskadna regulacija na obeh krmilnikih izvaja porazdeljeno. S stališča izvedbe regulacije je hitra in robustna komunikacija med krmilnikoma najbolj pomemben izziv. Poleg tega želimo s krmilnikom IPC doseči visoko računsko zmogljivost za napredne metode vodenja, možnost snovanja vgradnega sistema in delovanje v realnem času. V nadaljnjem bomo te zahteve upoštevali in opisali izvedbo krmilnika IPC, prototipa, ki predstavlja kompromis med



Slika 7: Shema izvedbe krmilniškega sistema z dvema krmilnikoma – krmilnik IPC in industrijski krmilnik ELMO. Diagnostični modul in modul IoT je izveden v krmilniku IPC. Regulacija pogonskega sklopa se izvaja v obeh krmilnikih. Vrednosti signalov, ki jih potrebujemo za izvedbo regulacije, si krmilnika med seboj izmenjujeta preko komunikacijskega vmesnika EtherCAT.

elegantnim razvojem in možnostjo snovanja vgradnega sistema.

## 4.2. Komunikacija med krmilnikoma

Namen razvoja inteligentnega pogonskega sklopa je med drugim doseči tudi enovit (ali vgrajeni) sistem, kjer so vse komponente integrirane v eno ohišje. Cilj razvoja krmilniškega dela sistema je ravno zato nagnjen k snovanju vgradnega sistema. Pri tem smo se usmerili v razvoj vgradnega sistema z uporabo računalnika na modulu (angl. »Computer on Module« - CoM). Modul CoM je podoben računalniku na eni plošči (angl. »Single Board Computer« - SBC) kot npr. računalnik Raspberry PI. Razlikuje se predvsem v obliki, ki je enaka SO-DIMM pomnilniku pri prenosnem računalniku. Sam modul ni samostojen in ga namestimo na nosilno ploščo z vso ustrezno periferijo in napajanjem, ki je zasnovana glede na potrebe vgradnega sistema. Pri snovanju vgradnega sistema smo se soočali z različni CoM-moduli »Ka-Ro TXUL 5010« in modulom »Sopine A64«. Poleg CoM-modulov smo obravnavali tudi 2 SBC-modula: »Raspberry PI 3« in nekoliko bolj industrijsko različico »Rev PI Core 3« proizvajalca Kunbus. Na računalniških modulih smo uporabili obstoječi vmesnik Ethernet za izvedbo komunikacijskega vmesnika EtherCAT z uporabo odprtokodnih knjižnic »Simple Open Ethercat Master« - (SOEM) Master in »IgH EtherCAT Master«<sup>4</sup>.

Na modulu »Ka-Ro TXUL 5010«, »Raspberry PI 3« in (delno) »Sopine A64« smo razvili namensko distribucijo operacijskega sistema Linux s pomočjo okolja »Yocto«, ker želimo omogočiti snovanje vgradnega sistema. V lastno distribucijo Linuxa smo vnesli modifikacijo jedra za delovanje v realnem času »RT\_PREEMPT«. Pri modulu Rev PI Core 3 smo uporabili generično distribucijo OS Raspbian s popravkom »RT\_PREEMPT«. Preverili smo učinkovitost delovanja operacijskega sistema z merjenjem latence procesorskega jedra pri komunikaciji s krmilnikom Elmo ter ugotovili, da računalniška modula (»Rev PI Core 3«, in »Ka-Ro TXUL

5010«) s procesorjem ARM Cortex A9 in operacijskim sistemom Linux ne dosega delovanje v realnem času: obravnavanje prekinitev v Linux-ovem jedru (angl. »Interrupts«) je preveč časovno potratno, saj pride do latence, ki presega 1 milisekundo. V našem primeru želimo doseči maksimalno latenco procesa za regulacijo pogonskega sklopa do največ 50 mikrosekund, saj želimo regulacijsko/ kompenzacijsko shemo s časom vzorčenja 250 mikrosekund. Modul Raspberry PI 3 vsebuje 4-jedrni superskalarni procesor ARM Cortex A64. Izmerili smo maksimalno latenco (brez komunikacije EtherCAT), ki znaša približno 50 mikrosekund. Težave nastanejo pri uporabi komunikacijskega vmesnika Ethernet, ker je vmesnik povezan na procesor posredno, preko vodila USB2.0 z vmesnikom USB2-Ethernet. Zaradi komunikacije preko vodila USB2 se maksimalna latenca pri komunikaciji EtherCAT poveča tudi več kot 1 milisekundo in zato uporaba trenutnih izvedb modula Raspberry PI ni priporočljiva.

Pri modulu Sopine A64 s stališča strojne opreme nismo zasledili težav, zato je ta modul lahko ustrezen za nadalnje delo pri snovanju vgradnega krmilniškega sistema. So pa težave nastale pri podpori gonilnikov za operacijski sistem. Podpora gonilnikov je pomanjkljiva in naleteli smo na težave pri razvoju lastne distribucije Linuxa. Pri modulu Sopine A64 smo se odločili za uporabo generične Linux distribucije, ki je dostopna na spletni strani »<https://wiki.pine64.org>«.

Pri trenutni implementaciji testnega pogonskega sklopa smo se osredotočili na uporabo večjega računalniškega sistema, ki ni namenjen vgradnji. Razlog za to je predvsem zahteva po nemotenem delovanju krmilniškega sistema, ki ne sme biti omejeno zaradi strojne opreme. Posledično je trenutni krmilnik IPC na testnem pogonskem sklopu izveden z računalnikom »Intel NUC8I3BEH«. Zaradi procesorske arhitekture »x86\_64« sta programska oprema in operacijski sistem Linux odlično podprta in ne predstavljata večje ovire pri nadaljnjem razvoju modula za diagnostiko ter modula IoT.

Knjižnici sta dostopni na:  
 »<https://openethercatsociety.github.io>« in  
 »<https://etherlab.org/en/ethercat>«.

### 4.3. Nadaljnji koraki v smeri snovanja vgradnega sistema

Ugotovili smo, da vmesnik EtherCAT lahko izvedemo na računalniku z operacijskim sistemom Linux z modifikacijo »RT\_PREEMPT«. To je pomembno za vmesno fazo razvoja prototipa, saj nismo omejeni pri izbiri strojne opreme: regulacija se lahko na primer izvaja na kateremkoli nekoliko zmogljivejšem računalniku z OS Linux. Cilj končnega prototipa krmilniškega sistema je robustnost izvedbe regulatorja, zato je potrebno regulacijo izvesti na mikrokrmilniku. Med razvojem končnega prototipa krmilnika je najverjetneje predviden razvoj lastne nosilne plate, ki vsebuje periferijo za računalnik CoM in mikrokrmilnik z vsemi potrebnimi komunikacijskimi vmesniki. Zaradi velikega števila komunikacijskih vmesnikov je smiselna uporaba FPGA-čipa.

### 4.4. Uporaba generatorja C-kode na podlagi sheme v okolju Simulink

Zaradi potrebe po hitrem prototipiranju regulacijske metode testnega pogonskega sklopa smo pripravili programsko opremo v jeziku C s pomočjo okolja GNU Make in programskega paketa »Simulink Embedded Coder«. Poleg tega smo s pomočjo raznih skript v python-u omogočili integracijo in enostavno izvedbo regulacijske sheme v okolju MATLAB/Simulink na krmilnik IPC. Zaradi enostavne izvedbe regulacijske sheme se lahko izognemo napakam pri programiranju in omogočimo eleganten pristop k preizkušanju raznih regulacijskih shem.

### 4.5. Izvedba demonstracijske tehnologije IoT - spletni vmesnik za spremljanje stanja in daljinsko upravljanje

Ena od lastnosti tehnologije IoT je omogočanje oddaljenega dostopa do naprave. Z oddaljenim dostopom ima proizvajalec več koristi. Lahko pridobi povratne informacije o izdelku, ki omogočijo boljše razumevanje problemov pri razvoju izdelka. Hkrati se je mogoče izogniti višjim stroškom vzdrževanja kot sta fizični dostop

do naprave ali prekomerno preventivno vzdrževanje.

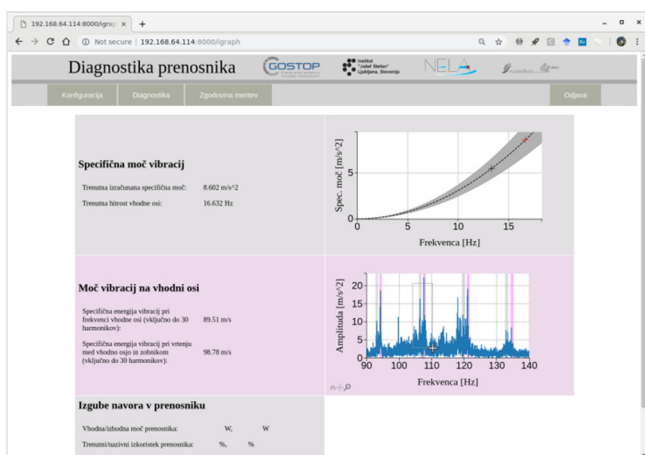
V trenutni fazi implementacije tehnologije IoT na testnem pogonskem sklopu smo se osredotočili na pripravo informacijskega sistema, ki se bo izvajal v krmilni omari testnega pogonskega sklopa. Informacijski sistem je spletni vmesnik, predviden kot osnova za konfiguracijo, krmiljenje in diagnostiko testnega pogonskega sklopa. Cilj implementacije informacijskega sistema je predvsem integracija algoritmov tako za spremljanje stanja kot prediktivno vzdrževanje, kar olajša oddaljeni dostop do naprave in zmanjša stroške vzdrževanja.

Z uporabo spletnega ogrodja (angl. »web framework«) želimo razviti spletno aplikacijo za krmiljenje, konfiguracijo in diagnostiko testnega pogonskega sklopa. Pri integraciji spletnega vmesnika želimo:

- zagon algoritmov za spremljanje stanja in prediktivnega vzdrževanja,
  - uporabo in predstavitev rezultatov pri spremljanju stanja in prediktivnem vzdrževanju,
  - enostaven, hiter razvoj spletne aplikacije, ki sovпада z dobro podprtim razvojnim okoljem, ter
  - izvedljivost razvojnega okolja v vgradni krmilniški sistem testnega pogonskega sklopa.
- Na podlagi omenjenih zahtev smo izbrali spletno ogrodje Django. To ogrodje je razmeroma neodvisno, saj ne zahteva veliko dodatne programske opreme. Ogrodje je razvito v jeziku python in omogoča učinkovito uporabo različnih obstoječih knjižnic za obdelavo signalov in prikazovanje grafov.

Pri izvedbi spletne aplikacije želimo orodje za izrisovanje interaktivnih grafov o stanju pogonskega sklopa na spletni strani odjemalca. V našem primeru smo uporabili knjižnico *matplotlib* za izrisovanje grafov v pythonu. Izrisovanje interaktivnih grafov na strani spletnega strežnika je neučinkovito, zato potrebujemo vmesnik *mpld3*, ki omogoča pretvorbo interaktivnih grafov iz knjižnice *matplotlib* neposredno na brskalnik (v jeziku Javascript).

Primer izvedbe spletne aplikacije na Sliki 8 temelji na spletnem ogrodju Django in prikazuje rezultate sistema za spremljanje stanja.



Slika 8: Primer izvedbe spletne aplikacije za spremljanje stanja. Na spletni strani krmilnika IPC lahko uporabnik pridobi informacije o (i) trenutnem stanju prenosnika na podlagi trenutnih meritev in (ii) trenutnem stanju kalibracije prenosnika na podlagi kalibracije iz preteklih meritev.

## 5. ZAKLJUČEK

Izdelali smo nosilno konstrukcijo za vmesno fazo razvoja pogonskega sklopa, ki omogoča dovolj togo povezavo med motorjem, prenosnikom in bremenom. Ohišje eksperimentalnega pogona je zasnovano tako, da bo omogočalo testiranje pri različnih pogojih obratovanja in pri različnih bremenih.

Drugi ključni element pogona je prenosnik. Na osnovi primerjalne analize različnih konceptov smo izdelali prototip planocentričnega prenosa z vgrajenim merilnikom položaja, ki je primeren za uporabo v visokozmogljivih servosistemih in omogoča natančno pozicioniranje. Izmerili smo statične karakteristike prenosnika, t.j. togost in zračnost. Meritve so pokazale, da je prenosnik dokaj tog, ima pa relativno veliko zračnost. Da bi lahko spremljali stanje prenosnika, smo ga opremili s pospeškomeri, ki omogočajo merjenje vibracij. Na osnovi teh meritev pa bomo lahko spremljali delovanje in zaznali eventualne poškodbe prenosnika.

Na osnovi postavljenega koncepta vodenja pogonskega sklopa smo zasnovali in izdelali krmilniški sistem iz dveh krmilnikov, kjer spodnji nivo predstavlja tovarniški krmilnik ELMO z osnovno regulacijo servopogona. Na višjem nivoju pa smo uporabili namenski računalnik, tj. krmilnik IPC.

Na osnovi karakteristik razvitega prototipa prenosnika in preliminarnih meritev vibracij na njem smo načrtali algoritme za spremljanje stanja

oziroma za zaznavanje poškodb na njem. Implementacija krmilnika IPC obsega poleg možnosti regulacijskega sistema in komunikacijskega vmesnika EtherCAT tudi diagnostični sistem.

Pri nadaljnjem razvoju prototipa inteligentnega pogonskega sklopa je pomembno opremiti pogonski sklop z ustreznim informacijskim sistemom, ki bo omogočal oddaljen dostop do naprave. V ta namen smo izbrali spletno ogrodje (angl. »Web interface«) Django in ga implementirali na krmilniku IPC.

V nadaljevanju projekta bomo na izdelanem eksperimentalnem pogonu testirali različne načine vodenja, ki bodo vključevali uporabo senzorja navora in bodo omogočali ustrezne lastnosti sistema v primeru, ko bo breme v kontaktu z okoljem. Da bi lahko uspešno predvidevali vzdrževanje pogonskega sistema in pravočasno ugotovili razne poškodbe, je potrebno najprej pridobiti osnovne karakteristike sistema. Zato bomo v nadaljevanju izvajali trajnostne teste in delovanje pod različnimi pogoji ter na ta način pridobili podatke, potrebne za razvoj sistema za spremljanje stanja in prediktivnega vzdrževanja.

### Zahvala

Delo je nastalo v okviru projekta GOSTOP, ki ga delno financirata Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport ter Evropska unija (EU).

### Viri:

- [1] L. Žlajpah, M. Stepančič, S. Kulovec, M. Erjavec, A. Eržen, A. Biček. "Implementacija demonstracijske tehnologije IoT in algoritmov za krmiljenje ter vzdrževanje : program Gradniki, orodja in sistemi za tovarne prihodnosti GOSTOP", (IJS delovno poročilo), 2019.
- [2] Bojan Musizza, Pavle Boškosi. "Analiza vibracij v podjetju Podkrižnik d.o.o.", (IJS delovno poročilo IJS/RF-2017-015), 2017.
- [3] R. B. Randall and J. Antoni, "Rolling element bearing diagnostics-A tutorial," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 25, št. 2, str. 485–520, 2011.
- [4] G. Hlebanja and S. Kulovec, "Development of a Planocentric Gear Box Based on S-Gear Geometry," *Kolloquium Getriebetechnik*, str. 205–216, 2015.

## KONCEPT INTELIGENTNEGA POGONSKEGA SKLOPA

Martin Stepančič<sup>1,2</sup>, Andrej Biček<sup>3</sup>, Miha Erjavec<sup>4</sup>, Simon Kulovec<sup>4</sup>, Leon Žlajpah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Jožef Stefan, Ljubljana, <sup>2</sup>Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, <sup>3</sup>Nela d.o.o., Železniki,

<sup>4</sup>Podkrižnik d.o.o., Nazarje

---

## **MECODES – A NEW COLLABORATION SOLUTION FOR THE ECAD/MCAD INTEGRATION**

**Reni BANOVA, Zlatko ŠIMUNEC**  
CAD/CAM Group

### **ABSTRACT**

*MECODES is a unique suite of MCAD and ECAD collaboration solutions. It introduces a new approach for multi-domain collaboration during the design of electromechanical products. To improve product design, reduce costs and enable a more interdisciplinary innovation MECODES [1] adopts the latest technologies for incremental design model data exchange protocols. The CAD/CAM Group [2] developed a new MECODES software tool for the integration of the market-leading PLM platform, i.e. the 3DEXPERIENCE platform, with leading tools for the PCB design system, namely, the Mentor Expedition and PADS, CADENCE Allegro, and Altium Designer. Engineers working with CATIA V5 or 3DEXPERIENCE and the relating ECAD tools may collaborate on a common development model by using native model data, also components, copper trace layers and interconnections in full 3D representation for the entire electro-mechanical product. The abundance of the shared data model enables an inventive development and realistic physical simulations.*

### **1 INTRODUCTION**

Modern products become more complex while development cycles shorten in order to keep up with market demands. In the past, products were solely made of electrical or mechanical parts. Today products tend to be developed with numerous integrated electrical and mechanical parts. These changes make a product more useful for customers, on the other hand by adding electrical and mechanical parts, products have become harder to design. They are expected to be reliable, compliant, and sustainable and manufactured in more environment-friendly processes; not to mention that most frequently, they are expected to be delivered at lower cost, with better performances and developed in noticeably shorter timescales than ever before. As a result of these compound requirements, product development teams do not have time to work independently either on electrical or mechanical parts. Instead they are forced to work together on common electro-mechanical parts. These circumstances reinforce the need for a robust integration of Electronic-CAD (ECAD) and Mechanical-CAD (MCAD) which surpasses the basic needs such as ECAD-MCAD data alignment, technology and engineering collaboration.

### **2 INCREMENTAL CO-DESIGN**

The current competitive markets require more than ever before, that ECAD and MCAD engineers collaborate throughout the entire product design process. One key point for such a collaboration is the synchronization of different development domains and their CAD tools applied during the design phases. This imposes a burden to the applied MCAD or ECAD tools which use their own product data management, graphical 3D and 2D representation for components and assemblies, development methods as well as their discipline-specific bill of material representations. Further, product development domains face their own challenges, manifested when the disciplines do not work together or if their design processes are not interconnected. In order for ECAD and MCAD to collaborate in “real-time”, it is essential to establish a direct method of communication that facilitates the back and forth flow of data between design teams.

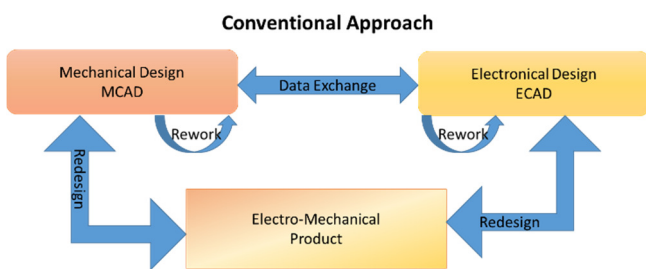


Figure 1. Conventional ECAD/MCAD design approach

MECODES replaces the conventional design approach (Figure 1) with the new collaboration approach across multi-domains for electro-mechanical products. The lower shown collaboration approach figure (Figure 2) represents the activity of the exchange of information throughout the whole planning and design process, by means of the MECODES solution. The design work of electronics and mechanics can begin simultaneously and the exchange of data and models continues within the framework of the project as long as needed.

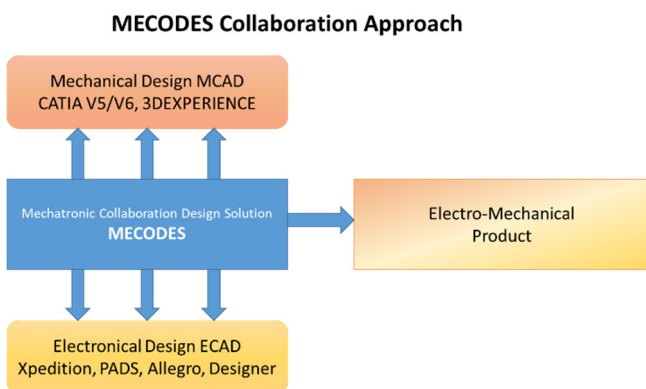


Figure 2. MECODES introduce a novel approach to ECAD/MCAD collaboration

With the introduction of the ProSTEP iViP Incremental Data Exchange (IDX) communication protocol [3], implemented in MECODES engineers are able to synchronize their data between both Mentor's and Cadence' ECAD systems PADS & Xpedition and Allegro respectively and Dassault Systemes' MCAD tools CATIA V5 and the 3DEXPERIENCE platform. The IDX communication protocol allows engineers to collaborate and communicate

efficiently along the product development process and identify design issues far easier, which in turn ensures higher quality, fewer rework and shorter time to market. The integration of the Altium Designer and CATIA V5 in MECODES is lacking the IDX communication protocol. MECODES for CATIA V5 compensates the missing functionality by simulating incremental data exchange corresponding to the IDX communication protocol. MECODES enables ECAD and MCAD engineers to collaborate, that is, to propose, preview, accept, and counter-propose their ideas from the earliest stages of PCB design all without time delay.

### 3 COLLABORATION WORKFLOW

The following steps outline (Figure 3) a typical workflow between ECAD and MCAD design tools using MECODES features for collaboration:

1. The mechanical engineer creates a shape in CATIA V5 or 3D EXPERIENCE for a PCB inside an assembly, compliant with the space limitation of the existing mechanical enclosure. Mounting holes are created, keep-ins/keep-outs are defined, and critical components retrieved from the common library of MECODES and eventually placed on the board in form of a proposal for the electrical engineers.
2. The created 'Baseline' proposal is exported to the ECAD engineer.
3. Once the Baseline is accepted by the ECAD engineer, it will be synchronized with ECAD and MCAD models. Afterwards the common synchronization point shall be stored in MECODES for further collaboration.
4. The ECAD engineer then sends the 'Response' to the MCAD engineer that the Baseline has either been accepted or rejected. If the proposal has been rejected no common synchronization point shall occur.

5. The board is further modified either by the ECAD or MCAD engineer and new proposals are sent via MECODES to the other side for additional design modifications.
6. The engineers then decide upon the proposals in the sense of accepting or rejecting them, which response is sent back to the originator. In case of multiple change proposals in one IDX transaction items may be accepted/rejected individually by the recipient engineer.
7. The process continues up to the moment when engineers are consent with the solution they have prepared and designed for production.

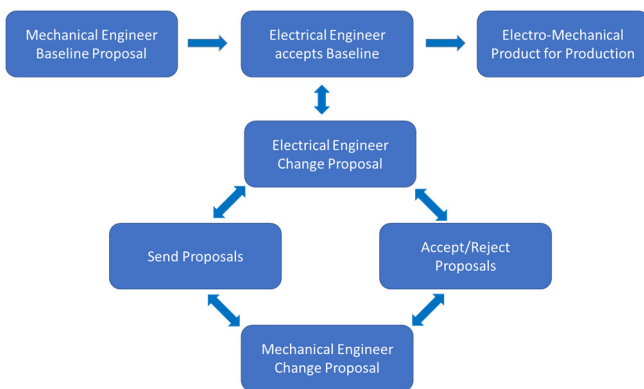


Figure 3. Information flow during the collaboration with MECODES

#### 4 COMMON DESIGN COMPONENTS

One of the central features in the MECODES collaboration environment is the common PCB library management system (Figure 4). This represents the key element in the ECAD/MCAD collaboration. MECODES links ECAD footprints and schematic symbols from ECAD authoring tools with CATIA V5/3DEXPERIENCE 3D model of electronic components.

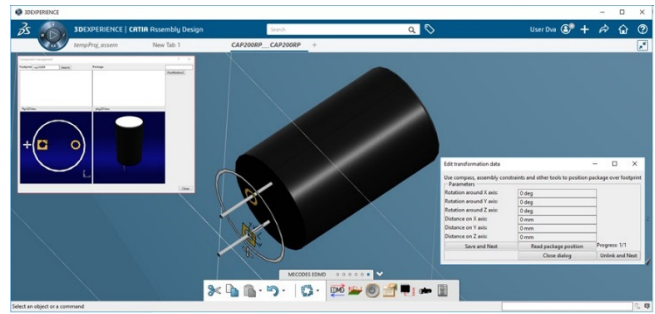


Figure 4. MECODES common library management system

The MECODES common library management system is featured by a component update for users who want to extend the library with new components or modify the existing ones. The most important feature is to update the link between the 3D component representation (MCAD) and the electrical component representation (ECAD) which includes a schematic symbol for each component. The created common library also stores the transformation matrix which controls the placement of the component in the CATIA V5 or the 3DEXPERIENCE model, consequently reducing the risk of misplacing components on the PCB.

#### 5 INVENTIVE DEVELOPMENT

In cases where physical prototypes take months to build, engineers are very careful about which design options they choose. These challenges can slow down the process of innovation and implementation of new ideas. The MECODES transaction history supports engineers to gain real insights into what will happen to the product based on their decisions (Figure 5).

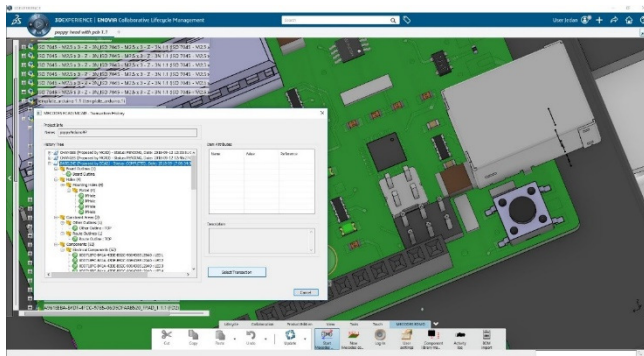


Figure 5. MECODES transaction history visualization of all actions taken within the collaboration design process

Changes in the design of an integrated electromechanical product should not happen without an active communication and collaboration across the domains of all design members involved. Essential for an effective collaboration is a shared requirement and development plan. The development plan and the related history of design changes in the models created throughout the workflow helps to reuse and restart the design project at any desired point of time. This saves costs and development time and allows to walk on new innovative development paths with no need to start from the beginning. The documented transaction history and the associated designed models also allow “what-if” analysis successfully performed to optimize the required product properties and product performance. In a collaboration environment where mistakes cost seconds and are fixed by a single mouse click, engineers can afford to take risks and be inventive. It must be pointed out, that innovative engineers may profoundly change the development of electro-mechanical products.

## 6 CHECK BEFORE BUILD

A challenging task in the preparation of real physical boards is to ensure that the PCBs fit the physical mounting constraints as well as the electrical and thermal requirements. The most important electrical and thermal requirements are checked by the simulation of real working

conditions for the produced PCBs. To do such a realistic simulation it is essential to transfer the design model and copper traces in all layers which are to be produced on the PCB.

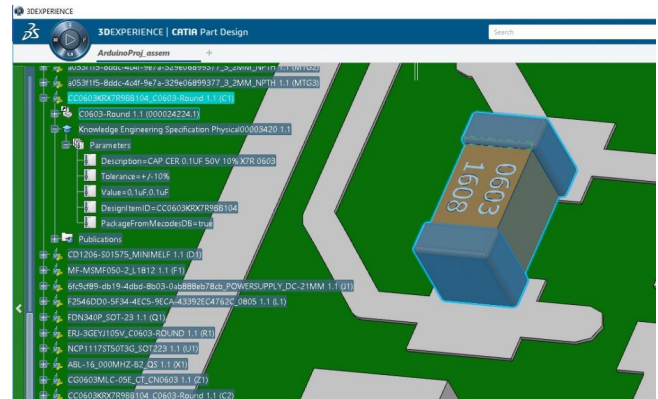


Figure 3. PCB integrated to the 3D model of product

True virtual simulation of the electro-magnetic behaviour and the thermal characteristics of the PCB relies on the full 3D component representation with the accurate placement of components, their electrical copper interconnections with related geometric dimensions and insulator material properties. MECODES allows designers to build the integrated model consisting of pre-final mechanical and electrical design results to simulate, by means of appropriate tools, the physics of the electromechanical assembly and printed circuit boards during the development phase.

### References:

- [1] MECODES (<http://www.mecodes.eu/>)
- [2] CAD/CAM Group (<https://www.cadcam-group.eu/>)
- [3] ECAD/MCAD Collaboration (<http://www.ecad-mcad.org/>)

## NAPREDNE FUNKCIJE POGONSKIH SISTEMOV

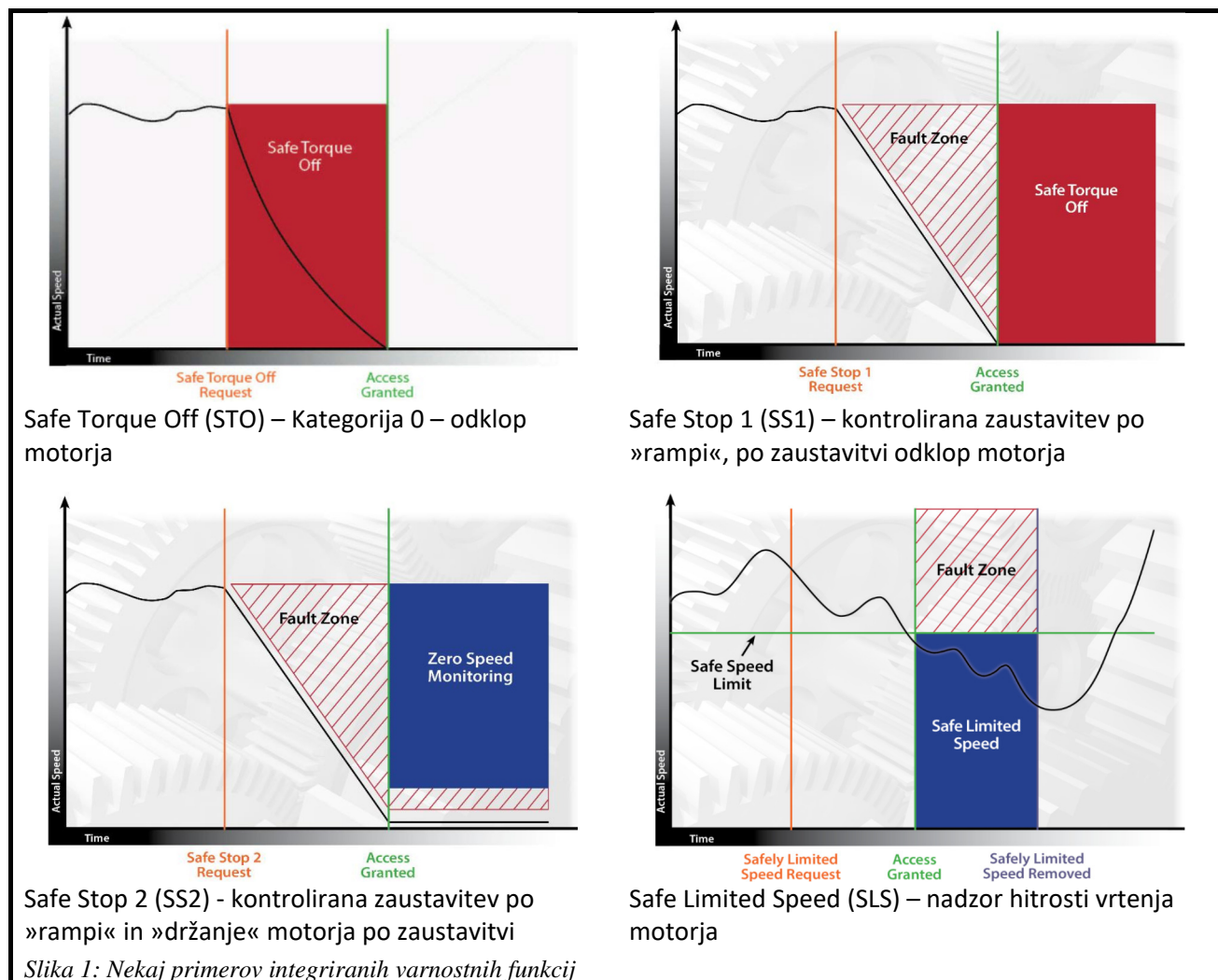
**Peter SKOPEC**  
ControlTech d.o.o.

### IZVLEČEK

Trend industrijske avtomatizacije je v zadnjem času vsekakor v povezovanju strojev v omrežja in pridobivanju diagnostičnih podatkov. Poleg tega je v industriji stalno prisotna tendenca po višji produktivnosti in energetski učinkovitosti strojev ter izboljšani varnosti strojev. V nadaljevanju predstavljam nekaj naprednih funkcij pogonskih sklopov, ki omogočajo tovrstne izboljšave.

Pri vsakodnevnem sodelovanju s strojegraditelji in končnimi uporabniki opažamo, da prevladuje miselnost, da višji nivo varnosti negativno vpliva na produktivnost stroja, vendar

raziskave na tem področju kažejo, da so vplivi ravno obratni – višji nivo varnosti in izboljšana diagnostika pozitivno vplivata na produktivnost stroja (ang. »Uptime«). Poleg tega je želja končnih



kupcev, da v primeru okvare v najkrajšem možnem času napako odpravijo in proizvodnjo ponovno zaženejo. V kolikor nam uspe poleg naštetega ustvariti še energetsko učinkovit sistem, smo na dobri poti do sodobne in učinkovite proizvodnje.

### Na kakšen način se tega lotimo?

Sodobni pogonski sklopi (frekvenčni pretvorniki, servo pogoni) z novimi tehnološkimi rešitvami omogočajo boljše izkoristke in višji nivo varnosti. Varnost strojev je v zadnjem času izredno pomembna, zato so se na tem področju zgodile bistvene izboljšave, saj poleg osnovne funkcije kot je varni odklop motorja (ang. »Safe Torque Off«) in nadzor varne hitrosti (ang. »Safe Speed«) ponujajo tudi druge napredne funkcije. Običajno so se tovrstne varnostne funkcije aktivirale z digitalnimi signali, sodobni pogoni pa z integracijo v krmilni sistem ponujajo enako funkcionalnost, le da je konfiguriranje, aktiviranje in diagnosticiranje bistveno enostavnejše in je mogoče preko standardnega industrijskega omrežja, ki je nadgrajeno z varnostnim protokolom.

Prednost nadzora varnostnih funkcij preko industrijskega omrežja je v tem, da so lahko tako imenovane varnostne cone fleksibilne in se oblikujejo s programskimi funkcijami znotraj

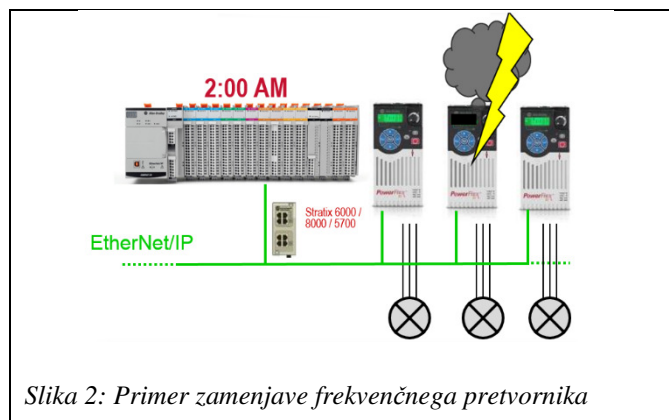
produktivnosti stroja se pogosto pokaže največji doprinos prav s funkcijo nadzora varne hitrosti, saj v primerih, kot je čiščenje transportnega traku ali umik zagozdenega predmeta z njega, ni potrebna zaustavitev celotne linije, pač pa hitrost linije le zmanjšamo na varni nivo, operaterju dovolimo dostop v nevarno cono, po izstopu iz nevarne cone pa linijo lahko takoj poženemo s polno hitrostjo. Na ta način zmanjšamo izpad proizvodnje oz. povečamo »Uptime« linije.

### Kaj pa v primeru okvare?

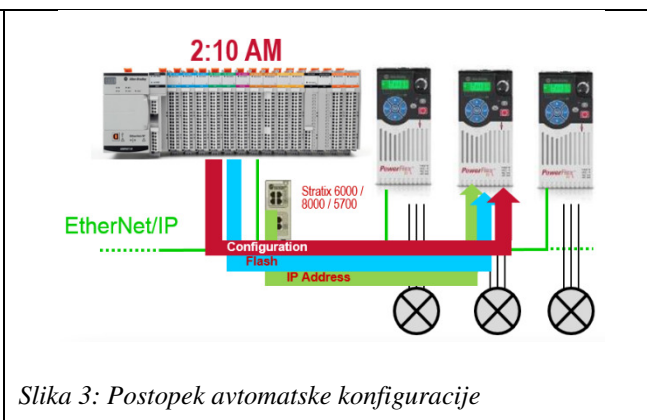
V primeru zaustavitve linije je ključnega pomena: kako hitro uspemo težavo identificirati, nadomestiti okvarjeno komponento, jo pravilno konfigurirati in stroj vrniti v stanje proizvodnje. Tudi na tem področju se pokaže bistvena prednost sodobnih pogonskih sklopov, saj integracija v krmilni sistem omogoča popolnoma avtomatsko konfiguriranje pogona, brez posredovanja operaterja.

### Kako to poteka? Poglejmo primer.

Okvarjen frekvenčni pretvornik zamenjamo z novim, ga ožičimo in priključimo v industrijsko omrežje. Upravljalno industrijsko Ethernet stikalo temu frekvenčnemu pretvorniku določi IP naslov, lahko ga seveda določi tudi operater (ročno ali s



Slika 2: Primer zamenjave frekvenčnega pretvornika



Slika 3: Postopek avtomatske konfiguracije

varnostnega krmilnika. Na ta način zaustavimo samo del stroja. Vse bolj pa se uporabljajo tudi napredne varnostne funkcije, kot na primer Varna hitrost (ang. »Safe Limited Speed«), Varna smer (ang. »Safe Direction«), Nadzor varnostne zavore (ang. »Safe Brake Control«) in podobne, ki pa za doseganje varnostnega nivoja PLe zahtevajo uporabo dodatnega dajalnika pozicije. V smislu

programsko opremo). Frekvenčni pretvornik z dodeljenim IP naslovom se takoj integrira v krmilni sistem. Krmilnik nato preveri verzijo strojne opreme in jo po potrebi prilagodi ter preveri parametre frekvenčnega pretvornika in avtomatsko naloži pravilne parametre (parametri so shranjeni v procesorju). Omenjeni postopek imenujemo »Automatic Device Configuration«

(ADC). Ta postopek bistveno skrajša čas zastoja linije, pospeši konfiguriranje in parametriranje frekvenčnega pretvornika in istočasno zagotovi, da so na frekvenčnemu pretvorniku zagotovo naloženi pravi parametri.

Na področju energetske učinkovitosti bi izpostavil predvsem pogone s t.i. aktivnim vhodnim delom (ang. »Active Front End«) in dodatnimi funkcijami za učinkovito rabo energije. Gre za znan koncept pri večjih in zmogljivejših pogonih, v zadnjem času pa se vse pogosteje uporabljajo pogoni z AFE že na področju od nekaj kW navzgor.

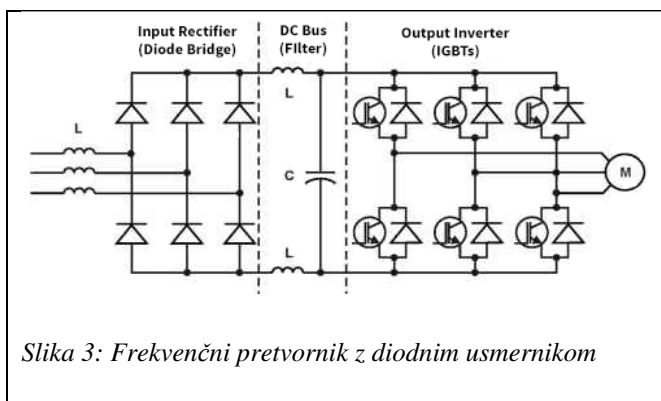
### Kakšne so prednosti pogona z aktivnim vhodnim delom (AFE)?

Običajni frekvenčni pretvorniki energijo do motorja pretvarjajo v naslednjih treh korakih: najprej usmernik pretvarja AC napetost v DC napetost, nato »banka kondenzatorjev« sprejme in zgladi DC napetost, ter shrani energijo v kondenzatorje, v tretjem koraku pa inverter (močnostni element iz šestih hitrih tranzistorjev) pretvarja enosmerno napetost nazaj v AC napetost s potrebno frekvenco in napetostjo prek pulzno-širinske modulacije (PWM).

povzroči visok nivo harmoničnih motenj, ki se prenašajo nazaj v elektroenergetski sistem, kar povzroča dodatne toplotne izgube in lahko celo povzroča nepredvidljivo obnašanje priključene opreme.

Motnje lahko nekoliko zmanjšamo z uporabo več-pulznih usmernikov (12-pulzni, 18-pulzni ali 24-pulzni), vendar to predstavlja dražjo rešitev in povzroči znatno povečanje dimenzij usmernika. Druga rešitev za zmanjševanje harmoničnih motenj je dodajanje pasivnih filtrov, ki znižajo vplive harmonskih frekvenc. Toda pasivni filtri so koristni le v omejenih pogojih, zahtevajo veliko prostora in na splošno porabijo več energije kot druge alternativne rešitve.

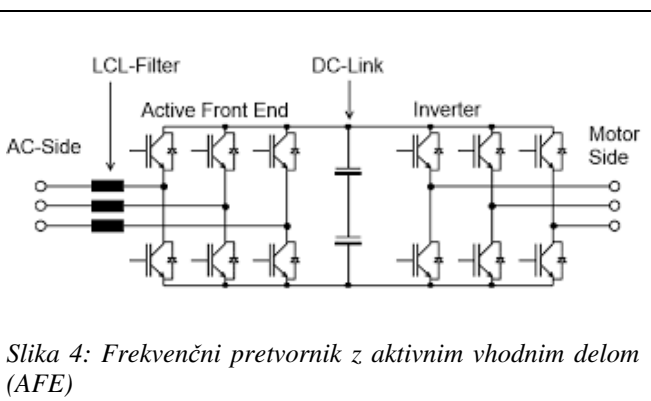
Pri aktivnem vhodnem delu se za pretvorbo vhodne AC napetosti v DC napetost namesto diod uporabijo izredno hitri izolirani tranzistorji IGBT. IGBT-ji. Tranzistorji IGBT so naprave, pri katerih je preklapljanje elektronsko krmiljeno – od tukaj tudi izraz »aktivni« sprednji del. Aktivni sprednji del spremlja obliko vhodnega toka in ga oblikuje tako, da je čim bližje sinusni obliki, kar zmanjša skupno harmonično popačenje (THD) na 5 odstotkov ali manj. Aktivni sprednji del (AFE)



Slika 3: Frekvenčni pretvornik z diodnim usmernikom

V običajnem frekvenčnem pretvorniku se AC napetost s trifaznim diodnim usmernikom pretvori v DC napetost (prikazano kot standardna 6-pulzna verzija, sestavljena iz šestih diod). Enosmerna napetost se nato zgladi in shrani v DC banki oz. banki kondenzatorjev. Inverter (izhodno močnostno vezje) jo s pulzno-širinsko modulacijo pretvarja nazaj v AC napetost z ustrežno frekvenco in napetostjo za motor.

Usmerjanje z diodami je preprosta in poceni rešitev, vendar lahko ta metoda usmerjanja

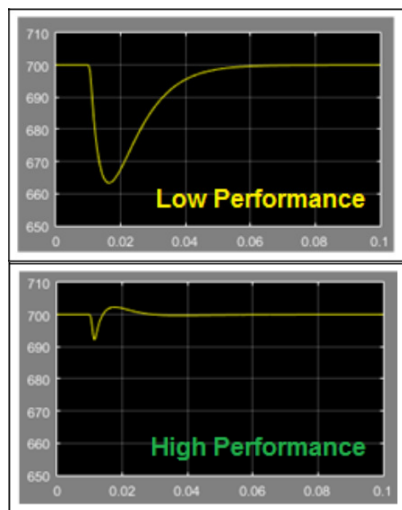


Slika 4: Frekvenčni pretvornik z aktivnim vhodnim delom (AFE)

poleg zmanjševanja harmoničnih motenj zagotavlja tudi druge prednosti, ki lahko zmanjšajo stroške za končnega uporabnika.

Pogonski sklopi AFE imajo tudi posebno funkcijo »Bus Observer«, ki omogoča dinamično spreminjanje nastavitev usmerniškega dela in na ta način zagotavlja bistveno bolj stabilen nivo DC napetosti, omili vpliv prenapetostnih konic na napajalni liniji in posledično zniža nivo motenj v omrežju.

Harmonično popačenje je tudi glavni dejavnik pri faktorju moči v aplikacijah z VFD. Faktor moči je v bistvu merilo, kako učinkovito se uporablja električna energija za opravljanje koristnega dela. Podjetja za distribucijo električne energije pogosto dodatno finančno obremenijo industrijske odjemalce, če njihov faktor moči pade pod določen prag, običajno v razponu od 0,85 do 0,95.



Slika 5: Prikaz nivoja DC napetosti brez in z omogočeno funkcijo »Bus Observer«

Pomembna prednost pogonov z AFE, morda še bolj pomembna od obvladovanja harmonskega popačenja, pa je njihova zmožnost obvladovanja regenerativne moči. Konstrukcija IGBT usmernika omogoča delovanje v vseh štirih kvadrantih. To pomeni, da lahko motor proizvaja bodisi pozitivni bodisi negativni navor (ki se pojavi pri zaviranju). V primeru aktivnega zaviranja ali obvladovanju visečih bremen motor deluje kot generator in moč, ki jo proizvaja motor, se lahko vrne nazaj v električno omrežje. To odpravlja potrebo po velikih zaviralnih uporih, ki odvečno energijo pretvorijo v toploto. Energetska učinkovitost sistema (predvsem večje moči, pogosto zaviranje) se z uporabo pogonskih sistemov AFE bistveno izboljša in z izboljšanim faktorjem moči zmanjša obratovalne stroške.

### Kaj pa preventivno vzdrževanje?

Vedno, ko se pojavi okvara in pride do zaustavitve stroja je ključnega pomena čim hitreje prepoznati vzrok zaustavitve ter stroj ponovno spraviti v delovanje. Bistveno bolje pa je, če lahko potencialno obrabo spremljamo in smo predhodno

obveščeni o tem, da se življenjska doba določenim komponentam izteka.

Na voljo so nam posebne funkcije, ki nam sporočajo preostalo življenjsko dobo določenih komponent, ter nas pravočasno opomnijo, da bo potrebno planirati zamenjavo določenih komponent.

Tako imenovana »prediktivna« diagnostika je na voljo za naslednje sklope:



- Ventilatorji/hladilni elementi
- Izhodni močnostni elementi (IGBT)
- DC bus kondenzatorji
- Kondenzatorji vhodnega LCL filtra
- Odklopnik
- Izhodni relejski kontakti
- Ležaji motorja

Poleg tega je na voljo diagnostika zaščitnih elementov (varovalke in prenapetostna zaščita) ter termične obremenitve regulatorja (ang. »Thermal Manager«).

Izziv sodobne strojegradske je izbira optimalnih komponent ter z njimi zagotoviti varnost stroja, dovolj diagnostičnih podatkov, omogočiti preventivno oz. prediktivno diagnostiko, daljinski dostop in vzdrževanje ter končnemu kupcu ponuditi stroj z visoko produktivnostjo in energetske učinkovitostjo.

Viri:

[1][https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/pflex-wp001\\_-en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/pflex-wp001_-en-p.pdf)

[2]<https://www.motioncontroltips.com/what-are-the-benefits-of-an-active-front-end-afe-drive/>

## OPTIMIZACIJA PROCESA TLAČNEGA LITJA

Cosimo RAONE<sup>1</sup>, Flavio CHECCETTO<sup>1</sup>, Peter Grubelnik<sup>2</sup>, Milan KAMBIČ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MotulTech Baraldi

<sup>2</sup>Olma d.o.o.

### IZVLEČEK

Sistem totalne termične vizije (TTV) je sistem za snemanje termičnih slik površine orodja z infrardečo kamero med samim procesom tlačnega litja. Temperatura površine orodja je ena najpomembnejših spremenljivk pri tlačnem litju lahkih zlitin. Zato je treba natančno nadzorovati temperaturo orodja in izboljšati pršenje maziva, da dosežemo optimalno temperaturo.

Zasnova sistema TTV je omogočila pridobitev podatkov o procesu tlačnega litja in presega tradicionalno in dobro znano uporabo infrardeče termografije, izvedene izključno med zagonom postopka tlačnega litja ali med omejenimi fazami optimizacije procesa. Integracija merjenja temperature površine orodja omogoča možnost toplotne prilagoditve procesa tlačnega litja, optimizacijo nanašanja ločilnega sredstva, strateško fazo za izboljšanje kakovosti odlitkov in podaljšanje uporabne dobe orodja.

Poleg prednosti sistema za izboljšanje procesov nam TTV potrjuje in na znanstven in objektivni način potrdi končni pogoj postopka litja in ga doda v zgodovino posameznega izdelka, tako da imamo za vsak odlitek na voljo njegovo "termično sliko". To je izrednega pomena za sledljivost procesa še zlasti v avtomobilski industriji.

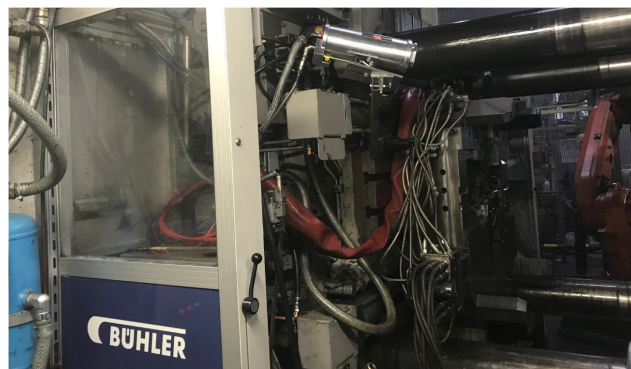
### 1 TTV™-TOTALNA TERMIČNA VIZIJA

TTV je infrardeči termografski sistem za detekcijo, ki je posebej izdelan in uporabljen za tlačno litje. Cilj natančnega merjenja temperature površine orodja med delovnim ciklom z uporabo infrardeče kamere (slika 1) pri vsakem izdelku je postavil izziv pri izdelavi naprave, ki je preprosta in zanesljiva, še posebej v težkih pogojih delovne celice stroja za tlačno litje v grobem okolju livarne.



Slika 1: TTV kamera

Interakcija sistema z avtomatizacijo stroja za tlačno litje je sestavljena iz nekaj signalov: enega ali več digitalnih signalov za sprožitev posnetka kamere in opsijskih povratnih informacij za upravljanje izmeta odlitka ali celo za ustavitev stroja (slika 2). To je dejanska moč sistema, ki skupaj z učinkovito zaščito za kamero omogoča izdelavo pravega industrijskega proizvoda, primerne tudi za livarno, ne le za laboratorijske teste.

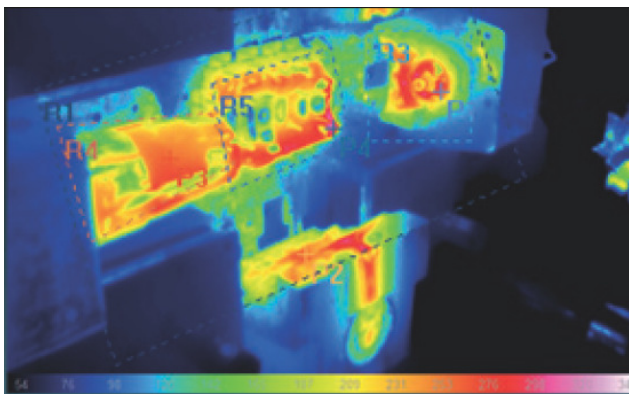


Slika 2: Uporaba sistema TTV na stroju za tlačno litje.

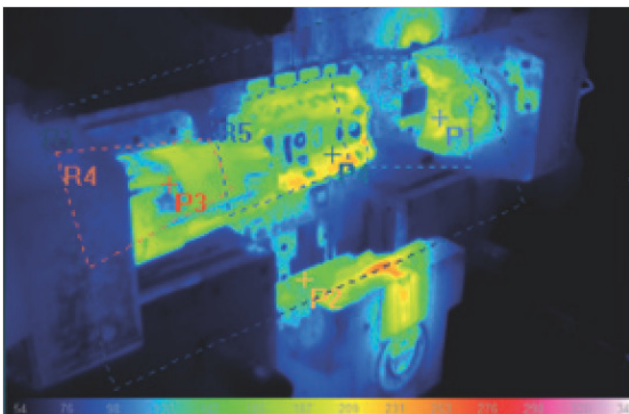
Zaščitno ohišje in pnevmatski sistem, ki ščiti kamero pred vročino, hlapi, kovinskimi pljuski in drugimi neugodnimi vplivi, sta bila že preizkušena s serijo več milijonov ciklov, da bi zagotovili zanesljiv sistem v realnem procesu [1].

## 2 ENOSTAVNOST IN MOČ ANALIZE TERMOGRAFSKIH POSNETKOV

Programska oprema za zajem termičnih slik je tako enostavna kot tudi zmožljiva. Zelo uporabna je pri praktični uporabi, saj omogoča kontrolo temperature površine orodja, omogoča pregledovanje IR-slik v realnem času ter njihovo shranjevanje, kar omogoča tudi kasnejšo analizo ter pridobivanje trendov temperatur za vsako področje, ki nas zanima (ROI=Range Of Interest), pred (slika 3) in po pršenju maziva (slika 4).



Slika 3: Termična slika pred pršenjem maziva



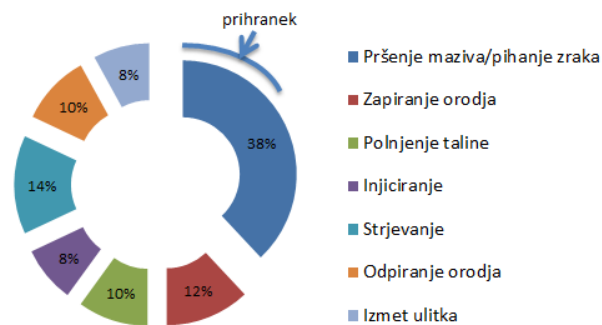
Slika 4: Termična slika po pršenju maziva

Izkazalo se je, da je ta dvojna informacija ("termična slika" tako pred pršenjem maziva kot po pršenju na orodje) bistvena za poznavanje in izboljšanje procesa:

- Meritev temperature površine orodja pred pršenjem maziva je potrebna za morebitno določitev mest, s katerih ni treba odvajati toplote.
- Meritev temperature po pršenju maziva je potrebna za vpogled v to, ali je bila toplota učinkovito odstranjena za doseg pravilnega termičnega ravnotežja.

Pravzaprav TTV ne zahteva posebnega znanja o teoriji, ampak intuitivno olajša prepoznavanja kritičnih točk temperature površine orodja in s preprostimi ukrepi omogoča določitev tolerančnih meja za ROI ali točke "toplotnega interesa".

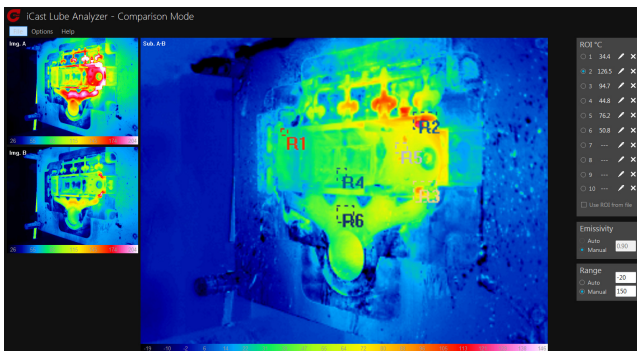
Eden glavnih ciljev in učinkovit rezultat je skrajšanje časa pršenja/hlajenja. Pravzaprav je ta čas (pogosto tudi najdaljši v celotnem ciklu) edini del procesa, kjer je možno doseči pomembne rezultate glede skrajšanja časa cikla. Primer časovne porazdelitve cikla na stroju za tlačno litje prikazuje slika 5.



Slika 5: Porazdelitev časa cikla na stroju za tlačno litje

Čas mazanja in obnašanje maziva sta odvisna od temperature in obratno, zato moramo delovati v dveh smereh, da optimiziramo proces in izboljšamo produktivnost-analiza temperatur in faza mazanja.

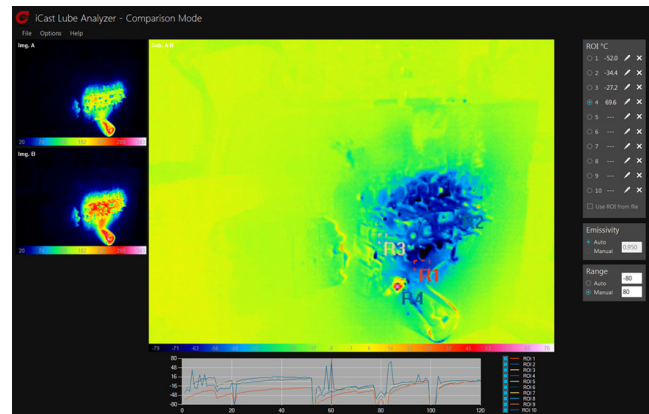
Pridobljene termične slike lahko posredujemo v naknadno analizo s posebej razvito programsko opremo za osebne računalnike »iCast Lube Analyzer™«, ki omogoča zaporedno predvajanje zaporedja tisočev slik v obliki filma, z indikacijo razvoja temperatur v vsakem ROI. Program »iCastLube Analyzer™« je bil razvit z namenom olajšanja in pospešenja analize. Omogoča tudi »odštevanje termičnih slik« z namenom določitve temperaturne razlike  $\Delta T$  v vsaki točki slike (pred/po mazanju) ali  $\Delta T$  (dejanska porazdelitev temperatur v primerjavi z referenčno sliko). Razlike temperatur  $\Delta T$  pred/po mazanju za vsako posamezno točko lahko prikazemo na hiter in intuitiven način kot eno celovito sliko, podobno kot je prikazana na sliki 6. Iz takšne slike je takoj razvidno, kateri ROI so hladnejši ali bolj vroči, kot je treba in za koliko, kar tehnologom omogoča izvedbo potrebnih akcij za optimizacijo temperaturne porazdelitve.



Slika 6: Odštevanje slik ali  $\Delta T$  pred/po mazanju za vsako posamezno točko orodja

Sistem TTV nam omogoča tudi pridobitev zaporedja takšnih »odštevanj slik«, pri čemer vsako sliko lahko primerjamo z referenčno sliko, ki predstavlja idealno porazdelitev temperatur. Na ta način je možno spremljati spreminjanje temperature procesa od cikla do cikla za vsako ROI v obliki  $\Delta T$ . Ta razvoj razlike temperatur  $\Delta T$  prav tako lahko prikazemo kot trend za vsak ROI.

Predstavitev statističnih diagramov vrednosti temperatur je orodje, ki optimalno prikazuje stopnjo stabilnosti procesa in poudari nepravilnosti in neučinkovitosti, kot je primer na sliki 7.



Slika 7: Odštevanje slik ali  $\Delta T$  dejanske in referenčne temperature za vsako točko

Zelo lahko ustvarimo tudi arhiv predhodnih podatkov o temperaturah orodja v posameznih ROI in zgradimo popolno bazo podatkov glede termičnega obnašanja procesa.

### 3 PRIMER UGOTAVLJANJA NAPAK Z UPORABO SPECIALNIH ANALIZ

Skoraj vsi vzroki napak in izmeta so lahko povezani s porazdelitvijo temperature. Poleg temperature ima velik vpliv na kvaliteto ulitka tudi mazanje orodja. Statistična razdelitev napak pri tlačnem litju aluminijevih zlitin je prikazana na sliki 8.



Slika 8: Statistična razdelitev napak pri tlačnem litju aluminijevih zlitin

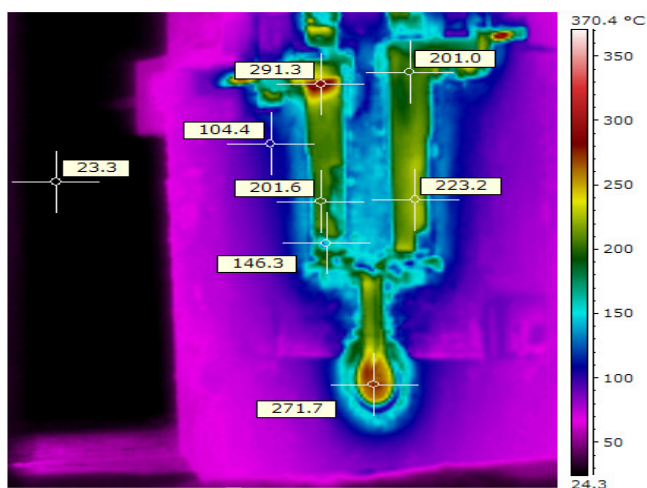
Mazanje vpliva na temperaturo orodja in obratno, temperatura orodja vpliva na obnašanje maziva. Ta dva zelo povezana parametra zahtevata njuno nadzorovanje, da lahko optimiziramo kvaliteto ulitkov in procesa.

Primer uporabe sistema TTV za odkrivanje napak je opisan v nadaljevanju.

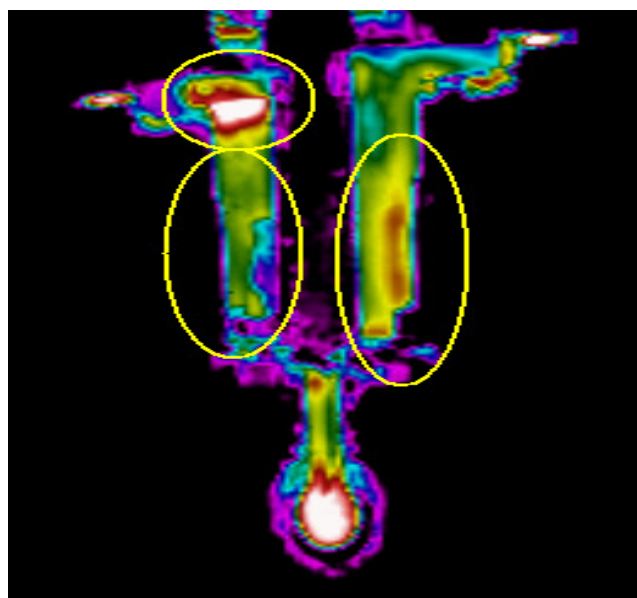
V livarni so vzorčili ulitke, proizvedene z nedavno oblikovanim in izdelanim orodjem. Odločili so se, da bodo nov ulitek poleg običajnega načina dodatno potrdili še s pomočjo on-line termografskega testiranja tako, da bodo to testiranje izvajali nekaj dni. Ugotovili so naslednje:

- Z običajnim načinom vzorčenja so potrdili primernost orodja in kvaliteto ulitka in so odobrili začetek proizvodnje.
- V začetnem, kratkem obdobju proizvodnje, ko so uporabljali sistem TTV, pa so ugotovili vrsto težav, s katerimi se je bilo treba soočiti in jih ustrezno rešiti.

Slika 9 prikazuje porazdelitev temperatur po ulitku, kjer vidimo zelo neenakomerno porazdelitev temperatur, slika 10 pa termično sliko tega ulitka, kjer so z elipsami označene kritične točke.



Slika 9: Temperaturna porazdelitev po ulitku



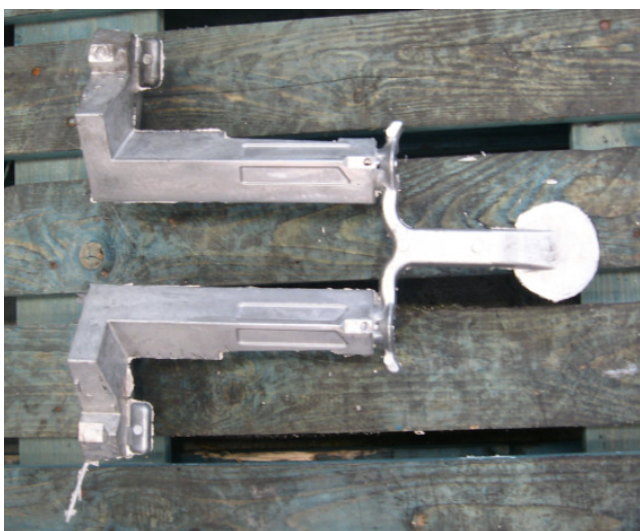
Slika 10: IR slika z označenimi kritičnimi točkami

### 3.1 Težave s pokanjem izdelka

Termografska analiza je nakazala področja nenormalne koncentracije toplote v posameznih področjih ulitka (slika 10). Naknadna testiranja so pokazala pogosto pokanje izdelka. Tudi podaljšanje cikla mazanja/pihanja zraka ni zadovoljivo rešilo težave. Podrobno preiskovanje termoregulacijskih kanalov v orodju pa je pokazalo, da kritično območje ni bilo dovolj hlajeno. Za dokončno rešitev težave je bila potrebna načrtna sprememba velikosti termoregulacijskih kanalov.

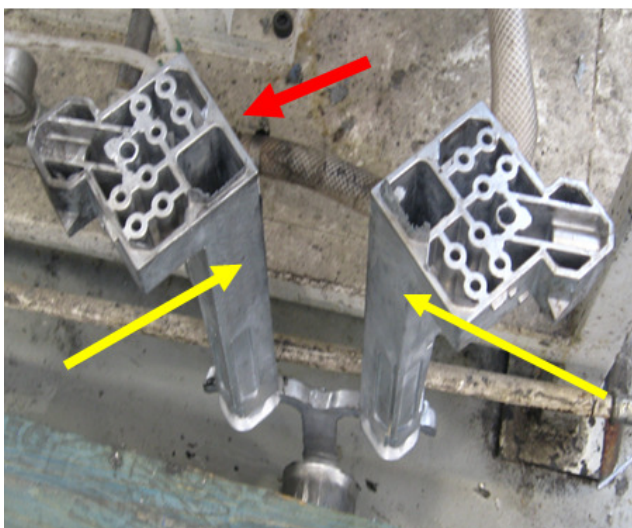
### 3.2 Težava pri toplotni porazdelitvi

Področji orodja, ki ju obdajata dva dela ulitka, sta se najprej simetrično pršili z enako hitrostjo/tlakom. Ulitek je prikazan na sliki 11 in sliki 12, kjer so označena tudi kritična mesta. Termografska analiza in še posebej termično odštevanje slik pa sta privedla do drugačne orientacije pršilnih šob, tako da je bila večina šob usmerjena v eno od obeh področij.



Slika 11: Asimetrična orientacija osi obeh delov ulitka

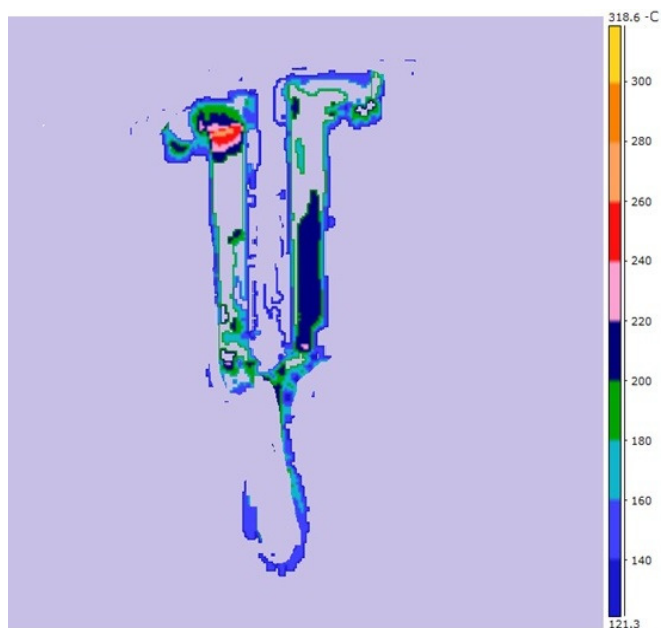
Različna prostorska usmerjenost obeh delov je dejansko povzročila kopičenje toplote na enem od obeh področij, zato je bilo treba uvesti različno mazanje obeh področij. Na ta način se je mazalni cikel skrajšal za 1,5 sekunde, predvsem pa je bilo doseženo zadovoljivo toplotno ravnovesje.



Slika 12: Točka akumulacije toplote v zgornjem delu

### 3.3 Odštevanje termičnih slik

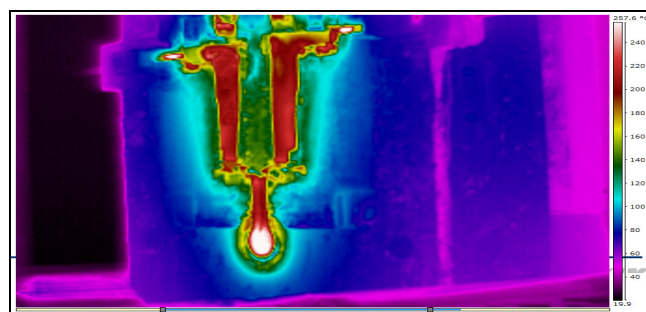
Naknadna analiza z odštevanjem termičnih slik pred in po mazanju je omogočila, da so se pokazale najbolj kritične točke ulitka (slika 13). Te točke so dejansko pokazale, na katerih mestih je treba opraviti korekcije procesa tlačnega litja.



Slika 13: Rezultirajoča slika po izvedbi algoritma odštevanja termičnih slik.

### 3.4 Končni rezultat

Meritve po spremembi termoregulacijskih kanalov in po optimizaciji pršenja maziva na kritičnih delih so potrdile, da je bilo doseženo optimalno termično ravnovesje in porazdelitev toplote (slika 14).



Slika 14: Termična slika po opravljenih optimizacijah procesa

Poleg tega je bilo doseženo tudi pomembno skrajšanje cikla za 1,5 sekunde od prejšnjih 27 sekund, kar predstavlja 5,5 %.

## 4 SKLEP

Termična analiza z infrardečim nadzorom temperature površine orodja med samim procesom je močno orodje pri tlačnem litju kovin. Večletne raziskave s totalno termično vizijo so prinesle globlje razumevanje termičnega odziva orodja pri tlačnem litju v odvisnosti od postopka mazanja. Poleg tega so privedle tudi do razvoja palete namensko razvitih ločilnih sredstev za različne pogoje in kvalitetne zahteve odlitkov.

Paleta «Casting TTV Line™» zajema širok nabor ločilnih sredstev za optimizacijo procesa. Optimizacija postopka tlačnega litja sledi načelu idealnega ravnotežja med vrsto, količino in koncentracijo ločilnega sredstva in pogoji uporabe.

Viri:

- [1] C. Raone, C. Cecchetto, »On Process« thermographic monitoring for traceability and process optimization, Proceedings – 57th International Foundry Conference, 2017, Portorož, Slovenia, 2017.

## SINERGIJE DIGITALIZIRANEGA UPRAVLJANJA PROIZVODNJE IN KAKOVOSTI V PRAKSI

**Klemen LISEC<sup>1</sup>, Jochen KINAUER<sup>2</sup>, Dušan BOŽIČ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Inden d.o.o., Cesta v Mestni log 88a, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup>camLine GmbH, Industriering 4a, 85238 München, Germany

### IZVLEČEK

*Cilj vsake proizvodnje je zagotavljanje učinkovitosti in doseganje visoke kakovosti procesa. Da to dosežemo, je potrebno razumevanje ustreznih procesov, nadzor in vodenje procesnih oken, zagotavljanje stabilnosti procesov, nenehno doseganje zahtevane kakovosti izdelkov, doseganje proizvodnje brez napak in takojšnje zaznavanje in odpravljanje anomalij. Zbiranje in vrednotenje primernih podatkov ter nadzor nad učinkovitostjo opreme so danes izzivi avtomatizacije. Upravljanje proizvodne kakovosti in dokumentiranje izboljšav v proizvodnem procesu je cilj metodologije analize napak in njihovih posledic (FMEA). V članku bomo predstavili možnost integracije izboljšav procesa, ki smo jih dosegli z metodo analize napak in njihovih posledic v sistemu za zagotavljanje kakovosti (CAQ), in integracijo ter dokumentiranje izboljšanih metodologij proizvodnje v sistemu za upravljanje proizvodnje (MES).*

### 1 UVOD

Cilj vsake proizvodnje je zagotavljanje učinkovitosti in doseganje visoke kakovosti procesa. Če so to še nedolgo nazaj bili cilji tovarn z višjo dodano vrednostjo (polprevodniška industrija), se proizvodna učinkovitost seli tudi na ne kompleksno proizvodnjo preprostih končnih izdelkov, kot npr. dobavitelji sestavnih delov in polizdelkov, v našem primeru proizvajalec kovinskih palic in izdelkov iz kovinskih palic. Doseganje višje kakovosti in učinkovitosti smo v sklopu projekta dosegli z implementacijo dveh informacijskih sistemov, sistem za nadzor in upravljanje proizvodnje MES (angl. Manufacturing Execution System) ter sistemom za računalniško zagotavljanje kakovosti CAQ (angl. Computer Aided Quality).

### 2 OBSTOJEČE STANJE

Projekt digitalizacije proizvodnje in kakovosti smo izvedli pri proizvajalcu in dobavitelju žice, varjene žične mreže in palic (armaturne mreže in palice), palic, cevi, pločevine iz jekla in nerjavečega jekla za podjetja avtomobilske industrije, industrije bele tehnike, gradbeništva in ostalih sektorjev.

Motivacija za zagotavljanje višje učinkovitosti in kakovosti tako procesa kot izdelkov izhaja iz naslova povečanega obsega naročil in pomanjkanja proizvodnih kapacitet za uspešno zagotavljanje kakovostne storitve in pravočasne dobave izdelkov in polizdelkov. Naročnik se je soočal z iskanjem rezerv znotraj svojih proizvodnih kapacitet in dvigom produktivnosti z obstoječo opremo in delovno silo. Prisotno je bilo zavedanje, da je za dvig produktivnosti na želeni nivo in identifikacijo neizkoriščenih notranjih kapacitet potrebno razumevanje proizvodnih izgub v celotnem procesu transformacije materiala do končnega izdelka.

Stanje v podjetju pred začetkom projekta je bilo na ravni papirnega poslovanja, zamudnega ročnega poročanja o izkoriščenosti in izmenskem delu, ter decentralizirano množico podatkov, ki so se zajemali ločeno po opremah in kontrolnih mestih v podatkovne baze brez medsebojne povezave kot to prikazuje Slika 1. Pred implementacijo sistema za zagotavljanje kakovosti CAQ se je baza internih napak in njihovih posledic, preventivnih ukrepov in ukrepov za detekcijo vodila ročno in nesistematično v preglednicah ter se ni dosledno upoštevala v celotni proizvodnji. Uporabljala se je le za kupce iz avtomobilske industrije.



Slika 1: Začetno stanje v proizvodnji

Opremo, zajeto v projektu, sestavljajo štiri CNC žage za kovino KASTO Speed (v procesu dobave sta še dve žagi KASTO, ki bosta ob dobavi prav tako vključeni v MES sistem), štiri AMADA žage, dve CNC tračni žagi KASTO, za stranki Volkswagen in Metaldyne pa je potrebna posebna obdelava, za kar se uporabljajo trije specialni posnemalni stroji. Dimenzije končnih produktov so premera od 10 mm do 520 mm in dolžine 5 mm do 3000 mm, proizvodnja pa poteka v treh izmenah. Za potrebe kupcev iz avtomobilske industrije so določeni procesi redno podvrženo procesni presoji VDA 6.3, prav tako pa ima naročnik vpeljan sistem vodenja in nenehnega izboljševanja ISO 9001:2015.

## 2.1 Zahteve naročnika

Projektne zahteve izhajajo iz obstoječega stanja v proizvodnji, ki je terjalo optimalnejši izkoristek proizvodnih kapacitet. V tesnem sodelovanju z naročnikom in pregledu stanja smo identificirali naslednje zahteve:

- Pregled proizvodnje in vizualizacija proizvodnje ter stanj opreme v realnem času
- Vpeljava kazalnika OEE (angl. Overall Equipment Effectiveness oz. skupna učinkovitost opreme)
- Digitalizacija papirnih delovnih nalogov
- Digitalizacija navodil za delo operaterjev
- Uvedba alarmiranja za zastoje in vzdrževalna dela
- Zagotavljanje sledljivosti izdelka (kombinacija produkta, operaterja,

procesa, potrošnega materiala in parametrov opreme)

- Povezava baze napak iz metodologije analize napak in njenih posledic (FMEA) ter preventivnih ukrepov (ki se vnašajo v sistem CAQ) z MES sistemom za zagotavljanje povratne kontrolne zanke

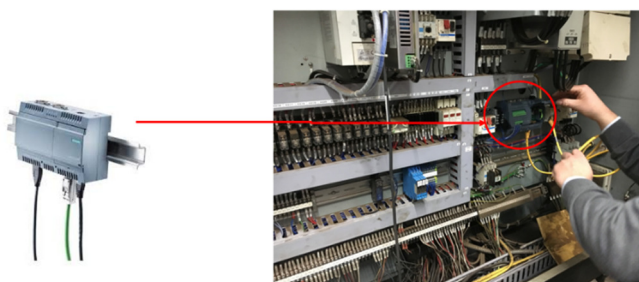
## 3 I FAZA: NADZOR PROIZVODNJE

Implementacija MES sistema za nadzor proizvodnje je zelo kompleksen proces in vključuje večje število deležnikov iz različnih oddelkov podjetja. Tako smo se lotili projekta implementacije MES sistema v tesnem sodelovanju z več oddelki.

- Ekipo oddelka vodenja proizvodnje je zanimala učinkovitost linije, izkoristek, status opreme, izdelki v teku in delo operaterjev. Operaterji morajo imeti jasna navodila za delo skozi celotno izmeno in navodila za pomoč in nejasnosti (prikaz navodil na terminalih).
- Z vzdrževalno ekipo, ki se osredotoča na vzdrževalna dela in spremljanje ter načrtovanje teh del, statuse opreme in različne tipe alarmov opreme v proizvodnji.
- S tehnologi in procesnimi inženirji, ki se ukvarjajo s procesno stabilnostjo, sledljivostjo končnih produktov (oziroma šarže), spremljanjem proizvodnih parametrov in zaznavanjem trendov. Iščejo tudi vzročne napake v proizvodnji in na konkretnem stroju, ko se pojavijo reklamacije s strani kupcev.
- S poslovodstvom pa smo definirali višje nivojske učinke implementacije, kar v praksi pomeni boljšo izkoriščenost obstoječih virov, identifikacija in odprava ozkih grl, izmeta s primernimi protiukrepi. Definirali smo poročila za pregled stanja v realnem času ter vpeljavo kazalnikov kot je OEE, kar ima neposredne, merljive učinke na poslovanje podjetja.

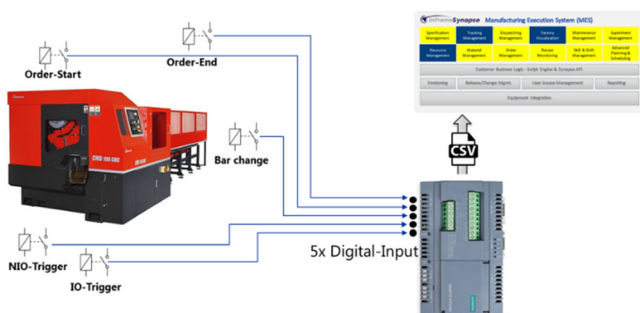
## 2.2 Integracija opreme

V opremi, zajeti v projektu, so bili na voljo želeni podatki, ni pa bilo vzpostavljenih vmesnikov za integracijo opreme z zalednim proizvodnim informacijskim sistemom (MES). Za povezavo smo uporabili IoT (angl. Internet of Things) napravo Siemens Simatic IOT2020, ki smo jo namestili na krmilje opreme v proizvodnji, kot to prikazuje Slika 2.



Slika 2: Siemens 2020 IoT naprava

Naprava Siemens IOT2020 ima 5 digitalnih vhodov, ki smo jih definirali kot: dober kos, slab kos, začetek izdelave delovnega naloga, konec izdelave delovnega naloga in menjava materiala (kovinske palice), kot to predstavlja Slika 3, ki prikazuje blokovni diagram procesa. Siemens IOT2020 pretvori digitalni signal v CSV datoteko (angl. Comma Separated File), ki je primeren podatkovni zapis za branje s strani MES sistema.



Slika 3: Blokovni diagram digitalnih signalov

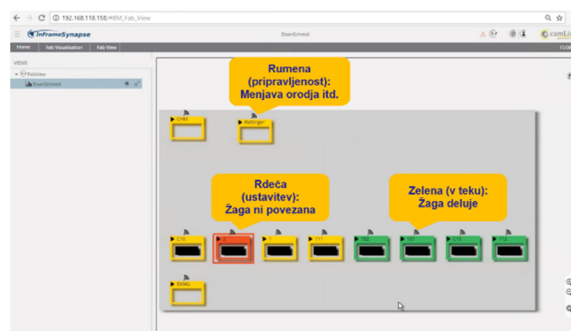
## 2.3 Rezultati implementacije faze I

MES sistem je dostopen preko spletnega vmesnika (ang. thin client).

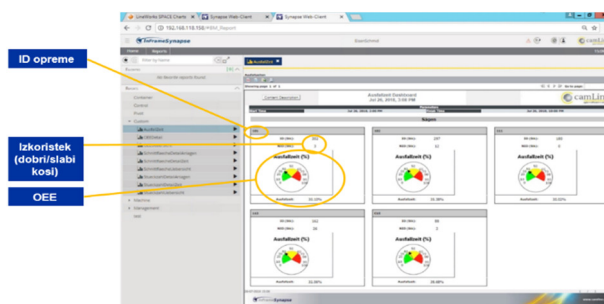
Rezultat implementacije MES sistema je večja količina proizvedenih izdelkov brez dodatnih zaposlitev in dodajanja nove strojne opreme, višji izkoristek materiala (odstotek dobrih kosov se je povečal), višja izkoriščenost opreme, boljši

pregled stanja v proizvodnji in alarmov ter večja odzivnost tehničnega osebja v proizvodnji. Sledljivost se je zagotovilo s pomočjo identifikatorjev, ki smo jih dodelili na šaržo, opremo in operaterja.

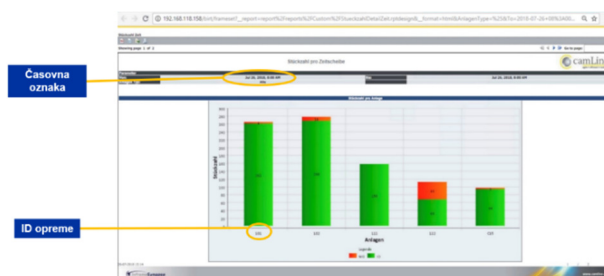
Spodaj je predstavljenih nekaj primerov poročil iz MES sistema, ki smo jih implementirali (Slika 4 do Slika 7).



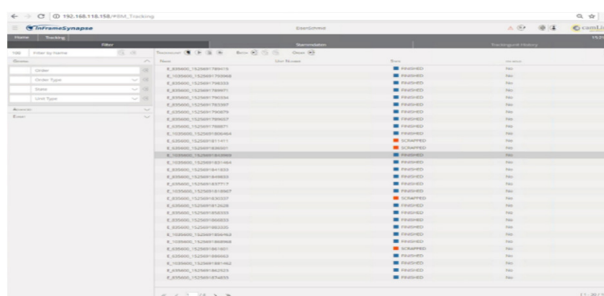
Slika 4: Vizualizacija stanj v proizvodnji liniji



Slika 5: Dobri in slabi kosi ter OEE po posamezni opremi



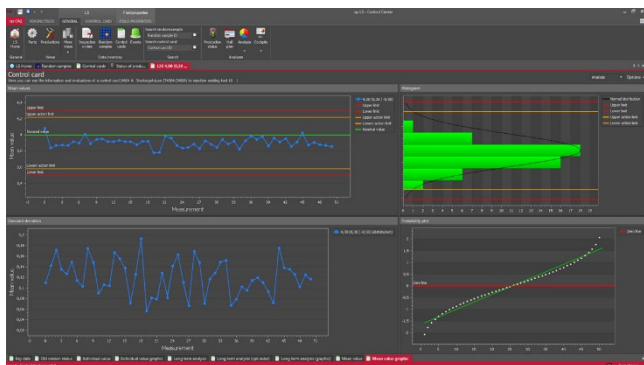
Slika 6: Poročilo dobrih in slabih kosov



Slika 7: Sledenje delovnih nalogov

## 4 II FAZA: UPRAVLJANJE KAKOVOSTI

V drugi fazi digitalizacije proizvodnje smo nadgradili že obstoječi sistem za upravljanje kakovosti iqs CAQ in ga povezali s sistemom InFrame Synapse MES. Naročnik je do implementacije projekta za nadzor proizvodnje rešitev CAQ uporabljal za statistični nadzor procesov SPC (angl. Statistical Process Control), predvsem za stranke iz avtomobilske industrije, katerih izdelki oziroma procesi so podvrženi procesni presoji VDA 6.3. Kontrolo izdelkov z metodo SPC iz sistema CAQ smo morali povezati s sistemom MES za proizvodne podatke in primerno izvajanje kontrol. Slika 8 prikazuje SPC analizo v orodju CAQ.



Slika 8: Statistični nadzor procesa v orodju CAQ

Cilj druge faze projekta je predstavljal vzpostaviti povezavo med identifikatorji, ki služijo za sledljivost v MES sistemu in merilnimi podatki merilne opreme, prav tako pa izvesti integracijo MES sistema in metode FMEA v sistemu CAQ za neposredno zagotavljanje uporabe podatkov v planiranju kontrol ter implementaciji preventivnih ukrepov, ki izhajajo iz metode FMEA neposredno v proizvodnjo. Na ta način se kontrolna zanka zapre, proces pa nenehno izboljšuje.

## 5 SINERGIJE V PRAKSI

Z integracijo podatkov sistema MES in sistema CAQ smo dosegli, da so SPC kontrole izvedene v predpisanih intervalih vzorčenja glede na dejanske proizvodne čase opreme v proizvodnji, ki smo jih zbrali v MES sistemu. Operater ne more nadaljevati dela, dokler ne izvede predpisane kontrole, prav tako pa ne more izvajati kontrol, ki še niso v teku (npr. zaradi okvare opreme ali

zastoja na proizvodni liniji). S povezavo smo dosegli tudi sledljivost meritev, saj se vsaka izvedena meritev zabeleži v sistemu CAQ.

S kakovostjo povezanimi podatki iz MES sistema je mogoče pripraviti analize in kontrole, ki so validirane za strankine izdelke, skupine izdelkov, operacije, dobavitelje, standarde in procese. Uporaba metode FMEA v kontekstu MES sistema pomeni uporabo zajetih podatkov za nadaljnjo procesiranje v kontrolnih postopkih z jasno osredotočenostjo, katere karakteristike bodo kontrolirane v proizvodnji ter s kakšno frekvenco [1].

## 6 SKLEP

Integracija sistemov v proizvodnih podjetjih je ključ do poenotene, medsebojno povezane informacijske infrastrukture. Poleg proizvodnih in kakovostnih komponent MES in CAQ sistema je za uspešno integracijo v informacijsko infrastrukturo podjetja potrebna tudi integracija z ERP (angl. Enterprise Resource Planning) sistemom, APS (angl. Advanced Planning and Scheduling) sistemom in nižje nivojskimi sistemi kot je SCADA (angl. Supervisory Control and Data Acquisition). V sklopu digitalizacije proizvodnje je potrebno integrirati tudi senzoriko ter krmilno opremo na nivoju proizvodne linije.

Obvladovati informacijski tok znotraj vse bolj kompleksne informacijske infrastrukture in ostati fleksibilen, zmožen hitrih odločitev ter prilagoditev tako na nivoju posameznih oddelkov kot tudi podjetja že danes predstavlja izziv in hkrati konkurenčno prednost. S projektom implementacije sistema MES in integracije s sistemom CAQ smo dosegli cilj povečanja transparentnosti proizvodnje in sistematizacije postopkov za zagotavljanje kakovosti, kar je imelo neposredne učinke na poslovanje in konkurenčnost podjetja, s tem pa so bili doseženi cilji, ki smo si jih zastavili pred začetkom projekta.

Viri:

- [1] Kletti, Jürgen.: *Manufacturing Execution System - MES*, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

## ODLIČNOST UPRAVLJANJA PROCESOV – DIGITALNA TRANSFORMACIJA (PRIMERI V PRAKSI)

**Robert OREHEK**

Tom PIT d.o.o.

### IZVLEČEK

*Vsi se trudimo, vzpenjamo in strmimo k optimalnim upravljanjem procesov po vsej vertikali podjetja. Za to so potrebna investiranja v različne segmente v podjetju, bodisi na procesnem ali proizvodnem področju. Kakšen pa sploh je potencialni doprinos digitalne transformacije k upravljanju procesov znotraj podjetij v industriji?*

*V današnjih časih je vsaka investicija pogojena s povratkom investicije, dodano vrednostjo in nenazadnje z doseganjem minimalnega stroška proizvoda, ki jo bo le-ta doprinesla podjetju. Brez tega investicij ni in tudi digitalne transformacije ne. Učinkovito upravljanje procesov nam lahko omogoči zmanjšati trenutne stroške na sam minimum ali pa ponuditi storitev/proizvod, ki ima večjo oziroma novo dodano vrednost na trgu. S tem pa posledično dosegamo večjo konkurenčnost in boljše poslovne rezultate.*

*Če je bil nekoč izdelan poslovni model za podjetje lahko v uporabi 20 let, se po letu 2000 ta perioda hitro zmanjšuje. Z nekaj redkimi izjemami lahko ugotovimo, da morajo industrijska podjetja vsaki dve leti prenoviti ali dopolniti svoj poslovni model v kolikor želijo ostati konkurenčni na trgu. Po vsej verjetnosti imajo še več dela tisti, ki želijo ostati na samem vrhu.*

*Kaj pa je potrebno storiti za dober povratek investicije? Na kakšen način ugotoviti kje si lahko pomagamo z digitalno transformacijo? Kdaj in kje z digitalno transformacijo sploh začeti? Kaj vse je potrebno za dobro upravljanje procesov v vašem podjetju? Uporabim standardna orodja, kot večina in ostanem povprečen, kot večina? Sledim dobrim praksam in ostanem vedno korak za njimi? Počasi si bomo morali naročiti kozarec čistega vina in si priznati, da moramo stopiti izven okvirjev. Inovativni procesi, potrebujejo inovativno podporo za izvajanje.*

*Pridružite se mi in pogledjmo skupaj na dveh primerih, kako so se nekateri najboljši v Sloveniji lotili tega.*



**Vizija**  
**Odličnost**  
**upravljanja**  
**procesov**

## Glavni stebri transformacije

**01** Tehnologija (infrastruktura)

**02** Vitki procesi (procesna analitika)

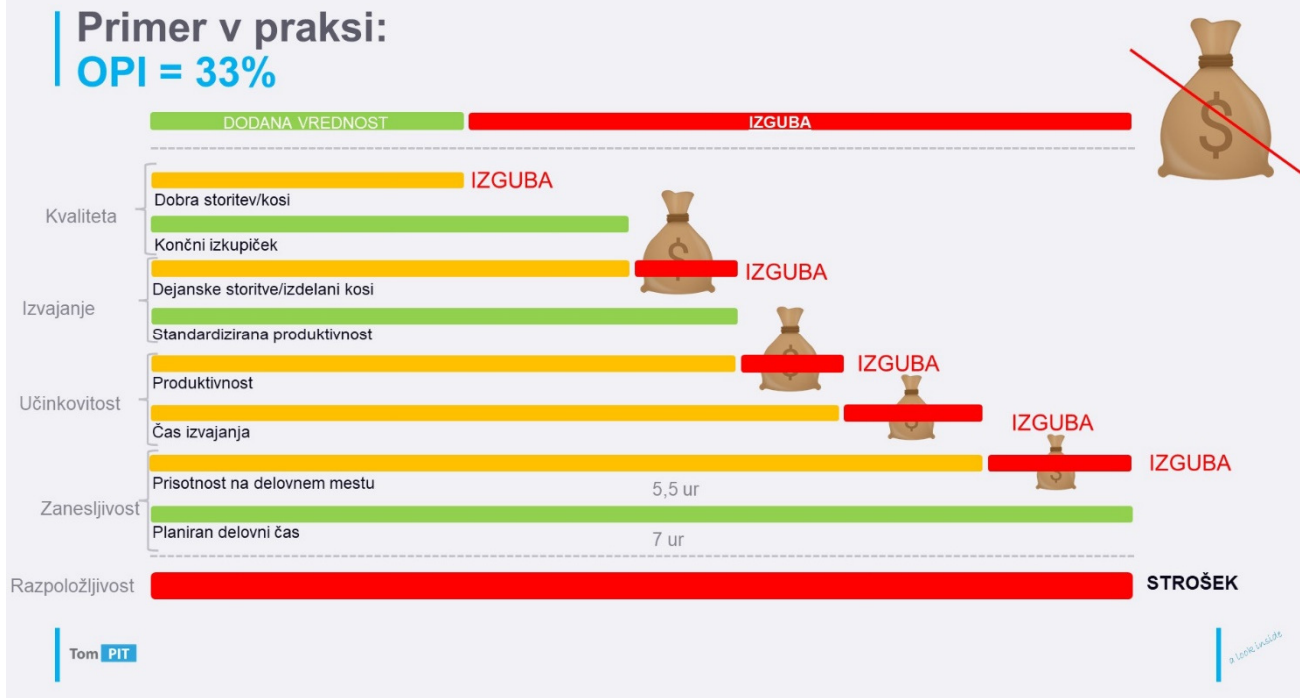
**03** Rešitve (strokovnjaki)

**04** Vzdrževanje/podpora (svetovalci)

Tom PIT

© 2019 TomPIT

## Primer v praksi: OPI = 33%



Tom PIT

© 2019 TomPIT

## Upravljanje z energenti

Elektrika | Para | Topla voda | Plin

Pred

**Strošek 108.000,00€ /  
mesec**

10.000 tel. klicev  
10.000  
vzdrževalnih  
posegov

Potem

20.000,00€ / mesec

- 250 zaposlenih manj
- 24/7 dosegljivost storitev
- Možnost samoupravljanja
- Spremljanje navad in obnašanje strank

Proizvodnja  
in distribucija  
energentov

Tom PIT

9. Ljudje. Učinkoviti.

## ROI infographics

65% učinkovitost  
+ 4% planiranje  
+ 4% SFM  
+ 1% kvaliteta  
+ 4% pred. analitika  
= 78% učinkovosti

Tom PIT

9. Ljudje. Učinkoviti.

## Proizvodna firma

Primer:  
450 zaposlenih, 470.000 proizvodov na leto., 42M€ letnih prihodkov, brez sistema za upravljanje proizvodnje  
Izziv: boljša kontrola proizvodnega procesa, večja kvaliteta, manjši strošek proizvoda

Skupna investicija 300.000,00 €, ocena prihranka **4.131.000,00 €** v prvih treh letih, ROI je ocenjen na **6 mesecov**.

### Proizvodni proces

Prihranek prva 3 leta: **1.483.000,00 €**

Elektronski delovni nalogi/dokumentacija, mikro-planiranje proizvodnje, QA, krajše šolanje delovne sile

### Učinkovitost

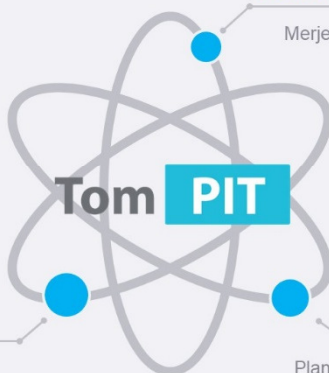
Prihranek prva 3 leta: **2.448.000,00 €**

Merjenje učinkovitosti - SFM, S.M.E.D., Value Stream Mapping, Real-time KPIs

### Vzdrževanje

Prihranek prva 3 leta: **200.000,00 €**

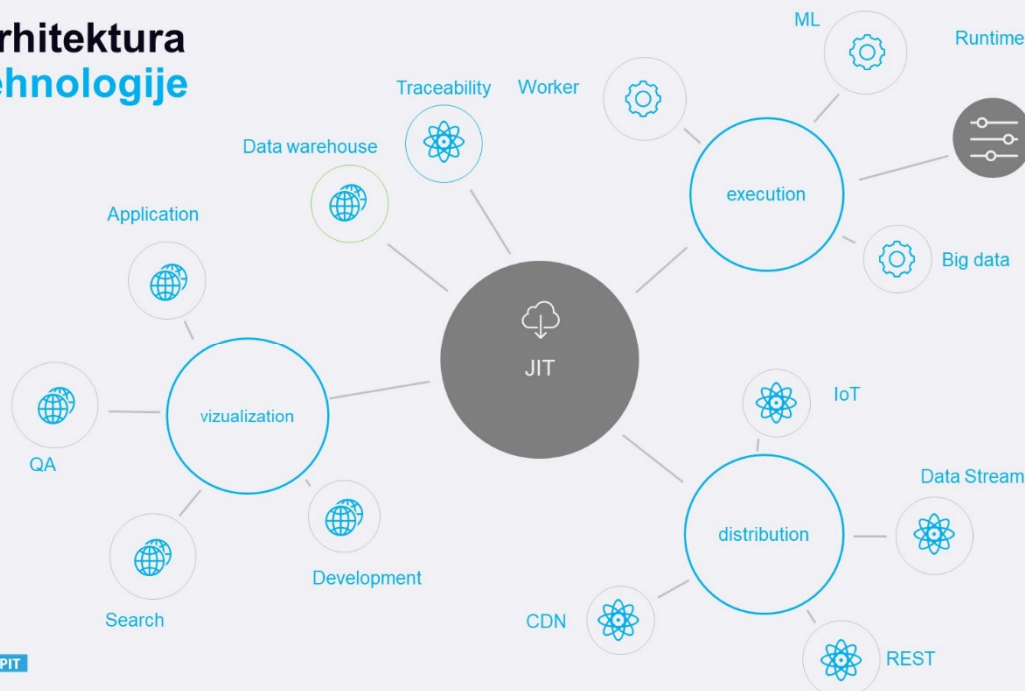
Planiranje virov, upravljanje s stroji, opremo, orodjem, zmanjševanje kurativnih posegov



Tom PIT

© Lektor Visalab

## Arhitektura tehnologije



Tom PIT

© Lektor Visalab

## FIELD - PROGRAMSKA OPREMA ZA UPRAVLJANJE PAMETNIH TOVARN

**Franc ŽABERL**  
FANUC ADRIA d.o.o.

### IZVLEČEK

*FIELD je programska oprema, izdelana v skladu z načeli "Industrije 4.0", in je namenjena za zbiranje in analizo podatkov s posameznih komponent, strojev, proizvodnih linij ali celotnih tovarn. FANUC nudi strojno opremo in osnovno strukturo programske opreme. Ker je sistem popolnoma odprt, lahko uporabniki ali neodvisni ponudniki izdelujejo lastne aplikacije povsem po meri in zahtevah uporabnika.*



**FIELD**

**FANUC**

Zajemanje in analiza podatkov so osnova digitalnih tovarn. V ta namen je FANUC izdelal programski sistem FIELD (Fanuc Intelligent Edge Link & Drive system), ki je baziran na internetu stvari (IoT, Internet of Things).

Sistem omogoča zbiranje informacij od različnih komponent (CNC stroji, roboti, PLC krmilniki, senzorji...). Podatki se ne shranjujejo in ne obdelujejo v oblaku, temveč neposredno pri uporabniku. Ta koncept je definiran kot EDGE HEAVY. To omogoča tako večjo varnost, kot tudi večjo hitrost in odzivnost sistema. Hitrost delovanja bo še posebej pomembna v prihodnje, ker se količina podatkov eksponentialno povečuje.

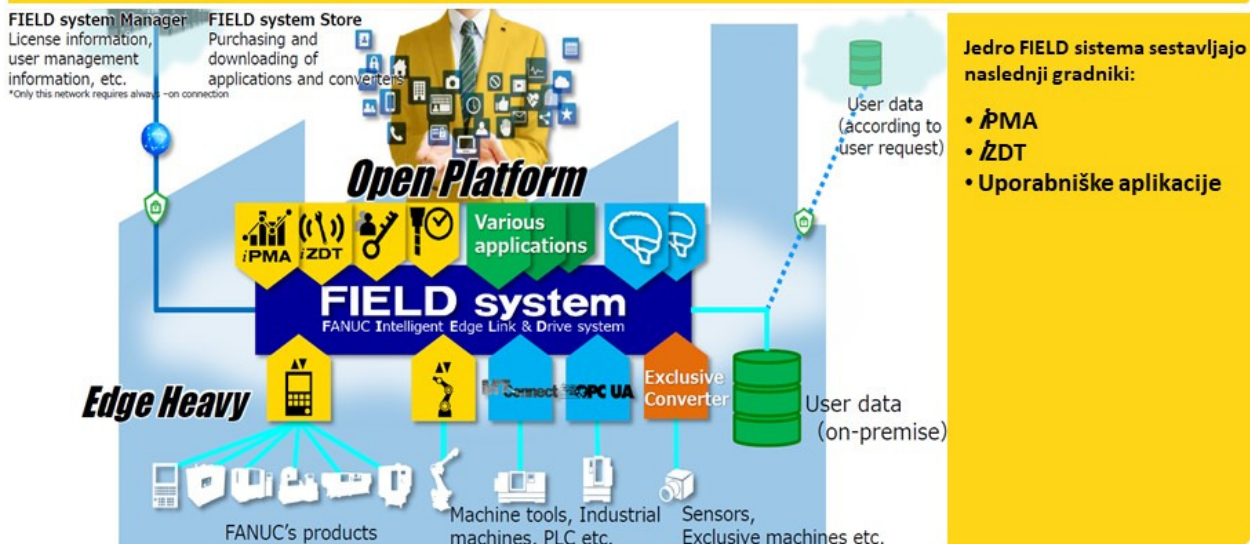
V osnovni konfiguraciji, ki jo zagotavlja FANUC, je poskrbljeno za:

- Nadzor dostopa
- Zbiranje podatkov
- Zagon in zaustavitev FIELD aplikacij
- Varnostno kopijo podatkov
- Monitoring



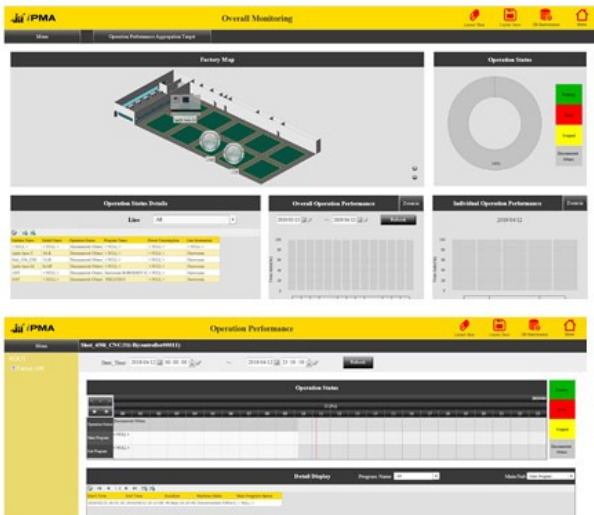
**FIELD**

**FANUC**



**IPMA**

**FANUC**



IPMA je platforma, ki omogoča zbiranje in analizo podatkov strojev in naprav v proizvodnji v realnem času. S statistično obdelavo podatkov lahko analiziramo vzroke za zastoje ter ozka grla v proizvodnji in simuliramo različne scenarije obratovalnih parametrov. Podatke je mogoče prikazovati za posamezen stroj, ali jih grupirati po posameznih proizvodnih linijah oz. celotnih tovarnah.

Možna je komunikacija s FANUC komponentami (CNC krmilniki, roboti...), kot s komponentami drugih proizvajalcev (PLC krmilniki Siemens, Alan Bradley, roboti ABB, Kuka, Yaskawa,...). Senzorji in PLC-ji se priključujejo na omrežje preko OPC UA protokola.

**IZDT**

**FANUC**



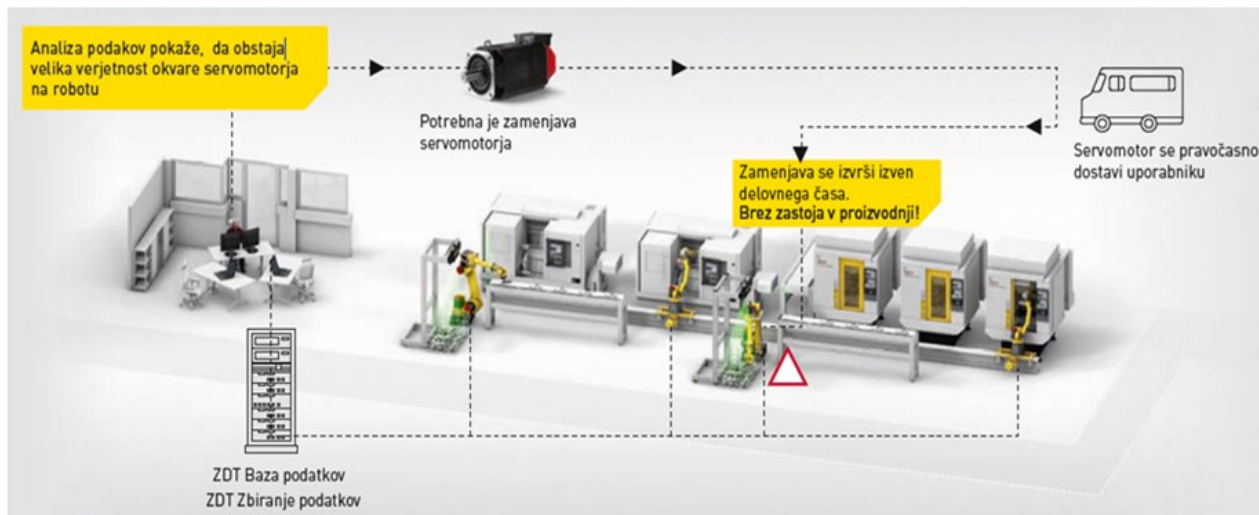
IZDT je platforma, ki omogoča zbiranje in analizo parametrov industrijskih robotov FANUC in CNC strojev s FANUC krmilniki z namenom zmanjšati oz. popolnoma odpraviti nepredvidene zastoje v proizvodnji.

ZDT nenehno spremlja tako splošne parametre (zagon, zaustavitev, alarmno stanje, zasedenost pomnilnika,...), kot najgloblje parametre delovanja (obremenitve in parametri servomotorjev, reduktorjev, dajalcev impulzov, senzorjev,...).

S pomočjo zbranih podatkov predlaga eventuelne ukrepe, tako glede načina obratovanja, kot glede servisiranja. Servisni posegi se torej ne načrtujejo terminsko, temveč na osnovi obratovalnih pogojev. Servisni posegi so izvedeni vedno ob pravem času - ne prezgodaj, ne prepozno.

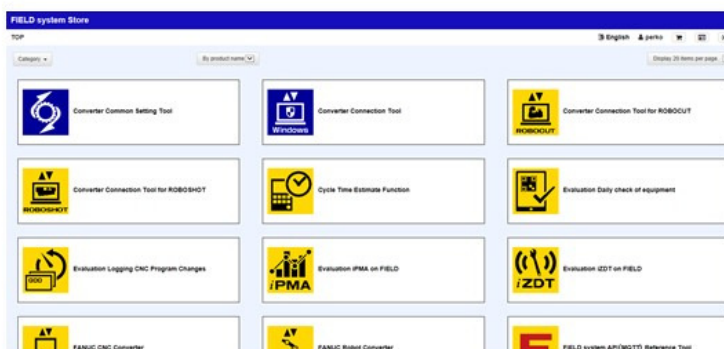
**iZDT**

**FANUC**



## Uporabniške aplikacije

**FANUC**



Programska platforma je odprta in omogoča uporabnikom in neodvisnim razvijalcem programske opreme izdelavo lastnih aplikacij, konverterjev ter programskih rešitev, ki uporabljajo principe umetne inteligence. V primeru, da je aplikacija zanimiva za ostale uporabnike, jo bo mogoče tržiti podobno v FIELD System Store, ki deluje podobno kot Apple Store ali Google Apps.

## »POKA-YOKE« - AVTOMATIZACIJA IN INFORMATIZACIJA ROČNIH MONTAŽNIH PROCESOV V PROIZVODNJI

**Tim VRBANČIČ, Janez TANCEK**  
INEA RBT, d.o.o.

### IZVLEČEK

*Pri ročnih montažnih procesih delavec običajno sestavlja končni produkt iz večih sestavnih delov. Različni dejavniki, tudi človeški, so razlog za napake pri sestavljanju. Veliko število sestavnih delov, monotonost samega sestavljanja in drugi dejavniki so lahko razlog zato, da se nek sestavni del pozabi vgraditi, ali pa se ga zamenja z njemu podobnim zaradi vizualne podobnosti. Take napake vodijo do neustreznih in nefunkcionalnih produktov, česar pa si niti proizvajalec niti končni uporabnik ne želita. Japonski pojem, ki govori o preprečevanju napak, se imenuje »Poka-Yoke« [5]. Tak koncept je mogoče vpeljati tudi v ročno montažno proizvodnjo – v temu članku bo predstavljena rešitev, ki temelji na terminalih Anywire za usmerjanje delavca in sekvenčnem vodenju ročne montaže s pomočjo krmilnikov Mitsubishi Electric. Terminali delavca usmerjajo po korakih ročne montaže s pomočjo različnih funkcij (prižiganje LED lučke, prikaz števila sestavnih delov, odpiranje vratc pred zabojem s sestavnimi deli, ...), sposobni pa so tudi prepoznati delavčeva dejanja (poseg v zaboj s sestavnimi deli) tekom ročne montaže. Iz PLK nivoja je mogoče rešitev nadalje informatizirati z integracijo v ERP in MES nivo podjetja. Taka avtomatizacija in informatizacija ročne montaže lahko vodi do proizvodnje z nič napakami, na dolgi rok pa do višje produktivnosti, večje kvalitete izdelkov ter finančnih prihrankov.*

### 1 UVOD

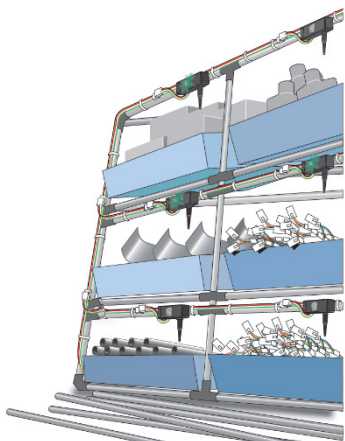
V okviru proizvodnje in ročnih montažnih procesov so možni mnogi vzroki za končno neuporabnost nekega produkta. Lahko gre za neustreznost materiala, napake v samem načrtovanju produkta, neustrezni izdelavi sestavnih kosov (npr. odlivanju delov) ter za napake v procesu sestavljanja. Nekatere napake so človeške narave, spet druge je mogoče pripisati pomanjkljivostim materiala ali pa neustreznemu delovanju strojev v okviru proizvodnje sestavnih delov. Vzroki napak se lahko odkrijejo na različnih stopnjah delovnega procesa, kar pa ima za podjetje lahko različne učinke v obliki neustreznih (pol)proizvodov, finančnih izgub, reklamacij izdelkov in podobno. Najmanj željene so reklamacije izdelkov in njihovi vpoklici, saj je s tem povezana potencialna izguba ugleda podjetja. Smisel in vodilo vsakega proizvodnjega procesa je tveganje za napake znižati na minimalno možno raven.

Človeške napake se v okviru sestavljalnega procesa dogajajo zaradi različnih dejavnikov. Vzrok je lahko zahtevnost kosovnice produkta oziroma podobnost sestavnih delov, morda

monotonost delovnega mesta ali celo pritisk v obliki zahtevane proizvedene količine v nekem časovnem obdobju. Večja kot je pojavnost možnih dejavnikov, večja je možnost za človeško napako pri sestavljanju. Že omenjeni pojem »Poka-Yoke« govori o preverjanju napak [4]. »Yokeru« pomeni izogniti se, »Poka« pomeni nenamerna napaka [4]. Koncept »Poka-Yoke« temelji na omejevanju števila možnih nepravilnih možnosti, ter rezultira v manj (oziroma nič) napakah uporabnika [5].

V temu članku bo predstavljena rešitev vodenega montažnega procesa z namenom minimiziranja in izločanja možnih napak. Proizvajalec opreme za avtomatizacijo Mitsubishi Electric skupaj s proizvajalcem Anywire nudi rešitev, ki v procesu ročnega sestavljanja preprečuje človeške napake v fazi izbire in montaže sestavnih delov. Rešitev temelji na PLK krmiljenju Mitsubishi Electric, ter terminalih in ožičenju ASLink proizvajalca Anywire. Terminali operaterja na sestavljalnem mestu v proizvodnji vodijo skozi proces sestavljanja nekega produkta. Logiko krmiljenja sestavljalnega procesa oziroma delovanja terminalov odreja PLK krmilnik, ki v konfiguraciji terminalov deluje kot »Master«. Za implementacijo opisane rešitve mora delovno

mesto sestavljalca biti »definirano« kot več celic (zabojev) v katerih so naloženi sestavni deli, zaboji pa morajo biti zloženi v ustrezno konstrukcijo (glej sliko 1). Terminali so s pomočjo objemk ali vijakov nameščeni na konstrukcijo.



Slika 1: Prikaz ureditve zabojev s sestavnimi deli v mrežasto konstrukcijo.

Terminali proizvajalca Anywire obstajajo v večih različicah, ter so zmožni dveh glavnih funkcionalnosti. V osnovi terminali delavca vodijo skozi proces sestavljanja s prižiganjem LED lučke, odpiranjem vratc ter prikazovanjem številke in barve [3]. Druga funkcionalnost terminalov je zaznavanje delavčevega posega (z roko) v zaboj s sestavnimi deli bodisi s prekinitvijo fotoelektričnega (optičnega) senzorja, s pritiskom na gumb ali z dotikom vzvoda [3].

## 2 PROBLEMATIKA

Delavec je pri sestavljanju proizvoda soočen s sledečimi pogoji in dejavniki. Pri sestavljanju produkta mora slediti navodilom, slediti kosovnici, sestavne kose iskati in jih sestavljati. Pri temu se lahko srečuje s kosi, ki se med seboj le malenkostno razlikujejo (po obliki, velikosti, barvi in ostalih lastnostih), s potrebo po šteju kosov in s potrebo po preverjanju preostale količine kosov za sestavljanje (preverjanje zaloge za nemoten sestavljalni proces) [2]. Poleg spleta naštetih dejavnikov se tekom nekega časovnega intervala v vsakem procesu, kjer se pojavlja ponovljivost operacij, delavec srečuje tudi z monotonostjo procesa. Omeniti je potrebno še potrebo po uvajanju in učenju (novega) delavca v sestavljalni proces, kar je že bolj vidik funkcije upravljanja s

človeškimi viri podjetja. Za osvojitve spretnosti in izkušenj je potreben čas [2]. Poleg fluktuacije (začasnih) proizvodnih delavcev je potrebno omeniti tudi uvajanje novih produktov in njihovih različic v proizvodni proces [2]. Naštete dejavnike je potrebno upoštevati pri optimiziranju ročnih montažnih procesov v proizvodnjah.

Rešitev, ki temelji na terminalih za usmerjanje delavca, je uporabna v primeru »zahtevne« kosovnice in kompleksnega končnega produkta. Z rešitvijo, ki delavca usmerja pri sestavljanju, je mogoče tveganje za napake minimizirati oziroma celo izločiti. Delavec ne potrebuje več navodil za sestavo, dejavnik številnih med seboj podobnih kosov ne pride več do izraza, čas sestavljanja se skrajša, kvaliteta izdelkov pa se poveča [2]. V nadaljevanju je opisano, kako je mogoče rešitev PLK vodenega sestavljanja vključiti na delovno mesto za ročno sestavljanje.

## 3 UPORABA REŠITVE PLK VODENJA ROČNEGA SESTAVLJANJA

Na delovnem mestu delavec iz zabojev s sestavnimi deli po vnaprej določenem zaporedju jemlje sestavne dele in jih sestavlja v končni produkt. Tveganje pri temu procesu je, da delavec pogreši pri izbiri sestavnega kosa (na primer, da sestavni del, ki je na vrsti za vgradnjo, pomotoma izpusti, da vzame na pogled podobnega, ali pa, da iz zaboja ne vzame zadostnega števila sestavnih delov za vgradnjo). Pri opisani rešitvi lahko terminali s pomočjo LED diode signalizirajo zaboj s sestavnim delom, ki je na vrsti za vgradnjo v končni produkt. Druga možnost je uporaba terminala, ki signalizira število kosov, ki jih mora delavec vzeti iz zaboja s sestavnimi deli (v primeru, da mora vgraditi večje število istega sestavnega dela). Naslednja možnost so terminali z loputkami, ki se odpirajo po vnaprej določenemu vrstnemu redu. Našteti terminali so lahko dopolnjeni z električnim vijačnikom, »Vision« kamero za ugotavljanje kvalitete izdelka ali pa čitalnikom črtne kode [2]. Terminali za vodenje procesa nimajo le funkcije vodenja delavca k naslednjemu sestavnemu delu za vgradnjo, ampak tudi funkcijo prepoznavanja posegov delavca v zaboj. Slednja funkcionalnost je nujno potrebna za sosleden proces montaže. Drug primer uporabnosti rešitve vodene ročne izbire sestavnih delov je

denimo priprava (različnih) sestavnih delov iz zabojev na trak/pladenj za nadaljno posluževanje na proizvodnji liniji.

Rešitev vodenega procesa montaže je mogoče uporabiti tudi v primeru polnjenja celic/zabojev s sestavnimi deli in je po »smeri« uporabe ravno obraten od zgoraj omenjenega primera uporabe [1]. V temu primeru terminali s prikazovanjem naslednjega zaboja delavca usmerjajo k ustreznemu zaporedju polnjenja zabojev s sestavnimi deli. Na ta način je mogoče izločiti možne napake v procesu polnjenja zalog sestavnih delov.

#### **4 TERMINALI ZA VODENJE PROCESA SESTAVLJANJA, NJIHOVO DELOVANJE IN KRMILJENJE PROCESA**

Rešitev vodenega procesa ročne montaže lahko delimo v dva dela. Prvi del obsegajo terminali za vodenje operaterja in njihovo ožičenje proizvajalca Anywire. Drugi del obsega PLK krmiljenje sekvenčnega procesa ročne montaže, in je izvedeno s PLK krmilniki proizvajalca Mitsubishi Electric.

Terminali za vodenje procesa sestavljanja omogočajo dve funkcionalnosti – funkcijo prepoznavanja delavčevega giba in funkcijo usmerjanja delavca k naslednjemu koraku v procesu ročne montaže. Terminal ima vedno obe funkcionalnosti, saj v prvem koraku delavcu prikaže sestavni del, ki je na vrsti za vgradnjo, v drugem koraku pa prepozna delavčev poseg v zaboj s sestavnim delom. Slednje za sekvenčno logiko procesa pomeni, da je delavec korak v procesu montaže dejansko izvedel, ter da je lahko prikazan naslednji sestavni del za vgradnjo.

Funkcionalnost prepoznavanja delavčevega posega v zaboj je mogoče doseči s terminali s pritisknim gumbom, z vzvodnim stikalom in terminali, ki vsebujejo fotoelektrični (optični) senzor [3]. Našteti terminali prepoznajo pritisk na gumb, dotik na stikalni vzvod in poseg delavca v neko območje (delavec sproži prekinitvev fotoelektričnega senzorja), ko delavec vzame sestavni del iz zaboja. S prepoznavo posega delavca v zaboj sistem sklepa, da je delavec iz zaboja sestavni del vzel.

Druga funkcionalnost terminalov vodi delavca k naslednjemu sestavnemu delu za vgradnjo.

Najbolj osnoven terminal za indikacijo naslednjega kosa za vgradnjo je terminal z LED lučko. Bolj napreden terminal (s funkcijo indikacije naslednjega sestavnega dela) z LED lučko omogoča prikazovanje različnih barv. Tretja različica terminala za vodenje delavca obsega terminale z vratci, ki se odpro pred zabojem s sestavnimi deli, ki so na vrsti za vgradnjo. Zadnja različica so terminali, ki imajo vgrajen 7-segmentni prikazovalnik, ki je zmožen prikazovati številke [3]. Slednji prikazuje koliko kosov (npr. matic) je potrebno v nekem koraku vzeti iz zaboja in jih vgraditi.

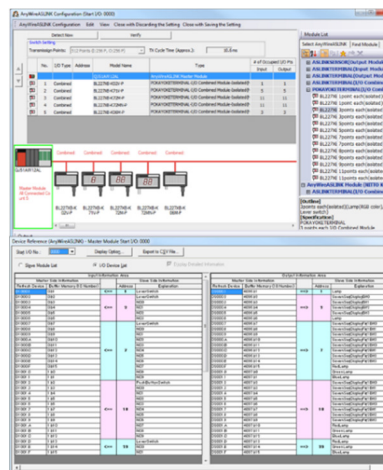
Na voljo so terminali z različnimi kombinacijami obeh funkcionalnosti, izbira kombinacije tipov terminala pa je odvisna od značilnosti specifičnega koraka ročne montaže (kjer se bo terminal vgradil). V primeru, da mora delavec v nekem koraku montaže iz zaboja vzeti na primer 3 cevi, je na tem mestu smiselno izbrati terminal s kombinacijo LED lučke, prikazovalnikom števk in stikalnim vzvodom. Delavcu je s to kombinacijo signaliziran naslednji sestavni del za vgradnjo (prižig LED lučke) in število zahtevanih cevi za vgradnjo (prikaz na 7-segmentnem prikazovalniku). Prepoznavanje števila delavčevih posegov v zaboj je izvedeno z dotikom vzvoda.

Sistem deluje, če delavec sledi signalom, ki mu jih pošiljajo terminali. Ne preprečuje pa namernih »sabotaž« vnaprej določenega sestavljalnega procesa – na primer pri posegu v zaboj delavec prekine fotoelektrični senzor s čimer sistem poseg tretira kot opravljen korak v procesu. S tem torej ni mogoče preprečiti, da delavec v zaboj poseže, a sestavnega dela namenoma ne vzame iz zaboja.



Slika 2: Prikaz možnih terminalov z različnimi funkcionalnostmi.

Drugi del rešitve vodene ročne montaže predstavlja PLK krmiljenje montažnega procesa, ki v našem primeru temelji na krmilnikih proizvajalca Mitsubishi Electric. PLK krmilniki in vgrajeni terminali so med seboj žično povezani preko protokola ASLink in napajani s 24V enosmerne napetosti [3]. Glede na kompleksnost sistema terminalov (velikost in število sestavljajnih postaj) je za PLK vodenje ročne montaže mogoče izbirati med kompaktnimi krmilniki iQ-F, ter modularnimi krmilniki serije L in iQ-R. Osnovni PLK je dopolnjen z »Master« modulom za ASLink [3]. Končno konfiguracijo uporabljenih terminalov se vzpostavi s pomočjo grafičnega orodja v okviru programa GXWorks za programiranje Mitsubishi PLK-jev [3]. Funkcija »AutoRefresh« omogoča mapiranje signalov terminalov v pomnilnik krmilnika, programsko orodje pa omogoča diagnostiko vseh povezanih terminalov [3].

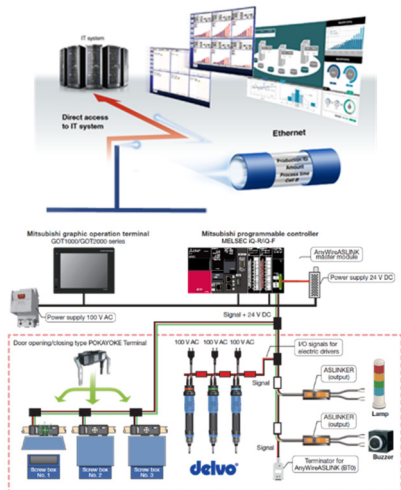


Slika 3: Grafično orodje za konfiguriranje uporabljenih terminalov (znotraj GXWorks programskega orodja za programiranje PLK-jev).

## 5 RAZŠIRLJIVOST REŠITVE

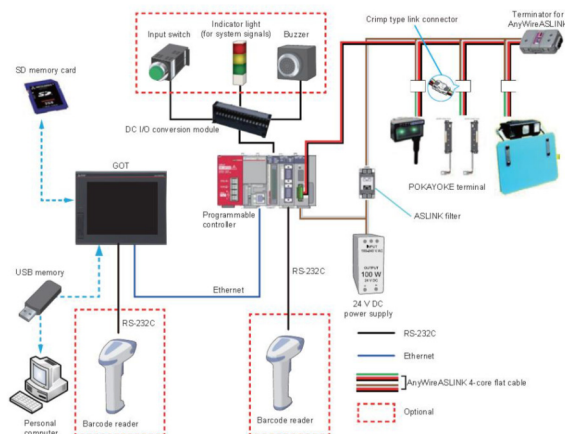
S pomočjo zmogljivih krmilnikov Mitsubishi je rešitev vodene ročne montaže razširljiva do 100 distribuiranih sestavljajnih delovnih postaj [2]. Na najnižji ravni je mogoče preko kompaktnega krmilnika iQ-F nadzorovati sekvenčno vodenje do 128 osnovnih terminalov na eni delovni postaji [2]. Najvišjo raven zmogljivosti predstavlja sistem do 100 distribuiranih sestavljajnih postaj, ki je centralno krmiljen s krmilnikom iQ-R [2]. Topologija omrežja omogoča do 100 metrov oddaljenosti med postajami, komunikacija pa temelji na CC-Link IE 1 Gigabitni komunikaciji [2].

Podatki o sestavljajnem procesu produkta se lahko shranjujejo v bazo podatkov ter so v nadaljevanju za prikaz in analize lahko obdelovani preko MAPS SCADA nadzornega sistema. Naštete razširitve vključujejo tudi integracijo z MES sistemi za upravljanje proizvodnje. Delovne postaje so preko operatorskih panelov in/ali krmilnikov povezane z bazami podatkov. Zmogljivi krmilniki iQ-R že sami omogočajo interno bazo podatkov za ravnanje s podatki in sekvencami ter neposredno povezavo z Excel ali Access programskim orodjem. Vodstvena raven podjetja ima tako neposreden vpogled v ročno sestavljanje v proizvodnji in samo učinkovitost ročne montaže.



Slika 4: Prikaz integracije rešitve vodenja sestavljalnega procesa od proizvodne ravni do vodstvenega nivoja upravljanja s proizvodnjo.

Bolj napredne rešitve vodenih ročnih montažnih procesov, kjer je PLK vodenje ročne montaže nadgrajeno z integracijo v MES in ERP nivo podjetja, dejansko pomeni informatizacijo ročnih montažnih procesov, tako na nivoju delovne postaje (informiranje operaterja, dostavljalca zalog,...), kot na višjih nivojih (vodja linije za planiranje proizvodnje, nabavna služba, učinkovitost posameznega delavca,...). Rešitev Mitsubishi Electric-a, ki omogoča popolno informatizacijo ročne montaže, s spremljanjem učinkovitosti in produktivnosti posamezne ročne delovne postaje, se imenuje iQ-Monozukuri [2].



Slika 5: Možna topologija omrežja komponent pri vpeljavi rešitve iQ Monozukuri.

## 6 SKLEP

Za konec lahko zapišemo, da se ključni učinki opisane rešitve kažejo v lažji alokaciji začasnih delavcev v proizvodnji, izboljšanju delovnih pogojev za delavca in povečanju njegovih kapacitet, povečani kvaliteti končnih produktov, takojšnji preprečitvi napak, skrajšanemu času sestavljanja, optimiziranemu številu gibov sestavljalcev ter v zmanjšani potrebi po uporabi navodil za sestavljanje. Skupni imenovalec naštetih učinkov se kaže v boljši kvaliteti produktov, večji produktivnosti in dolgoročnih finančnih prihrankih. Potrebno je poudariti, da je rešitev vodene ročne montaže razvita za pomoč delavcu v obliki vodenja sestavljanja končnega produkta, ne more pa preprečevati namernih napak, sabotraž in »obvodov« v procesu sestavljanja s strani delavca [2]. Dopolnitev vodene ročne montaže s pomočjo »Vision« sistemov (preverjanje izdelka med sestavljanjem), in električnih vijačnikov (vijak je ustrezno privijačen / ni ustrezno privijačen) je mogoče še dodatno povečati kvaliteto izdelkov. Integracija in povezava rešitve z ERP in MES nivojem vodstvenemu nivoju podjetja omogoča popolno informatizacijo ročnih montažnih procesov in na nek način pametno ročno proizvodnjo.

Viri:

- [1] Mitsubishi Electric Europe B.V., *Guided Operator Solutions*, 2016.
- [2] Mitsubishi Electric Europe B.V., *interno gradivo podjetja*, 2018.
- [3] Mitsubishi Electric Europe B.V., *interno gradivo podjetja*, 2010.
- [4] ISIXSIGMA, *Definition of Poka-Yoke*, <https://www.isixsigma.com/dictionary/poka-yoke/>, b.l..
- [5] techopedia, *Poka-Yoke*, <https://www.techopedia.com/definition/30693/poka-yoke>, b.l..



# 11. INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

**Drugi dan**

**Dvorana 4**

Portorož, 3. in 4. junij 2019



## INDUSTRIJSKI PROCESI VARJENJA, DIMNI PLINI IN VPLIV ZAŠČITNIH PLINOV NA ZMANJŠANJE EMISIJ

mag. Edvard Bjelajac, IWE  
Messer Slovenija d.o.o.

### IZVLEČEK

*Pri obločnih postopkih varjenja MIG/MAG s polno in polnjeno varilno žico, TIG in MMA nastajajo dimni plini, ki dolgoročno negativno vplivajo na zdravstveno stanje varilcev. Z optimizacijo varilnega procesa, zamenjavo zaščitnih mešanic in ostalimi ukrepi v proizvodnji je mogoče zmanjšati količino dimnih plinov. Z pravilno izbiro zaščitnih mešanic se izboljša varilnotehnične lastnosti, kvaliteta zvarnih spojev in zmanjša stroške varilnega procesa.*

### 1. UVOD

Pri elektro obločnih postopkih varjenja z oplaščeno elektrodo, GMAW, GTAW, SAW in postopkih z visoko gostoto energije, npr. lasersko varjenje, ki predstavljajo najpogosteje uporabljene in industrijsko najpomembnejše postopke varjenja nastajajo dimni plini.

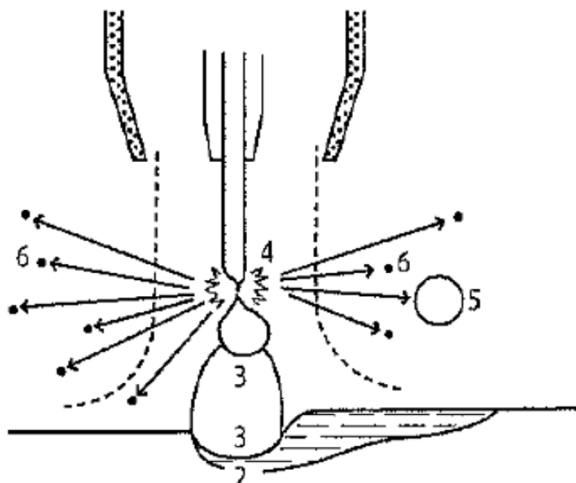
Njihova količina je odvisna od uporabljenega varilnega procesa. Pri samozaščitnih varilnih procesih, kamor prištevamo varjenje z oplaščeno elektrodo, samozaščitno polnjeno žico in varjenje pod praškom, se razvija na mestu varjenja velika količina plinov. Ti procesi ne uporabljajo dodatne zunanje zaščite obloka, npr. z dovajanjem zaščitne atmosfere, zato je zaščita obloka odvisna izključno od sproščanja plinotvornih in žlindrotvornih komponent iz oplaščenja dodatnega materiala.

Drugi varilni procesi, med katerimi so industrijsko najpogosteje uporabljeni MAG varjenje z polno ali polnjeno žico, TIG varjenje in v zadnjem desetletju procesi z visoko gostoto

energijo, lasersko in plazemsko varjenje, za zaščito obloka uporabljajo zaščitne pline. Zaščitni plini so na osnovi Ar in He z dodatki, pri MAG procesu pa je poleg teh uporabljata tudi tehnično čisti ogljikov dioksid, ki spada med aktivne, močno oksidativne zaščitne pline.

Pri varilnih procesih, ki za zaščito obloka uporabljajo zaščitne pline, je količina dimnih plinov znatno manjša kot pri samozaščitnih procesih.

Onesnaženja zraka na mestu varjenja sestoji iz delcev prahu, dima in plinov. Sestava prahu je iz delcev, z premerom nad 1  $\mu\text{m}$  (1). Zaradi relativno velike mase, se ti delci nahajajo blizu obloka in so sestavni del obrizgov. Dim sestoji iz palete delcev manjših od 1  $\mu\text{m}$ , ki v zraku lahko ostanejo dolgo časa in prepotujejo večje razdalje.



Slika 1: Izvori dimnih plinov pri MAG varjenju: 1. kapljice žice med prehodom obloka, 2. talina vara, 3. anodni del, 4. eksplozija žice, 5. večje kapljice, 6. majhne kapljice ki nastajajo zaradi eksplozije žice. (2)

Dimni plini so po večini sestavljeni iz oksidov, ki nastajajo z taljenjem in uparjanjem dodatnega materiala pri prehodu skozi varilni oblok v stiku z okoliško atmosfero. Možne izvore dimnih plinov prikazuje slika 1.

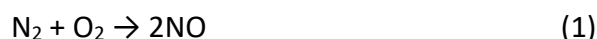
Glavni izvor dimnih plinov je dodatni material, ki je pri procesu varjenja znatno bolj vroč kot osnovni material. Slednji zelo malo vpliva na sestavo dimnih plinov. Sestava dimnih plinov je skladna s kemično sestavo dodatnega materiala (2). Kovinske pare pri prehodu skozi oblok so sestavljene z najbolj hlapnih kovinskih komponent. Pri uporabi oksidativnih zaščitnih plinov, nastajajo iz kovinskih par oksidi (3). Pri kontaktu plinskih par z okoliško atmosfero se kovinske pare oksidirajo in nastanejo dimni plini. Kemična sestava oksidov dimnih plinov je zelo podobna kemični sestavi dodatnega materiala.

Velik del dimnih plinov prispevajo obrizgi (2), veliko število majhnih delcev obrizgov znatno pripomore k celotni izpostavljeni površini,

primerni za nastanek dimnih plinov. Del obrizgov je zelo majhnih in ostanejo v zraku kot dimni plini.

## 2. NASTANEK DIMNIH PLINOV PRI VARJENJU

Visoka temperatura obloka in ultravijolično žarčenje sta glavna vzroka za nastanek dimnih plinov pri varjenju. Dušikovi oksidi NO in dušikovi dioksidi NO<sub>2</sub> nastajajo z spajanjem dušika in kisika iz okoliške atmosfere. Pri visoki temperaturi, v kontaktu z osnovnim materialom ali oblokom, poteče reakcija (1 in 2):



Zaradi ultravijoličnega sevanja obloka, poteče razgradnja kisikovih molekul v proste atome, ti pa nadalje reagirajo z ostalimi molekulami kisika in tvorijo molekule ozona.



Raven emisije ozona je odvisna od tega, koliko ga med varjenjem nastane in koliko se ga porazgubi na različne načine. Glavni mehanizmi, ki zmanjšujejo raven ozona so:

Katalitična reakcija med ozonom in dimnimi delci, ki po reakciji (4) lahko zmanjšajo količino ozona.



Na primer, pri ročno obločnem varjenju, kjer nastajajo velike količine dušikovih oksidov, nastajajo neznatne količine ozona, nasprotno, pri MAG varjenju, kjer nastaja mnogo manj dušikovih oksidov, posledično nastaja znatno višja raven ozona.

Termični razkroj ozona, se pojavlja v delu zelo blizu obloka, pri temperaturi nad 500 °C.

Ogljikov monoksid CO nastaja najpogosteje z disociacijo ogljikovega dioksida iz zaščitnega plina po reakciji (5).



Razvijanje dimnih plinov je lahko tudi posledica kontakta površinskih nanosov z povišano temperaturo zaradi varjenja in ultravijoličnim sevanjem.

Količina in sestava dimnih plinov zavisi tudi od temperature na površini dodajnega materiala pri MAG varjenju, ki se spreminja z tokovno obremenitvijo elektrode, kar je mogoče razložiti z termodinamično analizo [4].

Raziskave sestav zaščitnih plinov za GMAW varjenje so pokazale, da je mogoče varilnotehnične lastnosti še izboljšati, če namesto mešanice Ar+18% ogljikovega dioksida uporabljamo večkomponentne mešanice tehnično dopustih plinov v točno določenih volumskih razmerjih [5].

### 3. VPLIV SESTAVE DIMNIH PLINOV NA ZDRAVJE VARILCA

Varilec je med varjenjem izpostavljen različnim vplivom kemičnih spojin, ki škodljivo vplivajo na njegovo zdravje. Zato obstajajo priporočene zgornje mejne vrednosti izpostavljenosti posameznim kovinskim spojinam v enoti časa, merimo jih v TWA (Time Weighted Average) v ppm ali mg/m<sup>3</sup>.

Onesnaženje zraka lahko glede na sestavo dimnih plinov povzroči akutno ali kronične bolezni. Med akutne bolezni, kamor prištevamo tudi kovinsko vročico, ima prehodni značaj, vendar pa lahko vodi v kronične bolezni.

Včasih je izpostavljenost eni škodljivi komponenti zadosti za nastanek obolenj. Med izpostavljenostjo in obolenjem lahko preteče

tudi več let. Poznano je tudi, da lahko kombinacija različnih škodljivih komponent vodi do sinergijskega učinka, oz. izpostavljenost kombinaciji škodljivih sestavin je lahko znatno bolj škodljivo kot izpostavljenost vsaki od teh komponent posebej.

Bolezni, ki izhajajo iz izpostavljenosti preseženih vrednosti škodljivih komponent v dimnih plinih, so težko dihanje, anemija, glavobol, kronični bronhitis, pljučni endem, kovinska vročica, draženje sluznice.

Nadalje do poškodb pride tudi na centralnem živčnem sistemu, krvi, ledvice in jetra.

### 4. SESTAVINE DIMNEGA PLINA IN ŠKODLJIVIH PLINOV ZA ZDRAVJE VARILCA

Velikost delcev v dimnih plinih je običajno pod 0,5 µm. Najbolj pogoste substance in njihov vpliv na zdravje varilca:

**Barij (Ba):** Ni posebnih omejitev

**Berilij (Be):** Zelo škodljiv v kovinski obliki ali kot spojina. Predvsem v bakrovih zlitinah, in povzroča beriliozo.

**Kadmij (Cd):** Zelo škodljiv v spojinah. V dimne pline prehaja iz platiranih materialov z kadmijem. Povzroča težko dihanje, kovinsko vročico, poškodbe jeter in ledvic. Zastrupljenost z kadmijem se lahko pojavi tudi z zakasnitvijo.

**Kalcij (Ca):** se sprošča pri ročno obločnem varjenju bazičnih oplaščenih elektrod in polnjene žice. Za draženje sluznice mora biti prisoten v zelo velikih koncentracijah.

**Krom (Cr):** Pri varjenju visoko legiranih nerjavnih jekel se sproščajo tri ali šest valentni kromovi oksidi, ki dražijo sluznico in povzročajo kovinsko vročico. Šest valentni krom predstavlja

tveganje za pojav rakastih obolenj in se pojavlja predvsem pri varjenju z oplaščenimi elektrodami.

**Baker (Cu):** Baker je prisoten tako v osnovnem kot v dodajnem materialu, in povzroča kovinsko vročico.

**Fluorid (F):** Sproščajo se pri varjenju z bazičnimi oplaščenimi elektrodami in pri varjenju z polnjenimi žicami. Lahko povzročajo lažje draženje sluznice.

**Železo (Fe):** Železove spojine v dimnih plinih se pojavljajo pri varjenju vseh jekel. Da bi dosegli koncentracijo železovih oksidov, ki bi bili toksični, je praktično nemogoče [6].

**Svinec (Pb):** Prisotnost svinca pri varjenju ni pogosta, razen v primeru površinsko zaščitene materialov. Vdihovanje spojin s svincem povzroča glavobol, omedlevico, bolečine v mišicah, krče, izgubo teka in posledično telesne teže. Pri večjih koncentracijah tudi izgubo spomina.

**Magnezij (Mn):** Pogost zlitinski element v osnovnih in dodajnih materialih. Dimni plini, ki vsebujejo visoko vsebnost magnezija, so strupeni. Pojavlja se draženje sluznice, omedlevica in motnje v duševnem razvoju.

**Molibden (Mo):** Draži dihalne organe, lahko vpliva na jetra.

**Nikelj (Ni):** Prisoten v visoko legiranih nerjavnih jeklih. Povzroča kovinsko vročico in povezuje se ga z nastankom rakavih obolenj.

**Silicij (Si):** Tvori silicijev oksid, pri varjenju ne predstavlja tveganje za zdravje.

**Cink (Zn):** Sprošča se pri varjenju galvansko zaščitene jekel in povzroča kovinsko vročico.

Škodljivi plini lahko nastanejo med varjenjem ali pa so del zaščitnih plinov.

**Ogljikov monoksid (CO):** Nevaren plin brez vonja in barve. Večje količine se pojavijo v slabo prezračevanih prostorih. Ogljikov monoksid onemogoča vezanja kisika in njegov prenos v krvi. Povzroča glavobol, bolečine v srcu, motnje v koncentraciji in nezavest.

**Dušikovi oksidi (NO) in dušikovi dioksidi (NO<sub>2</sub>):** v koncentracijah nad 15 ppm dražijo oči. Še višje koncentracije povzročajo akutni bronhitis in pljučni edem, kar je lahko življenjsko nevarno, vendar pogosto se stanje pri prizadetih popravi. Znaki so motnje v dihanju, siljenje h kašlju, piskanje.

**Ozon (O<sub>3</sub>):** je brezbarvn in strupen plin. Draži sluznico dihal. Pojavlja se draženje dihal, kašelj, bolečine v prsih in piskanje.

**Fosfin (PH<sub>3</sub>):** zelo strupen plin. Draži oči, nos in kožo. Vdihovanje vpliva na prebavila, povzroča glavobol, nad 100ppm je rakotvoren. Vpliva na živčni sistem.

## 5. KOLIČINA ZAŠČITNIH PLINOV V POVEZAVO Z ZAŠČITNIMI PLINI

S povezavo med dimnimi plini in zaščitnimi plini je bilo objavljeno mnogo raziskav, predvsem zaradi razširjenosti GMAW procesa varjenja v industrijske namene in razumevanja zdravstvenih težav varilcev v primerjavi z ostalimi delavci v proizvodnji.

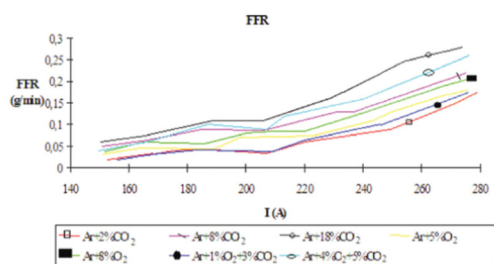
Ugotovljeno je bilo, da je varjenje brez uporabe primerne ventilacije v proizvodnji lahko smrtonosno [7].

Najpogosteje se v industrijske namene varijo jekla različnih kemičnih sestav. Prisotnost zlitinskih elementov v dimnih plinih je znatno

bolj nevarna kot železovi oksidi. Na primer mangan, povzroča Parkinsonovo bolezen [8].

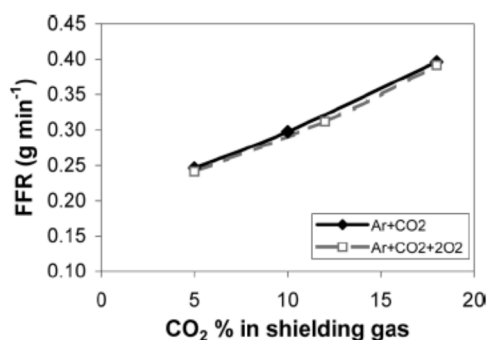
Karakteristika obloka je v tesni povezavi z tokom in napetostjo in posledično sta tok in napetost kritični količini, ki določata količino dimnih plinov (slika 2) (FFR-fume formation rate) [9,10,11].

Povečevanje dimnih plinov zaradi vsebnosti kisika v zaščitnih plinih je skladno z Turkdoganovim evaporacijskim modelom za nastanek dimnih plinov pri proizvodnji jekel [14,15]. Kjer pa je potrebno upoštevati minimalne koncentracije kisika da pride do oksidacije kapljice tekočega železa in pri oksidaciji železovih par.



Slika 2: Količina nastanka dimnih plinov (FFR) kot funkcija jakosti toka, za različne plinske mešanice za GMAW postopek varjenja [12].

Koncentracija FFR predvsem narašča z dvigovanjem vsebnosti CO<sub>2</sub> v zaščitnih argonskih mešanicah (slika 3), medtem ko je vpliv kisika manj poznan.



Slika 3: Količina dimnih plinov kot funkcija % CO<sub>2</sub>, v zaščitnih plinih Ar+ CO<sub>2</sub> in Ar+ CO<sub>2</sub> + 2%O<sub>2</sub> (13).

Povečevanje dimnih plinov zaradi vsebnosti kisika v zaščitnih plinih je skladno z Turkdoganovim evaporacijskim modelom za nastanek dimnih plinov pri proizvodnji jekel [14,15]. Kjer pa je potrebno upoštevati minimalne koncentracije kisika da pride do oksidacije kapljice tekočega železa ali oksidaciji železovih par.

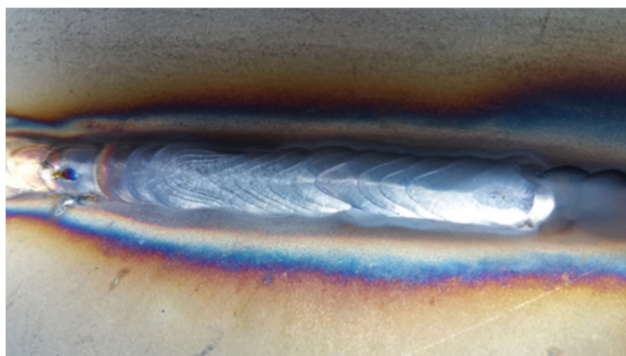
## 6. PRAKTIČNI PRIMERI VARJENJA Z VEČKOMPONENTIMI MEŠANICAMI

Z pravilnim izborom namenskih večkomponentnih mešanic se ohranjajo zahtevane mehanske lastnosti zvarnih spojev, izboljšajo se varilnotehnične lastnosti in sicer:

- zmanjša se škropljenje v okolico zvarnega spoja,
- teme vara je nižje in bolj gladko,
- manj čiščenja zvarnih spojev po varjenju,
- tudi povečevanje hitrosti varjenja,
- nastaja manj dimnih plinov, posledično prihranek pri bolniških odsotnostih.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Slika 4: Zvari izdelani z več komponentnimi mešanici, brez naknadne obdelave površine. (a) sočelni spoj cevi S235 (2mm) in pločevine S235 (3 mm), (b) kotni zvar na DC 01 (1,5mm), (c) kotni zvar na pločevini S355 (10 mm), kotni zvar konstrukcijskega dela na jeklu S355, (e) sočeni spoj visokolegiranega duplex jekla (10mm).

## 7. ZAKLJUČKI

Količina in sestava dimnih plinov pri obločnem varjenju je odvisna od izbranega procesa varjenja.

- izbrani varilni parametri (tok, napetost, zaščitni plin) vplivajo na količino dimnih plinov.
- zaščitni plini z višji odstotkom dodanega ogljikovega dioksida, zvišujejo nastanek dimnih plinov,
- načrtovanje zaščitne mešanice za izbran proces, zmanjšuje škropljenje in nastanek dimnih plinov,
- večkomponentne mešanice lahko povečujejo hitrost varjenja in izboljšujejo obliko temena vara.

Več komponentne mešanice niso univerzalne. Razvite so za namensko uporabo, za pravilno izbiro se priporoča sodelovanje s strokovnjakom dobavitelja tehničnih plinov. Z pravilno izbiro je mogoče znatno zmanjšati količino dimnih plinov, izboljšati delavno okolje varilcev, izboljšati vizualni zgled temena vara in znižati skupne stroške varilnega procesa za 5 – 15%.

### VIRI:

1. Arbeitsschutz beim Schweißen, Deutcher Verag fur Schweisstechnik (DVS), GmBh, Düsseldorf, 1985
2. Gray,C.N, Hewitt, P.J., Dare, P.R.M. New approach would help control weld fumes at source. Welding and Metal Fabrication, October, 1982
3. Heile, R.F., Hill, D.C. Particles Fume Generation in Arc Welding Proseses, Welding Research Supplement, July 1975
4. N.T. Jenkins, P.F. Mendez, T.W. Eager. Effect of Arc Electrode Temperature on Vapour and Fume Composition, Trend in Welding Research, 2005.
5. E. Bjelajac. Aplikativnost večkomponentnih mešainc in njihov vpliv na delo varilca,

Industrijski forum Inovacije, razvoj, tehnologije (9/2017), 2017.

6. ACGIH. Treshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices-2014/05, Cincinnati.
7. Pires I. Analysis of the influence of shielding gas mixtures of MIG/MAG. Msc. Thesis, Lisbon, Tehnical University; 1996.
8. Lu L., Zhang L, Li G, Guo W, Ling W, Zheng W. Alteratium of serum concentration of manganese, iron, ferritin and transferrin receptor following exposure to wleding fumes among carrer weldews, NeuroToxicology 2005; 26:257-265.
9. H.R.Castner: Weld.J.,74(1995),59
10. V.Voitkevict: Welding Fumes Formation, Oroperties and Biological Effects, Abingdon Publishing, Camebridge, England,(1995),1.
11. F.Heille and D.C.Hill: Weld.J., 54 (1975),201
12. I.Pires, L.Quintino, R.M.Miranda and J.F.P Gomes: Fume Emission Gas Metal Arc Welding, Toxicological & Enviromental Chemistry, July-Sept. 2006;88(3):385-394
13. K.R.Carpener,
14. E.T.Turkdogan, P.Griveson and L.S.Darken: J.Phys.Chem.,67(1963),1647
15. E.T.Turkdogan and L.E. Leake: J.Iron Steel Inst. 6 (1959),June, 162



## SLCR – ČIŠČENJE, ODSTRANJEVANJE POVRŠINSKIH NANOSOV, OZNAČEVANJE S SVETLOBO. POKUKAJMO V SVET LASERSKEGA OBDELOVANJA POVRŠIN

**Olav G. SCHULTZ**  
SLCR Lasertechnik GmbH

### IZVLEČEK

SLCR Lasertechnik je srednje veliko podjetje iz Nemčije, ki od leta 1997 deluje na področju laserskih aplikacij, in sicer nudi rešitve in sisteme za obdelavo površin. Podjetje ima ogromno izkušenj in znanja o obdelavi industrijskih površin iz različnih materialov, od kovin in plastike do kompozitnih materialov in še mnogo več. Glavne vrste aplikacij so na primer čiščenje površin, odstranjevanje površinskih nanosov in označevanje.

Na konkretnih primerih iz različnih industrijskih panog vam bomo predstavili izboljšave v proizvodnji z lasersko tehnologijo SLCR. Razložili bomo splošni princip delovanja SLCR-laserjev in predstavili značilnosti procesa. Poleg tega boste spoznali tudi možnosti in prisluhnili našim izkušnjam s številnimi aplikacijami, kot so priprava in čiščenje površin, barvanje celo kompleksnih teles ipd. z laserjem.

Za številne aplikacije v sodobnih proizvodnih procesih je čiščenje ali priprava površine obvezen korak v procesu za doseganje visoke kakovosti izdelkov. Posebej za postopke spajanja, kot sta lepljenje ali varjenje, je priprava ali čiščenje spojnih površin zelo pomemben, ključni dejavnik za trdno vez.

Podobno kot za postopke spajanja je priprava površine zelo pomembna tudi za postopke barvanja, saj z ustrezno pripravo zagotovimo zanesljivo adhezijo med površino in barvo. Poleg tega je natančna odstranitev barve s komponent temeljna kompetenca SLCR Lasertechnik, z njo pa se izognemo proizvodnim korakom, kot je maskiranje, in zmanjšamo število korakov v procesu.

SLCR Lasertechnik ponuja alternativo številnim aplikacijam v obliki nežne in suhe brezstične obdelave brez medija, samo z uporabo svetlobe.



The slide features a dark blue background with a bright blue laser beam effect on the right side. In the top left corner, there is a graphic of three overlapping diamond shapes. The text is arranged as follows:

- ◇ **Cleaning**
- ◇ **De-Coating**
- ◇ **Marking**

**SLCR LASERTECHNIK**

**by light**

**Insight into the world of laser surface treatment**

IRT Forum

3rd – 4th June 2019 – Slovenia

Olav G. Schulz



## Insight into the world of laser surface treatment



### Development of sustainable solutions for surface treatment

- ◆ Surface preparation / activation
- ◆ De-coating / paint stripping
- ◆ Cleaning
- ◆ Material processing
- ◆ Marking

### Automation of processes and applications

### Manufacturing of laser, systems and customized machines



© SLCR Lasertechnik

SLCRLasertechnik, S



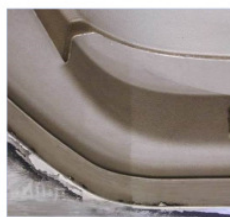
## Surface treatment with laser

### Example: Cleaning and mould cleaning



### Different contaminations:

- ◆ Oil
- ◆ Grease
- ◆ Release agent residues
- ◆ Product or vulcanization residues



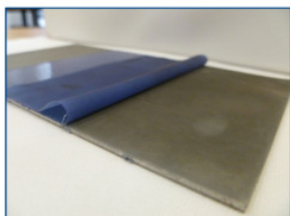
© SLCR Lasertechnik

SLCRLasertechnik, S



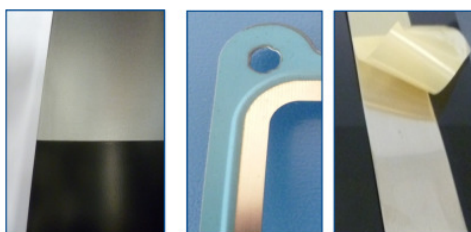
## Surface treatment with laser

### Example: De-coating



### Different coatings:

- ◆ Transparent polymers
- ◆ Ceramics
- ◆ Painting layers



© copyright SLCR 1997-2019

SLCR Lasertechnik, 17

## System solutions for surface treatment

### Robot – based systems



### Convincing in all details:

- ◆ High precision in all treatment areas (sharp-edged)
- ◆ Continuous, smooth transition even in changes of contours
- ◆ Proven gentle surface treatment
- ◆ Very clean performance, no pre-treatment, no mechanical re-works required
- ◆ Easy integration in existing production lines or as stand-alone solution, modularly expandible
- ◆ Full automation guarantees a consistent perfect quality
- ◆ Reliable process with improved profitability

© copyright SLCR 1997-2019

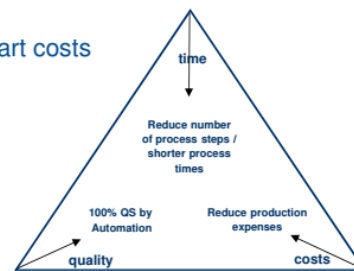
SLCR Lasertechnik, 18

## Time, Cost and Quality Synergies within the „magic triangle“

The SLCR process convinces with following advantages:

- ◆ clean, quick, environmentally and user friendly solutions
- ◆ easy integration in your production environment
- ◆ automation, quality control and reduction of part costs
- ◆ high innovation potential for the treatment of new materials

**Your success  
= our motivation !**



© Copyright SLCR 1997/2019

SLCR Lasertechnik, LT

## Thank you for your attention!

*SLCR – Cleaning by light*

### **SLCR Lasertechnik GmbH**

Willi Bleicher Strasse 11  
52353 Düren  
Germany

Phone: + 49 (0) 2421 / 91500  
Fax: + 49 (0) 2421 / 915015  
Email: [info@slcr.de](mailto:info@slcr.de)  
Web: [www.slcr.de](http://www.slcr.de)



© Copyright SLCR 1997/2019

SLCR Lasertechnik, LT

## SOFTSYNCHRO® - KO Z VPENJALNO GLAVO NAVOJNEGA SVEDRA DOBITE VEČ

Rok VOLK

EMUGE-FRANKEN tehnika d.o.o.

### IZVLEČEK

Pri nemškem proizvajalcu navojnega orodja EMUGE, so že leta 1998 predstavili sistem vpenjalne glave, ki je rešil problem nenatančnosti in napake v sinhronizaciji pomika in vrtenja vretena, ter s tem podaljšal življensko dobo orodja. Vpenjalna glava Softsynchro® je torej optimalna izbira za znatno povečanje življenske dobe orodja, v primerjavi s togim vpetjem.



Slika 1: Vpenjalna glava Softsynchro®

### 1 UVOD

Zakaj sinhrona izdelava navojev s togim vpetjem navojnega orodja ne zagotavlja optimalne življenske dobe orodja? Ko na CNC obdelovalnem stroju s sinhronim pomikom izdelujemo navoj z navojnim svedom ali navojnim vtiskovalcem (poimenovali jih bomo navojno orodje), mora kontrola zabeležiti hitrost vrtenja vretena, hitrost pomika osi, preračunati in nato oba sinhronizirati. Pri preračunavanju koraka navoja in rezilne hitrosti, lahko prihaja do napak, ki jih povzročijo parametri, ki niso upoštevani pri samem preračunavanju.

Dve glavni spremenljivki sta:

**1 faktorji vpliva CNC obdelovalnega stroja:**  
hitrost računalnika, ločljivost zaznavanja osi

(linearna os, os vretena, C-os), mehansko stanje stroja

### 2 vpliv dejavnikov na navojno orodje

- a) toleranca koraka navoja po DIN EN 22857
- b) sprememba koraka navoja in dolžine navojnega orodja pri  $t_{delo} \neq t_{meritev}$

### 2 DEJAVNIKI VPLIVA PRI CNC OBDELOVALNIH STROJIH

Glede oblike profila med orodjem in obdelovancem pri rezanju ali oblikovanju navoja s sinhronim pomikom, zahteva  $\mu$ -natančnost krmiljenja osi pomikanja glede na vrtenje vretena. Po tem se izdelava navojev razlikuje od drugih vrst obdelave kot so vrtanje, povrtavanje ali rezkanje. Te obdelave zahtevajo le natančno linearno

pomikanje, ker ta orodja niso povezana z obdelovancem. Ravno zato, je običajno glavni poudarek proizvajalcev strojev na nadzor linearne osi. V praksi se npr. uporablja enostaven merilec vrtenja glavnega vretena z 256 impulzi za obrat vretena (360°). To ustreza kotu in s tem nadzorovanemu razmiku 1,4° na impulz. Osne sile [1] pri izdelavi navojev nastanejo zaradi napak krmiljenja in netočnosti kontrole.

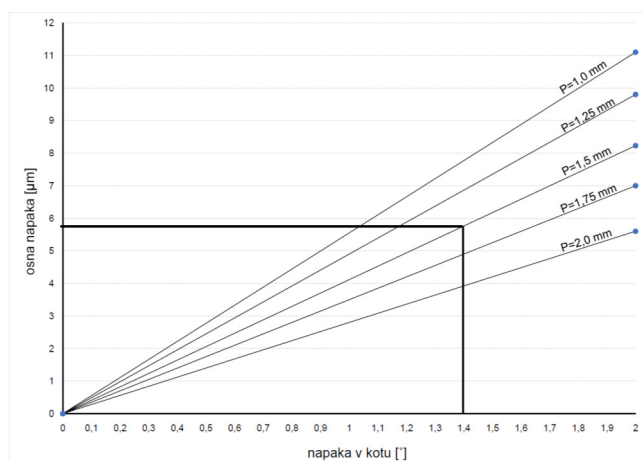
Primer:

navojni sveder M10

korak P=1,5 mm

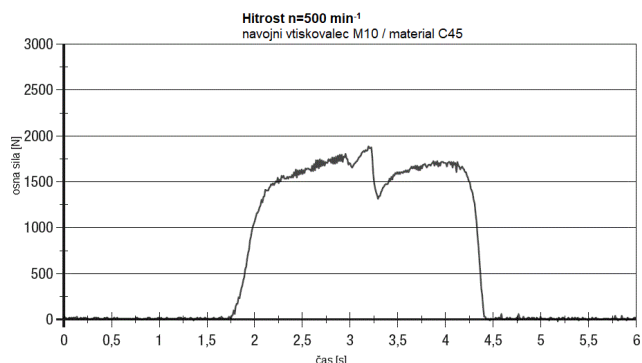
možno nenadzorovano vrtenje 1,4°

Možna osna napaka položaja navojnega orodja za približno 5,8 µm glede na dejanski položaj vretena stroja (Slika 2).

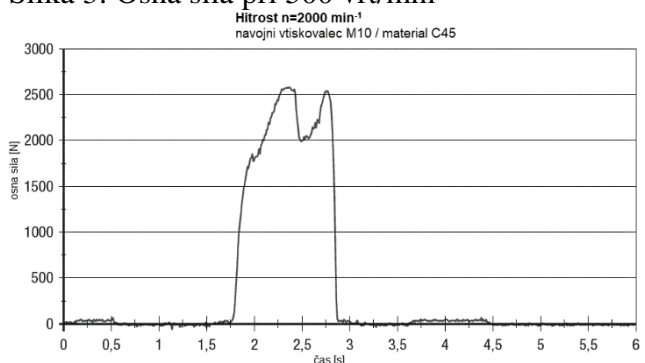


Slika 2: Grafični prikaz napake pozicije vretena, glede na korak navoja

Poleg tega, običajno računalnik v CNC obdelovalnem centru ne uspe obvladovati večjega števila impulzov z enkoderjem v območju od n=0 do maksimalne hitrosti osi vretena in ob tem uravnati osi ki morajo biti sinhronizirane. Primer CNC obdelovalnega centra s 256 impulzi na obrat osi vretena kaže, da se osna sila, ki deluje na površine orodja, povečuje z naraščajočo rezalno hitrostjo. Naslednja grafa kažeta, da je osna sila za oblikovanje navoja M10 s 500 vrt/min (cca 15,7 m/min) okoli 1900N (slika 3), s povečanjem hitrosti na 2000 vrt./min (cca 62,8 m/min) naraste sila na 2500 N (slika 4). To nam jasno pokaže, da je osna sila, ki jo povzroča sinhronizacijska napaka, odvisna od hitrosti.



Slika 3: Osna sila pri 500 vrt/min



Slika 4: Osna sila pri 2000 vrt/min

## 2.1 Vpliv navojnega orodja

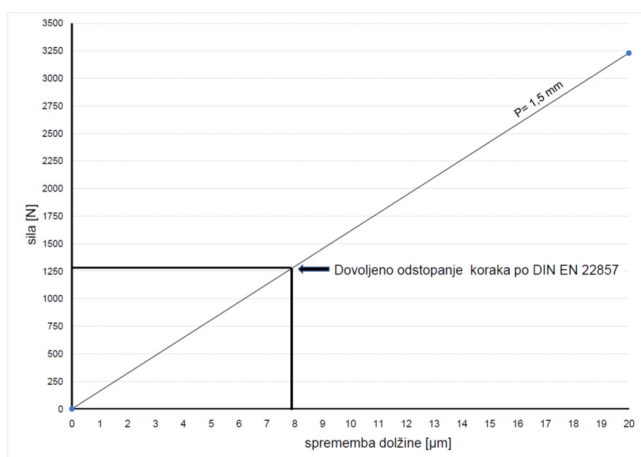
### a) Toleranca koraka navoja

Za navojno orodje se uporablja evropski standard DIN EN 22857, ki definira mere in tolerance navojev. Izvleček iz standarda DIN EN 22857:

za toleranco orodja, standard omogoča najmanjše odstopanje  $\pm 8 \mu\text{m}$  na določeno število navojev.

Primer (slika 5):

- navojni sveder M10
- korak navoja P=1,5 mm
- dolžina, ki se kontrolira 7xP
- dovoljena toleranca v koraku  $\pm 8 \mu\text{m}$

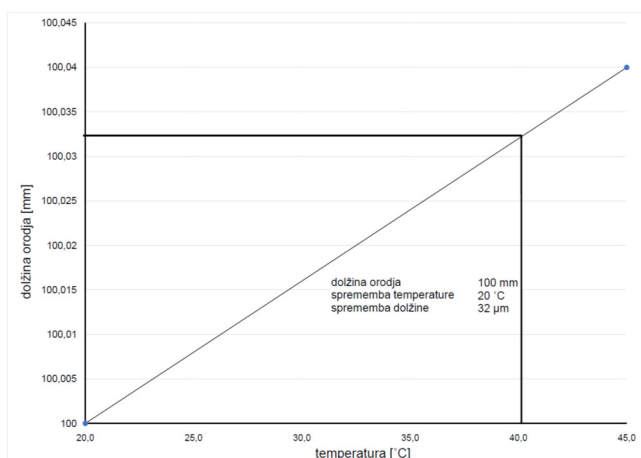


Slika 5: Grafični prikaz odstopanja koraka navoja po standardu DIN EN 22857

### b) Sprememba koraka navoja in dolžine navojnega orodja

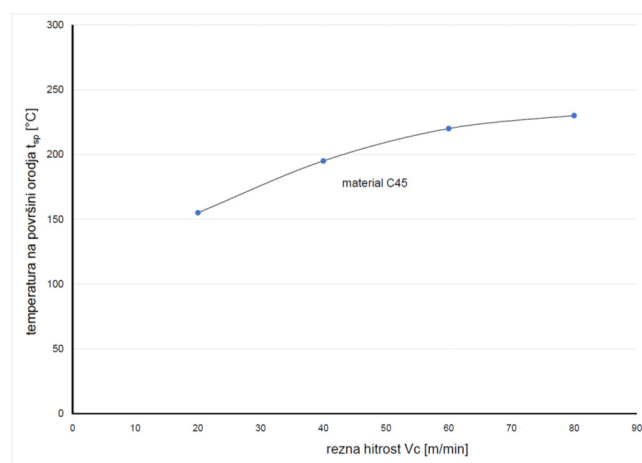
Pri delu / merjenju vsako orodje, ki odstopa od temperature 20°C, povzroči spremembe v dolžini orodja. Pri navojnem orodju M10 z dolžino 100 mm in spremembi temperature iz 20°C na temperaturo 40°C, povzroči spremembo dolžine za 32 μm. Glede na kontrolirano dolžino 7 korakov navoja po standardu DIN EN 22857 dobimo naslednji primer:

- navojni sveder M10
- korak navoja P=1,5
- dolžina navojnega svedra 100 mm
- dolžina, ki se kontrolira 7xP = 10,5mm
- orodje in korak se podaljša za 3,4μm



Slika 6: Grafični prikaz spremembe dolžine orodja, glede na temperaturo

Kot vidimo se pri kontroli dolžine 7xP skladno po DIN EN 22857 in koraku 1,5 mm, dolžina orodja po osi podaljša za 3,4 μm. Dokaz o spremembi temperature orodja za rezanje navojev je mogoče dobiti pri merjenju reznega dela, ki je najbolj obremenjen pri izdelavi navoja. Graf prikazuje temperaturo reznega dela pri navojnem svedru M10 pri različnih hitrostih. Uporabljeni material je C45 in hladilno / mazalno sredstvo 5% emulzija.

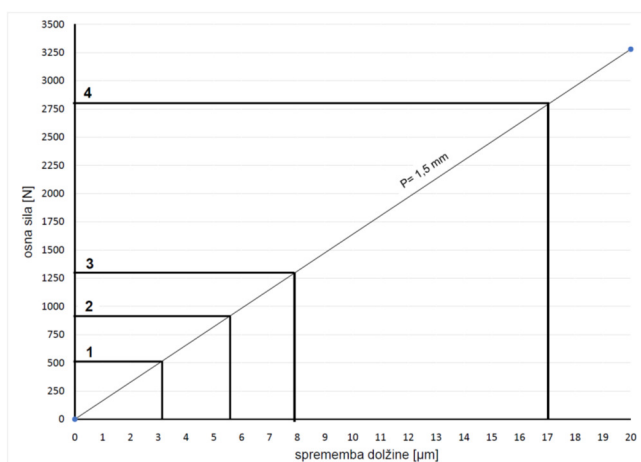


Slika 7: Grafični prikaz segrevanja orodja pri obdelavi

## 2.2 Povzetek vplivov

Za uresničitev skupnega učinka omenjenih posameznih dejavnikov, ki delujejo na osne sile procesa izdelave navoja, kažejo posamični vplivi, ki jih je potrebno sešteti. Naslednji graf (slika 8) nam prikazuje vplive :

- z dodatnimi možnimi osnimi napakami, ki so posledica tolerance v koraku stroja ali kot vpliv temperature na napako v položaju vretena za več kot 17μm z možnostjo povečanja
- vpliv napake v položaju povzroči osno silo okoli 2800 N v prikazanem primeru navojnega orodja M10
- to silo prevzamejo površine navojnega orodja, kar povzroči povečano trenje in obrabo navojnega orodja



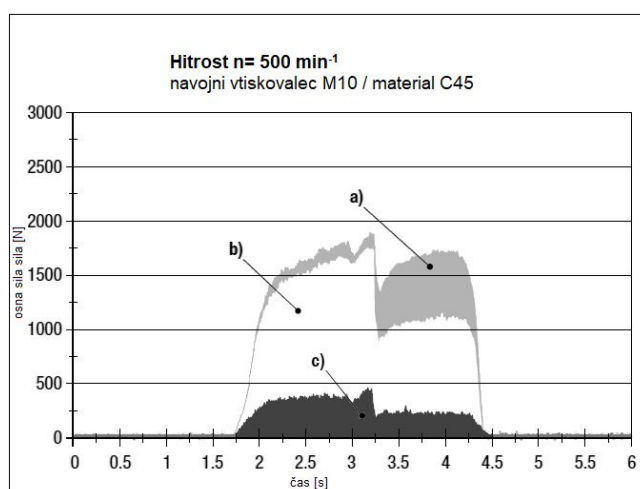
Slika 8: Grafični prikaz vseh možnih napak  
 1 sprememba dolžine zaradi temperature  
 2 napaka pozicije vretena  
 3 toleranca koraka (DIN EN 22857)  
 4 vsota vseh vplivov (možne osne sile)

Ta teoretični prikaz je v praksi možno tudi dokazati. Kot primer lahko pokažemo izdelavo navoja v material C45, z navojnim vtiskovalcem M10, vpetim v tri različne vpenjalne glave. Meritve osnih sil, so bile zabeležene pri dveh hitrostih 500vrt/min (slika 9) in 2000vrt/min (slika 10).

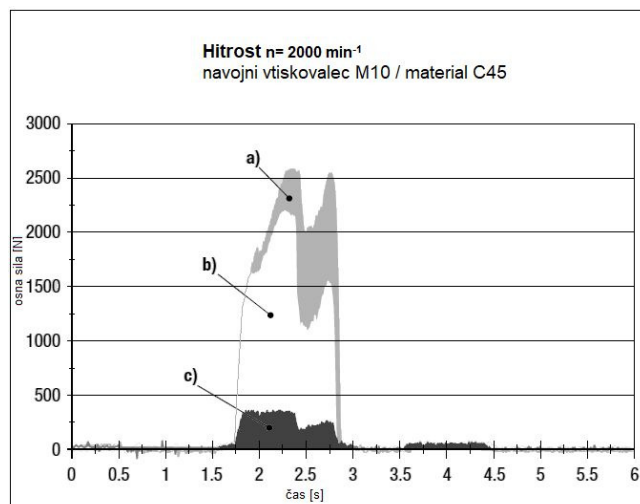
Vpenjala so bila:

- togo vpetje (synchro)
- EMUGE Softsynchro® vpenjalna glava Nr.1, z minimalno dolžinsko kompenzacijo na pritisk in poteg (0,5mm)
- vpenjalna glava z minimalno dolžinsko kompenzacijo in osnim dušenjem, drugega proizvajalca

Pri vseh glavah je bila uporabljena stročnica ER20-GB z kvadratom.



Slika 9: Grafični prikaz osnih sil pri obdelavi z 500 vrt/min



Slika 10: Grafični prikaz osnih sil pri obdelavi z 2000 vrt/min

V teh testih so bili ugotovljeni naslednji rezultati:

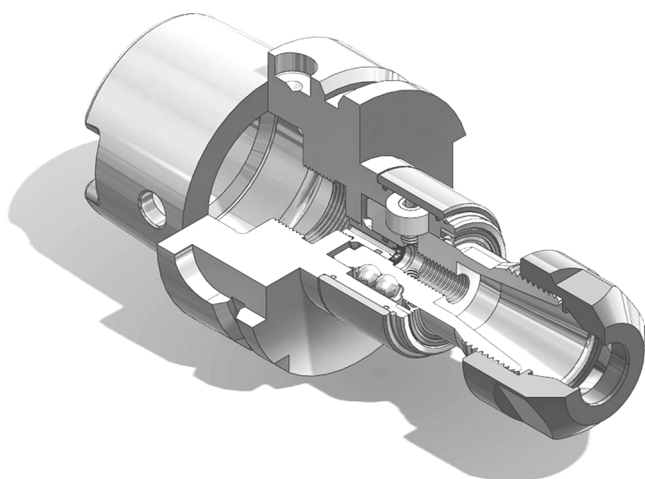
- Osne sile se povečajo s povečanjem hitrosti
- Sile, ki nastanejo pri izdelavi navoja z navojnim vtiskovalcem, so pri togih držalih precej višje kot pri uporabi EMUGE Softsynchro®
- Vpenjalna glava drugega proizvajalca absorbira osne sile le rahlo, v primerjavi s togim vpetjem.

Kje je torej razlog za izjemno zmogljivost zmanjševanja osnih sil z EMUGE Softsynchro®? Glavni razlog je patentiran sistem Softsynchro®, sestavljen iz sistema za minimalno osno kompenzacijo, s posebnimi vzmetmi iz elastomera

[3] in sistemom za prenašanje navora z jeklenimi kroglicami, ki omogočajo osno kompenzacijo in prenašajo navor. Oba sistema sta med seboj fizično ločena (slika 11).

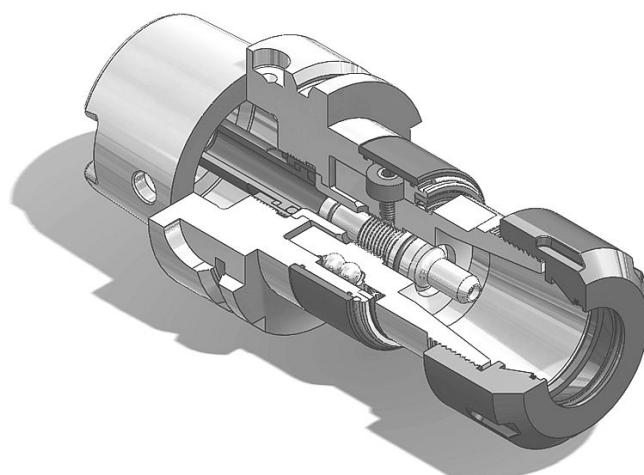
Ostale značilnosti EMUGE Softsynchro® so:

- C-os brez zračnosti, s prenosom navora preko jeklenih kroglic
- mehak odziv prednapetih kompenzatorjev na silo, ki nastane, kjer vodila za kroglice nato skoraj brez trenja omogočajo osno gibanje
- minimalna kompenzacija dolžine in prenos osne sile preko prednapetih vzmeti iz elastomera
- vzmeti iz elastomera s svojimi dušilnimi lastnostmi preprečujejo nihanje trenj na rezilnem robu



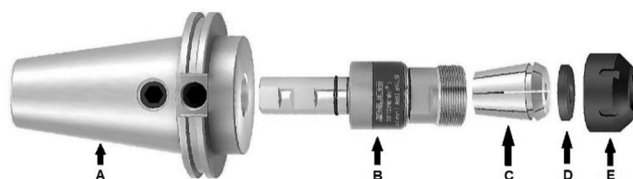
Slika 11: Vpenjalna glava Softsynchro® v prerezu

Zaradi različnih zahtev v avtomobilski industriji, je bila uspešna vpenjalna glava nadgrajena z različico Softsynchro® Modular / IKZ ali MQL, kjer je dodatno vgrajen sistem za nastavitev dolžine orodja (slika 12). Sodobni obdelovalni stroji dosegajo velike pospeške, pri čemer vgrajen žičnati vložek varuje vijak za nastavitev pred samim odvitjem in s tem preprečuje spremembo dolžine.



Slika 12: Vpenjalna glava Softsynchro® Modular / IKZ v prerezu

### 2.3 Konstrukcija vpenjalne glave Softsynchro® (slika 13)



Slika 13: Prikaz sestave Softsynchro® z uporabo adapterja

A

Vpetje vpenjalne glave Softsynchro® glede na stroj (DIN69893 A, C, DIN2080, DIN69871A, AD, B... ali cilindrično vpetje DIN 1835B+E, ki ga lahko kombiniramo z različnimi adapterji)

B

Vpenjalna glava s patentiranim sistemom Softsynchro® (na sliki s cilindričnim vpetjem DIN1835B+E). Hlajenje skozi vreteno (IKZ) max 50bar, ali sistem za minimalno mazanje MQL do max 6bar.

C

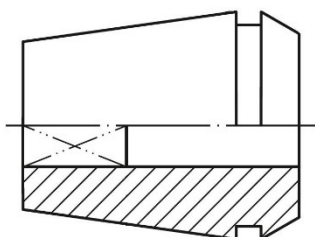
Stročnica ER-GB, s kvadratom za boljše prenašanje momenta (slika 14). Zelo pomembno pri izdelavi navoja s sinhronim pomikom!

D

Tesnilni disk za hlajenje skozi orodje, ali disk za hlajenje ob stebalu orodja

E

Matica za stročnice ER (Hi-Q/ERM, Hi-Q/ERMC, Hi-Q/ER, Hi-Q/ERC)



Slika 14: Stročnica ER-GB s kvadratom

## 2.4 Softsynchro® v različnih izvedbah vpenjalnih glav

Zaradi različnih oblik obdelovancev, vpenjalnih sistemov, pomanjkanja prostora ali želje po hitrejši izdelavi navojev, so pri EMUGE razvili kar nekaj različnih vpenjalnih glav v katere je vgrajen sistem Softsynchro®:

a)

### Softsynchro® Micro

- kot vpenjalna glava (slika 15)
- kot stročnica ER20z vgrajenim Softsynchro® sistemom (slika 16)

za velikosti navojev / <b>Softsynchro® Micro</b>
M0,5 – M4



Slika 15: Softsynchro® Micro



Slika 16: Softsynchro® Micro / ER20

b)

### Softsynchro® 0 – 4 (slika 17)

- v različnih dolžinah
- različna vpetja
- hlajenje skozi vreteno do max 50bar

za velikosti navojev / <b>Softsynchro® 0 – 4</b>			
0	1	3	4
M2-M8	M4-M12	M4-M20	M12-M30



Slika 17: Softsynchro® 1-4

c)

### Softsynchro® Modular IKZ (slika 17)

- z vijakom za nastavljanje dolžine orodja
- hlajenje skozi vreteno (IKZ) do max 50bar
- izvedba MQL / do max 6bar

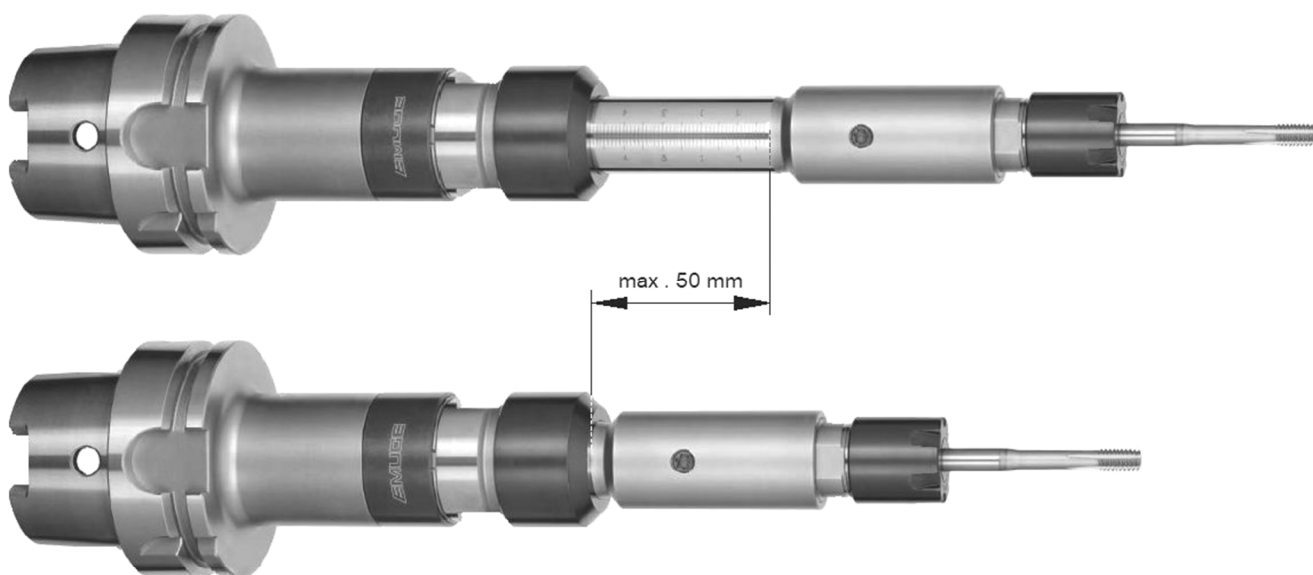
za velikosti navojev / <b>Softsynchro® Modular</b>	
1	3
M4,5 – M12	M10 – M20

d)

### Softsynchro® Xtension, (slika 18)

- nastavljiva dolžina 210 - 260 mm
- vitka oblika
- stročnice ER16-GB
- hlajenje skozi vreteno do max 50 bar.

za velikosti navojev / <b>Softsynchro® Xtension</b>
M4,5 – M12



Slika 18: Softsynchro® Xtension

e)

**Softsynchro® QuickLock**, (slika 19)

- menjava hitroizmenljivega vložka, brez dodatnega orodja
- vpenjanje navojnega orodja neodvisno od vpenjalne glave
- orodje se lahko menja v samem stroju brez dodatnega orodja
- zmanjšana radialna zračnost med hitroizmenljivim vložkom in vpenjalno glavo
- vpenjalna glava v kombinaciji z EM/QuickLock (slika 20) in EM-Z/QuickLock (slika 21) je osno in radialno hermetično tesnjena proti umazaniji
- hitroizmenljivi vložek tip EM-Z/QuickLock z ER stročnicami, omogoča nastavitve dolžine navojnega orodja

za vel. navojev / <b>Softsynchro® QuickLock</b>	
1	3
M4,5 – M12	M10 – M20



Slika 19: Softsynchro® QuickLock



Slika 20: EM/QuickLock



Slika 21: EM-Z/QuickLock

f)

**Softsynchro® 5** (slika 22)

- stročnice ER50 (GB)

za velikost navojev / <b>Softsynchro® 5</b>
M30 – M48



Slika 22: Softsynchro® 5

g)

**Softsynchro® 6** (slika 23)

- vpenjanje orodja z vložki HE2 / IKZZ

za velikosti navojev / <b>Softsynchro® 6</b>
M45 – M76



Slika 23: Softsynchro® 6



Slika 25: Softsynchro® PGR

**3 SKLEP**

Kljub izbiri optimalnega navojnega orodja, imate še vedno vplive, ki onemogočajo optimalne pogoje za izdelavo navoja. Vpenjalna glava Softsynchro® vam omogoča optimalne pogoje pri sinhronem pomiku za daljšo življensko dobo navojnega orodja in kvalitetno izdelan navoj. Kako si vi lahko izboljšate pogoje za izdelavo navoja, preverite na spletni strani ali nas kontaktirajte. Skupaj s tehnologi vam bomo radi svetovali.

[www.emuge-franken.si](http://www.emuge-franken.si)  
[www.emuge-franken.com](http://www.emuge-franken.com)

Viri:

- [1] osna sila: sila v smeri osi predmeta (SSKJ)
- [2] navor (ali starejša izraza vrtilni moment in rotacijski moment) je v fiziki količina, ki nastopa pri kroženju točkastega telesa in vrtenja togega telesa (Wikipedija)
- [3] elastomer je material, ki se po deformaciji sam vrne v začetno obliko (Wikipedija)
- [4] PGR "powRgrip®" je mehansko vpetje proizvajalca REGO-FIX AG

h)

**Speedsynchro® Modular**, (slika 24)

- povečanje vrtljajev vretena za 441%
- prihranek časa
- prihranek energije

za vel. navojev / <b>Speedsynchro® Modular</b>
M1 – M8



Slika 24: Speedsynchro® Modular

i)

**Speedsynchro® PGR** (slika 25)

- vpenjalni sistem PGR [4]

za velikosti navojev / <b>Speedsynchro® PGR</b>	
1	3
M4 – M12	M8 – M20

## STEADYLINE - PREMAGOVANJE IZZIVOV DOLGIH PREVISOV REZALNIH ORODIJ

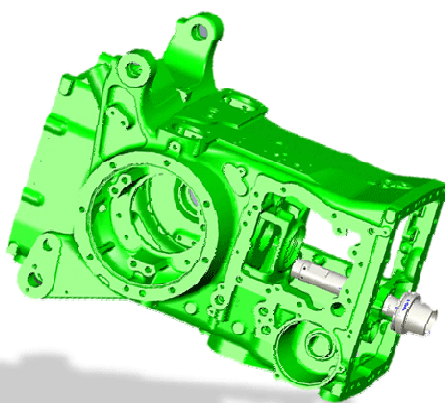
**Zoran SVENŠEK**  
SECO TOOLS SI d.o.o.

### IZVLEČEK

V večini industrijskih segmentov je trend izdelave večjih in bolj zapletenih obdelovancev. Ti veliki obdelovanci imajo pogosto globoke votline, ki zahtevajo dolgo orodje. Ta orodja z daljšim previsom imajo večjo nagnjenost k vibriranju, kar bo negativno vplivalo na proizvodni proces: nujnost zmanjšanja rezalnih pogojev, težavnost pri doseganju zelene kakovosti, zlasti površinske obdelave, prezgodnja obraba rezalnega roba, če jih samo nekaj poimenujemo. Po drugi strani, da bi ostali konkurenčni na svojih trgih, kupci nenehno iščejo izboljšanje produktivnosti. Vibracije so nezdržljive s produktivnostjo in kakovostjo. Zato je rešitev za odstranitev vibracij nujna za mnoge stranke.

### 1 UVOD

Izdelki Steadyline®, ki vključujejo stroškovno učinkovite vpenjalne trne za rezkanje, kot tudi stružna držala in drogove za izstruževanje, opravljajo tipične dolge operacije dvakrat hitreje kot tradicionalna orodja. Dodatno še te visoko produktivne rešitve za blaženje vibracij ponujajo visoke stopnje odstranjevanja kovin, gladke površine obdelave in dolgo življenjsko dobo orodja – vse to ob zmanjševanju stresa na obdelovalne stroje.

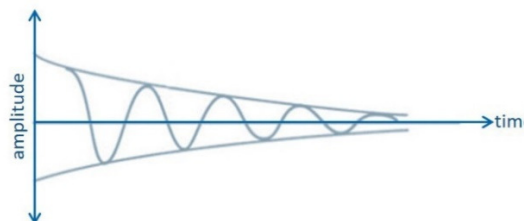


Slika 1: Kompleksnost obdelovancev

Vibracija je periodično gibanje delcev elastičnega telesa ali medija, ki se gibljejo alternativno iz ene v drugo smer iz položaja ravnotežja tega telesa, ko je to ravnovesje moteno.

### 2.2 Amplituda

Amplituda je premik objekta glede na njegov začetni položaj. Brez zunanje sile, uporabljene na predmetu, se bo amplituda vibracij sčasoma zmanjšala.



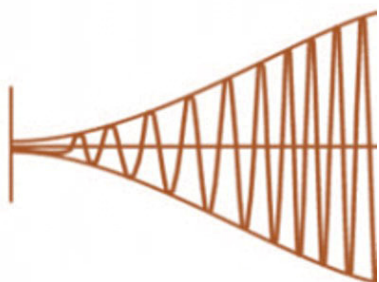
Slika 2: Amplituda

### 2.4 Resonanca

Če se energija redno dobavlja v sistem, pri enaki frekvenci ali zelo blizu svoje naravne (nedušene) frekvence, se bo amplituda nihanja povečala: to je pojem resonanca.

## 2 KAJ JE VIBRACIJA

### 2.1 Vibracija



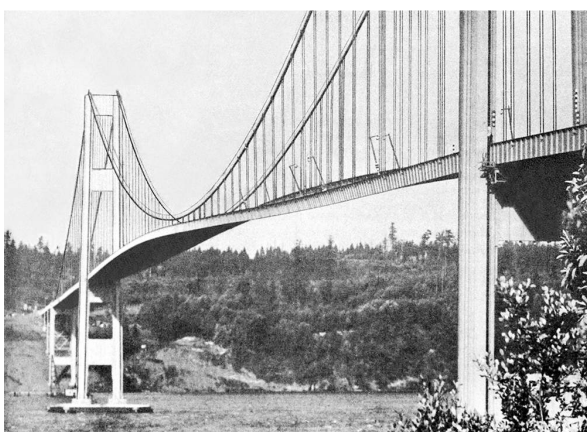
Slika 3: Resonanca

## 2.5 Naravna frekvenca

Naravna frekvenca je hitrost, pri kateri objekt vibrira, ko ga zunanja sila ne moti. Ko se stabilen sistem odmakne od svojega položaja ravnotežja, se bo vrnil v to ravnotežno pozicijo skozi nihanje, specifičnega za ta sistem. To je naravna frekvenca sistema.

Različne značilnosti vplivajo na naravno frekvenco sistema: njegovo dolžino, širino, elastičnost materiala, vpenjanje ali svobodo gibanja itd. Če amplituda nihanja preseže zmogljivost sistema, da absorbira energijo, se bo zlomila. Ta pojav je na primer privedel do razpada mostu Tacoma Narrows Bridge, ki je bil viseči most v ameriški zvezni državi Washington.

Razpad mostu je imel trajen učinek na znanost in inženiring. V mnogih učbenikih fizike je dogodek predstavljen kot primer elementarne prisilne resonance; most se je zrušil, ker so vetrovi z normalno hitrostjo povzročili aeroelastični sunek, ki je ustrezal naravni frekvenci mostu.



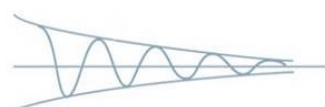
Slika 4: most Tacoma Narrows Bridge

## 3 VRSTE VIBRACIJ

Vibracije lahko razdelimo na tri vrste – prosta, prisilna in nestabilna vibracija.

### 3.1 Prosta vibracija

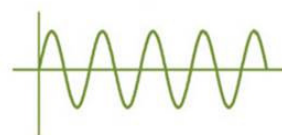
Je vrsta vibracije, pri kateri je enkrat uporabljena sila na telesu in se mu dovoli, da vibrira na naravni frekvenci. Vibracije bodo postopoma izginile. Kitararska struna je primer prostega vibriranja.



Slika 5: Prosta vibracija

### 3.2 Prisilna vibracija

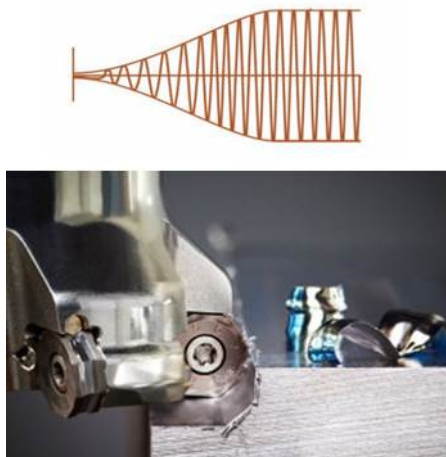
Je vrsta vibracije, pri kateri se na mehanski sistem večkrat uporabi sila. Lahko se sproži nezaželeno ali prostovoljno, kot na primer, ko se pralni stroj trese zaradi neravnovesja.



Slika 6: Prisilna vibracija

### 3.3 Nestabilna vibracija

Nestabilen sistem začne spontano vibrirati sam od sebe. V tem primeru se bo amplituda vibracij povečala, dokler ne bo nelinearni učinek omejil nadaljnje povečanje. Nestabilne vibracije so tiste, ki se pojavijo med obdelavo z rezalnimi orodji dolgih previsov.



Slika 7: Nestabilna vibracija

## 4 VPLIV VIBRACIJ

Vibracije imajo negativen vpliv na proces obdelave. To vodi do:

- Slabe kakovosti površine, nastanek srha
- Visok ali neenakomeren nastanek toplote
- Odstopanja od toleranc
- Prekomerni hrup
- Krhanje rezalnega roba
- Poškodba stroja (vreteno...)
- Povečana potreba po moči

Neposredne posledice so visoke ravni izmeta, zmanjšani rezalni parametri, da bi se izognili vibracijam, prezgodnji obrabi orodja in vretena stroja. V bistvu vibracije zmanjšujejo produktivnost in povečujejo proizvodne stroške.

## 5 STABILNOST PRI OBDELAVI

Na stabilnost obdelovalnega procesa vplivajo številni dejavniki. V podjetju Seco lahko neposredno podpiramo stranke z optimiziranimi rešitvami v smislu vpenjalnih orodij, rezkarjev,

izbire ploščic, rezalnih parametrov, pravilne izbire hladilnega sredstva.

Upoštevati je treba tudi druge parametre, tudi če nimamo neposrednega vpliva na: togost stroja, vpenjanje obdelovanca, vreteno stroja in kakovost pritrditve držala orodja ter seveda material obdelovanca in njegova izvedba. Vsi ti parametri morajo biti dobro nadzorovani, da se zagotovi najboljša stabilnost procesa.



Slika 8: Stabilnost pri obdelavi

## 6 TEHNIKE ZA IZBOLJŠANJE STABILNOSTI

Za zmanjšanje vibracij med obdelavo lahko uporabimo različne rešitve:

- Zmanjšamo parametre rezanja, da zmanjšate omejitve orodja, vendar bo to negativno vplivalo na produktivnost
- Povečamo statično togost orodja, na primer z materiali z nižjo elastičnostjo
- Z uporabo posebnega tipa držala za orodje, ki ima možnost dušenja vibracij.

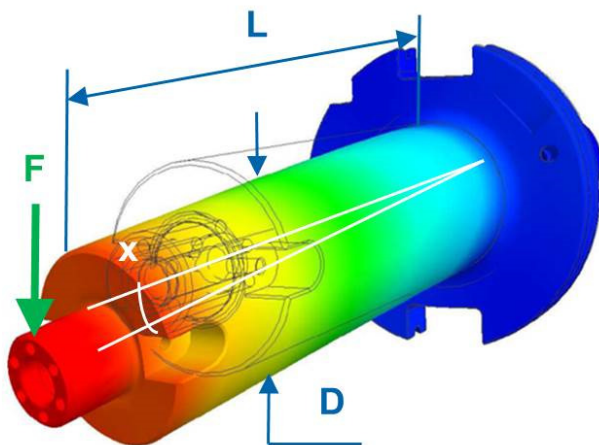


Slika 9: Izboljšanje stabilnosti

## 7 UČINEK PREVISA: ODKLON ORODJA

Sposobnost premikanja iz ene v drugo smer se imenuje tudi odklon. Na odklon orodja vplivajo različni parametri:

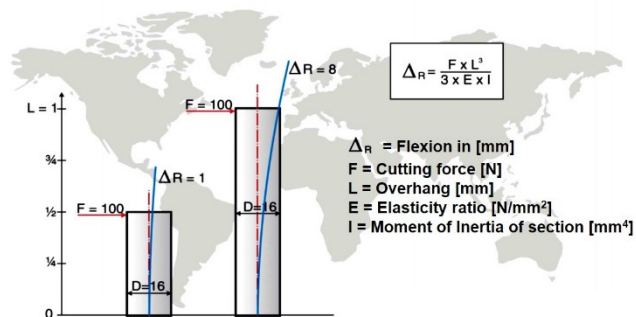
- Dolžina telesa
- Premer telesa
- Gostota in elastičnost materiala



Slika 10: Odklon orodja

### 7.1 Učinek dolžine na odklon

Odklon orodja je neposredno povezan z njegovim previsom in je na tretjo potenco: daljše je orodje, večji je odklon. Na primer, dvakrat daljše orodje se bo 8-krat odklonilo.

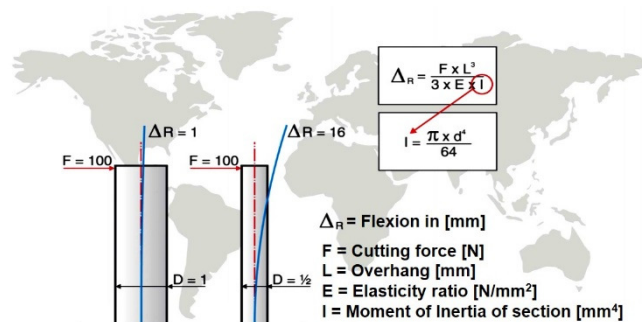


Slika 11: Učinek dolžine na odklon

### 7.2 Učinek premera na odklon

Drugi pomemben parameter je zunanji premer orodja. Pri debelejšem telesu orodja je večja zmožnost vzdržati močne radialne sile med obdelavo. Odklon je obratno sorazmeren z zunanjim premerom stebra, in sicer na četrto potenco. Zato se bo telo s polovičnim premerom odklonilo za 16-krat več!

Zato je bistveno izbrati orodje, ki je čim krajše in debelejšo; Ne uporabljajmo 10xD, kadar je dovolj 8xD in vedno uporabite stožčasto ojačano telo, kadar je to mogoče.



Slika 12: Učinek premera na odklon

### 7.3 Modul elastičnosti

Modul elastičnosti materiala, znan tudi kot »Youngov modul«, je merilo togosti trdnega materiala. Določa razmerje med napetostjo, ki se

nanaša na material, in sorazmerno deformacijo (z drugimi besedami, njegovo upogibanje). Visok Youngov modul je značilen za zelo tog material, nizek Youngov modul pa za zelo elastičen material.

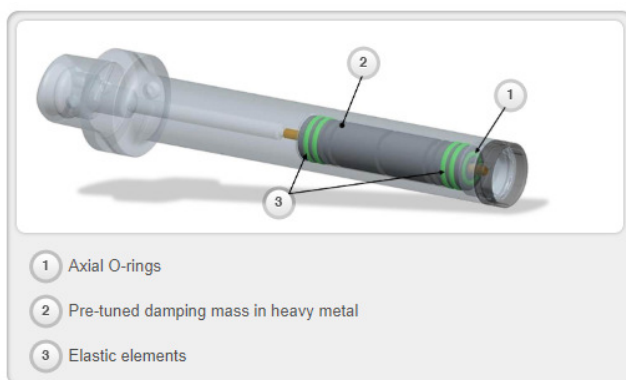
Tabela 1: Youngov modul

Material	Youngov modul (GPa)
Volframov karbid	~600
Keramična zlitina	~300
Volframova zlitina	~350
Titanova zlitina	110
Jeklo	210
Aluminij	70

## 8 PRINCIP STEADYLINE

Zmožnost orodja, da prenese vibracije, se lahko poveča tudi z dušilnim sistemom, kot je Steadyline. Steadyline je pasivni, dinamični dušilni sistem. »Pasiven«, ker v sistem ni dovajana nobena zunanja energija, dinamičen, ker se učinek dušenja vibracij sproži z gibanjem sistema.

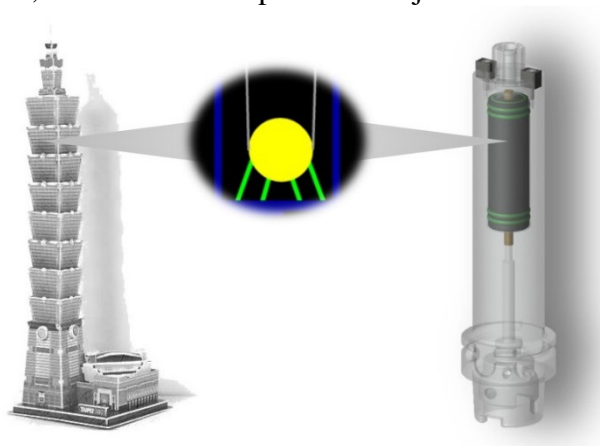
Steadyline sistem je sestavljen iz dušilne mase, izdelane iz kovine z visoko gostoto, ki zmanjšuje njegove splošne dimenzije, vpet v telesu orodja s pomočjo elastičnih elementov.



Slika 13: Princip Steadyline

Steadyline lahko primerjamo s stolpom Tapei 101, kjer so arhitekti na vrhu stavbe uporabili 600-tonsko nihalo, ki ohranja stavbo stabilno v primeru potresov ali tajfunov.

Isti koncept se uporablja za oblikovanje Steadyline. Masa težke kovine se vstavi na vrh držala, da se odzove na prvo vibracijo.



Slika 14: Primerjava stolp Tapei 101 - Steadyline

## 9 STEADYLINE PONUDBA

### 9.1 Rezkanje

Seco je dobro znan po svojih kompetencah pri rezkanju. Kot tak, je Seco zgradil široko paleto vpenjalnih trnov Steadyline za operacije rezkanja. Ta serija je sestavljena iz trnov za rezkalne glave s vpenjalnim delom premera od 16 do 40 mm, kot tudi z Steadyline Combimaster, z navojem M12 do M20.

Na voljo so številni priključki na strani stroja, vključno z BT, DIN, CAT (tako konvencionalne kot konične različice), HSK-A in Seco-Capto.



Slika 15: Steadyline rezkanje

## 9.2 Struženje

Steadyline stružna držala so na voljo v različnih premerih, dolžinah in načinu vpenjanja:

- Premer  $\varnothing 25\text{mm}$ ,  $\varnothing 32\text{mm}$ ,  $\varnothing 40\text{mm}$ ,  $\varnothing 50\text{mm}$
- Dolžina 6xD, 8xD, 10xD
- Vpenjanje Seco-Capto, HSK-T/A, cilindrično

Posebnost Steadyline stružnih držal je modularnost. Tako je možno različne operacije struženja opraviti samo z enim držalom. Potrebno je le menjati GL stružno glavo.

GL stružne glave so na voljo:

- Velikosti GL25, GL32, GL40, GL50
- Smer rezanja: levo in desno
- Negativne ploščice za grobo: CN, DN, WN
- Pozitivne ploščice za fino: CC, DC, TC
- CBN ploščice: RN, TN
- Glave za navojne ploščice
- Glave za MDT grezenje in odrezovanje



Slika 16: Steadyline struženje

## 9.3 Izstruževanje

Steadyline stružna držala lahko uporabimo tudi za aplikacije izstruževanja do 10xD:

- Grobo izstruževanje z glavo EPB® 610 – za premere od 36 – 116 mm
- Fino izstruževanje z glavo EPB® 620 – za premere od 34 – 115 mm



Slika 17: Steadyline izstruževanje

## 10 SKLEP

Vsak vidik držal orodja Steadyline je bil zasnovan z upoštevanjem povečanja produktivnosti, zmogljivosti in donosnosti:

- Prihranek stroškov in časa zaradi učinkovitega sistema za menjavo orodij s pritrdilno matico s finim navojem
- Optimalen učinek dušenja s kratkimi in kompaktnimi GL glavami
- Povezava na osnovi »Polylobe« za visoko natančnost in 100% ponovljivost
- Povečana fleksibilnost z uporabo istih držal za struženje in izstruževanje
- Velika izbira stružnih glav za povečanje vsestranskosti
- Dovajanje hladilne tekočine skozi telo za izboljšanje življenjske dobe orodja in odvajanje odrezkov

Viri:

Interno gradivo podjetja SECO TOOLS AB

## CRADLE TO CRADLE® DESIGN INNOVATIONS

**Marko KRAJNER<sup>1</sup>, Roman KUNIČ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>3ZEN d.o.o., Tacenska cesta 125B, 1000 Ljubljana, krajner@epeaswitzerland.com,

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, roman.kunic@fgg.uni-lj.si

### IZVLEČEK

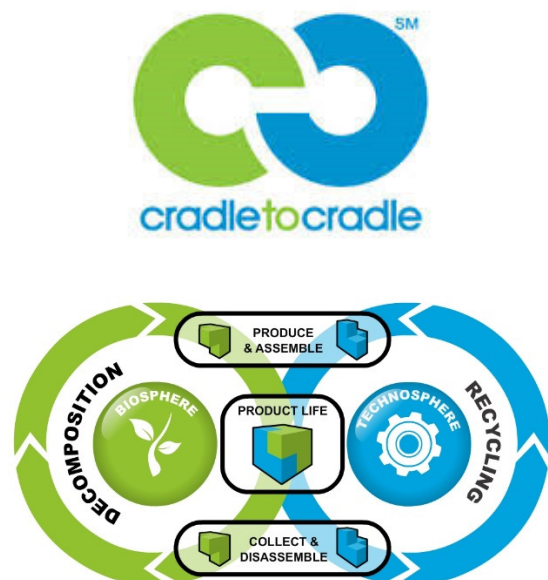
*Koncept Od zibelke do zibelke (Cradle to Cradle®) opredeljuje in razvija ponovno uporabo produktov. V primerjavi s tradicionalnim recikliranjem, ta ohranja enako raven kakovosti surovin skozi življenjske cikle več izdelkov, uporabljajo pa se samo varne kemikalije. Produkti so razviti v skladu z načelom, da se ohrani kakovost surovin skozi več življenjskih ciklov, tudi če upoštevamo uporabo, proizvodne procese in ponovno uporabo. To pomeni: nič odpadkov, saj se vse sestavine obravnava kot hranila za naslednji cikel. Pravi materiali so vključeni v določene cikle (metabolizem) ob pravem času in na pravem kraju. Pristop krožnega gospodarstva analizira ekonomiko recikliranja v verigi dodane vrednosti, kar povzroča ustvarjanje prihodka iz recikliranih materialov. Cradle to Cradle® opredeljuje ohranjanje kakovosti, kot tudi ekonomičnost poslovanja v verigi dodane vrednosti. Ponovna uporaba materialov iz Cradle to Cradle® produktov omogoča, da je cena materialov čim bližja nabavni ceni materialov. Tudi če se zaradi predelave ali čiščenja pojavijo dodatni stroški, so ti še vedno nižji od tržne cene materiala. Cradle to Cradle® model prenaša načelo »kakovost je enaka količini« do industrijskih sistemov. Tok materialov je projektiran tako, da je koristen in uporaben za obnovo in ohranjanje bioloških in tehničnih virov. Ta pristop izhaja iz težnje po upočasnjevanju in zmanjšanju negativnih vplivov na okolje. Predstavljeni bodo prebojni projekti in inovacije podjetij Bayonix, Werner&Mertz, Wolford in Bicar.*

### 1 KAJ JE CRADLE TO CRADLE?

Premišljeno načrtovanje izdelkov in storitev omogoča vzdržno, okolju prijazno delovanje brez škodljivega odpada. Bistveni predlog koncepta CRADLE TO CRADLE (C2C) je odmik od prizadevanja za »manj škodljivo« delovanje in odločanje za veliko bolj inovativne pristope, ki izdelke in storitve načrtujejo in oblikujejo v »zelo pozitivni« smeri. Taki novi izdelki so stroškovno optimizirani, saj niso razsipni glede na porabljeno energijo in uporabljene materiale kakor tudi glede na posledice, ki jih povzročajo v katerem koli delu življenjskega cikla. Naravne omejitve in gospodarska kriza čedalje jasneje kažejo na vitalno potrebo vsake razvite družbe po bolj premišljenem ravnanju z viri, ki so (še) na voljo. Učinkovita uporaba virov je v tem smislu vse manj okoljski izziv in vse bolj osnovni pogoj za doseganje konkurenčnosti podjetij, tehnologij, gospodarstev in blaginje prebivalcev.

Podatki Eurostat kažejo, da smo v Sloveniji glede snovne produktivnosti precej neučinkoviti. Na enoto ustvarjenega BDP porabimo več naravnih virov, kot je povprečje v EU in se s stališča

konkurenčnosti dolgoročno postavljamo v izredno negotov položaj.



Slika 1: CRADLE TO CRADLE logotip z snovnim tokom materiala v dveh ciklih: biološki (biosfera) in tehnološki (tehnosfera) cikel

## 1.1 Temeljna načela CRADLE TO CRADLE

Ključno načelo, odprava koncepta odpadka, temelji na posnemanju kroženja snovi v naravi, kjer proces vsakega organizma v ekosistemih prispeva k zdravemu in dobremu delovanju celotnega sistema. Odpadek enega organizma je hrana drugemu. Odpadek enega izdelka (storitve) bi lahko bil vir za drugi izdelek(storitve). Načrti, ki jih delamo ljudje, bi lahko posnemali take tokokroge snovi že pri snovanju. Sončna energija, v nasprotju z jedrsko in energijo iz fosilnih goriv, je na voljo brez ogrožanja možnosti prihodnjih generacij. Načelo uporabe obnovljivih virov spodbuja zanesljivo in donosno uporabo razpoložljivih in obnovljivih virov energije, tudi v obliki vetra ali biomase.

## 1.2 Ključne opredelitve CRADLE TO CRADLE

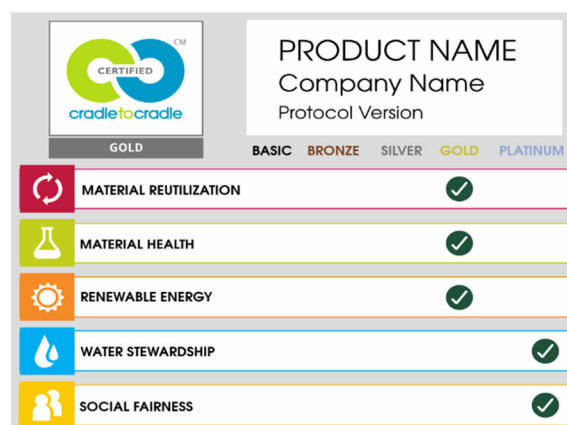
Koncept med ključne uvršča opredelitev okoljske učinkovitosti (angl. eco-effectiveness), ki se ločuje od okoljskega izkoristka (angl. eco-efficiency). Če okoljski izkoristek kvantificira, okoljska učinkovitost kvalificira. Pomeni namreč strategijo oblikovanja in načrtovanja procesov, v katerih izdelki in odpadki lahko postanejo »hrana«. Bodisi v naravnih ekosistemih (tehnosfera) bodisi v industrijskih (tehnosfera) sistemih, kjer lahko v zaprtih krogih krožijo neskončno dolgo, ustvarjajo vrednost in so v samem bistvu zdravi ter varni. Koncept med ključne uvršča opredelitev naravnega in tehnološkega snovnega tokokroga. Izdelki, kot so na primer naravna vlakna, kozmetika, detergenti, so zasnovani tako, da se lahko brez tveganj vrnejo v naravni snovni tokokrog. Tam se razgradijo na nestrupena organska hranila, ki pomagajo pri rasti rastlin, in spet postanejo del novih izdelkov. Izdelki, kot so na primer televizijski sprejemniki, avtomobili, sintetična vlakna, so »tehnične surovine«, ki se po koncu svoje življenjske dobe vrnejo v tehnološki snovni tokokrog – proizvajalec sestavne dele po koncu življenjske dobe izdelka uporabi pri proizvodnji novih izdelkov.

## 2 CERTIFICIRANJE PROIZVODOV CRADLE TO CRADLE

Snovalca koncepta sta William McDonough in dr. Michael Braungart. Razvila sta sistem certificiranja, ki podjetjem ponuja možnost pridobitve potrdila, ki zagotavlja skladnost z načeli koncepta (Cradle to Cradle<sup>SM</sup>). Pri dodeljevanju certifikata upoštevajo varnost, škodljivost zdravju in reciklabilnost izdelkov, vidik uporabe obnovljivih virov, odgovornega ravnanja z vodnimi viri pa tudi druge družbene vidike. Certifikat je veljaven leto dni, za njegovo vnovično podelitev pa mora podjetje vsako leto dokazati kakovost svojega izdelka. Mogoče so pet ravni certificiranja: osnovna, bronasta, srebrna, zlata in platinasta, ki kažejo na to, v kolikšni meri izdelki ali storitve ustrezajo merilom koncepta od zibke do zibke.

Izkušnje podjetij, ki so vpeljala načela koncepta od zibke do zibke pri vsakodnevnem poslovanju kažejo te merljive koristi:

- izboljšanje strateškega profila podjetja,
- izboljšanje poslovnega modela,
- optimizacija stroškov za prihodnost,
- prehitvanje zakonskih obvez,
- oblikovanje pozitivnega, inovativnega ozračja.



Slika 2: CRADLE TO CRADLE certificiranje z indeksi zahtevnosti

### 3 PRIMERI INOVATIVNIH CERTIFICIRANIH PRODUKTOV

#### 3.1 BAYONIX flaška iz naravnih vlaken

V biološkem sistemu je flaška Bayonix eno večjih sistemskih rešitev proti prekomernemu onesnaževanju s plastiko.

Vsako leto se v plastenke vloži 89 milijard litrov vode. Samo v Nemčiji se vsako sekundo porabi 1500 plasten. Približno 80% teh steklenic konča v smeteh. V Nemčiji je v obtoku okoli 800 milijonov takšnih steklenic, zato se vsako leto v to državo vrne približno 500-600 milijonov plasten. Po vsem svetu se letno na odlagališčih in v naših oceanih nabere 35 milijard plastičnih steklenic.

Ustekleničena voda povzroča 90 do 1000 krat več onesnaževanja okolja kot voda iz pipe.

Za proizvodnjo plastičnih steklenic za enkratno uporabo je za proizvodnjo vsake steklenice potrebnih približno 3 litre vode.

Med Havaji in ameriško celino je otok, ki je velik kot Srednja Evropa, zgrajen iz zavrženih plastičnih odpadkov. Ocenjuje se, da tehta več kot tri milijone ton. Znanstveniki so izračunali, da je šestkrat več plastike kot planktona v morju. Ko se razčleni v mikroplastiko, lahko vstopijo tudi v našo prehranjevalno verigo.

Plastična steklenička za enkratno uporabo traja približno 450 let, da se naravno razgradi. Surovine se zmanjšujejo in kakovost recikliranja se slabša. Okolje izrabljamo 1,6-krat intenzivneje, kot se narava lahko sama regenerira.

Nevarnosti so topila in mehčalci, kot so ftalati, antimon, bisfenol in še veliko več.

Že leta 2009 so znanstveniki iz Frankfurta ugotovili, da mineralne vode, napolnjene s komercialnimi plastenkami in kupljene v nemških supermarketih, vsebujejo hormonsko aktivne onesnaževalce. Hormonska onesnaževala lahko močno poškodujejo hormonski sistem in tako prispevajo k resnim zdravstvenim težavam, kot so imunske pomanjkljivosti in nezmožnost razmnoževanja. Ogroženi so plodovi in majhni otroci, pri katerih lahko tudi najmanjše poškodbe povzročijo kasnejšo škodo.

Prva športna steklenica, ki je prejela certifikat Cradle to Cradle Certified na "zlatem" nivoju.

Zelo lahka steklenica, v kateri je tekočina 100% obdana z materialom brez škodljivih snovi!

Prva športna steklenička je 100% biorazgradljiva in 100% reciklirana.



Slika 3: Certificiran proizvod BAYONIX

#### 3.2 Werner & Mertz

Podjetje Werner & Mertz je samostojno razvilo surovino in formuliralo sistem ocenjevanja. Zdaj deluje na naslednjem koraku, ki preučuje sistem v nasprotju z objektivnimi kriteriji. Merilo je idejni Cradle to Cradle® projekt, ki ga spodbuja agencija za varstvo okolja (EPEA) – mednarodna raziskovalna in okoljska svetovalna institucija s sedežem v Hamburgu. Perspektiva zagovarja, da je Cradle to Cradle® v neposrednem nasprotju glede na EPEA načelo linearne proizvodnje, znane kot "Cradle to Grave". V tem konceptu se materialni tokovi tvorijo brez zavestnega upoštevanja varovanja naravnih virov.

Cradle to Cradle® temelji na bioloških in tehničnih ciklih, ne pa na oblikovanju izdelka. Izziv je načrtovanje napredka proizvoda skozi celoten materialni cikel. Materiali za izdelek morajo biti primerni za popolno in varno vrnitev v biosfero ali za predelavo in kakovostno ponovno uporabo. Ključnega pomena v procesu načrtovanja je razvoj celovite konotacije kakovosti s pozitivno opredelitvijo sestavin. Izdelki morajo biti v prihodnosti zasnovani tako, da so uporabni za materialne cikle. Potrebno je izboljšati kakovost recikliranih frakcij tako, da je možno recikliranje na enaki ali celo višji ravni.

Sestavine, vključno s pigmenti in aditivi, je potrebno izbrati tako, da se prepreči toksične učinke med uporabo in tudi v drugih fazah, kot so proizvodnja, recikliranje in ponovna uporaba. Surovo olje, na primer, uporabljeno enkrat, kot surovina za plastiko, ostane v krogu in se ne nepovratno sežge. Energijo, potrebno za recikliranje in vse ostale proizvodne procese, je

potrebno pripraviti iz obnovljivih virov in na okolju čim bolj prijazen način. Dober primer tega je proizvodnja nove PET embalažne plastenke iz stare PET plastenke.



Slika 4: Certificiran produkt WERNER&MERTZ Frosch GOLD

### 3.3 WOLFORD

Avstrijsko tekstilno podjetje Wolford z lokacijama Bregenz v Avstriji in Murska Sobota v Sloveniji, odpira novo zgodbo v smeri krožnega gospodarstva. To je preboj na področju oblačil in tekstila.

Po petih letih timskega dela v konzorciju 15 podjetij so uspeli certificirati tako biološki cikel razgradnje preko industrijskega kompostiranja kot tehnični cikel prek razgradnje tekstilij.

Obe certifikaciji sta izvedeni na GOLD Level Cradle to Cradle Certified™ in videz je "luksuzen".



Slika 5: Certificirana linija premium textila Wolford

### 3.4 BICAR mobilni koncept prihodnosti

Raziskovalna skupina Univerze za uporabne znanosti v Zürichu, ki sta jo vodila Adrian Burri in Hans-Jörg Dennig, je začela delo na novi viziji za inovativne individualne okolju prijazne mobilne rešitve.

Prvi rezultat raziskovalnega projekta je vizionarski študijski koncept BICAR.

BICAR je poimenovan "zlato oko" kot nov način oblikovanja in doživljanja vožnje na kratkih razdaljah.

Na številnih sejmih po vsem svetu se razpravlja o novem načinu mobilnosti v mestih. BICAR ponuja rešitev. BICAR želi biti certificiran v skladu s certifikacijskim standardom za certificirane izdelke Cradle to Cradle®. Merila certificiranja so naslednja: zdravi vgrajeni materiali, ponovna uporaba materialov, obnovljiva energija in kompenzacija CO<sub>2</sub>, vodni viri in socialna pravičnost za doseganje pozitivnega vpliva na družbo in okolje.



Slika 6: BICAR

## 4 ZAKLJUČEK

Vpliv na okolje nastopi takoj, ko so proizvodi v zibelki (pričetek proizvodnje). Odpadki in emisije pa so neizogibni, ko je izdelek v "grobu", seveda v primeru če virov ne uporabimo ponovno.

Surovin, posebej še čistih surovin, je vse manj – torej moramo glede tega nekaj storiti!

### VIRI:

- [1] [www.epeaswitzerland.com](http://www.epeaswitzerland.com)
- [2] <https://bayonix.com/>
- [3] <http://www.c2c-centre.com/news/frosch-first-cleaning-product-cradle-cradle%20AE-certified-gold-certificate>
- [4] <https://www.c2ccertified.org/products/scorecard/technical-cycles-legwear-seamless-tight-hosiery-lingerie-bodysuits-etc-wolf>
- [5] <https://www.c2ccertified.org/products/scorecard/biological-cycles-legwear-seamless-tight-hosiery-lingerie-bodysuits-etc-wol>
- [6] <https://www.shareyourbicar.com/>

## PATENTNO VARSTVO

**Stanislav KALUŽA**

Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino

### IZVLEČEK

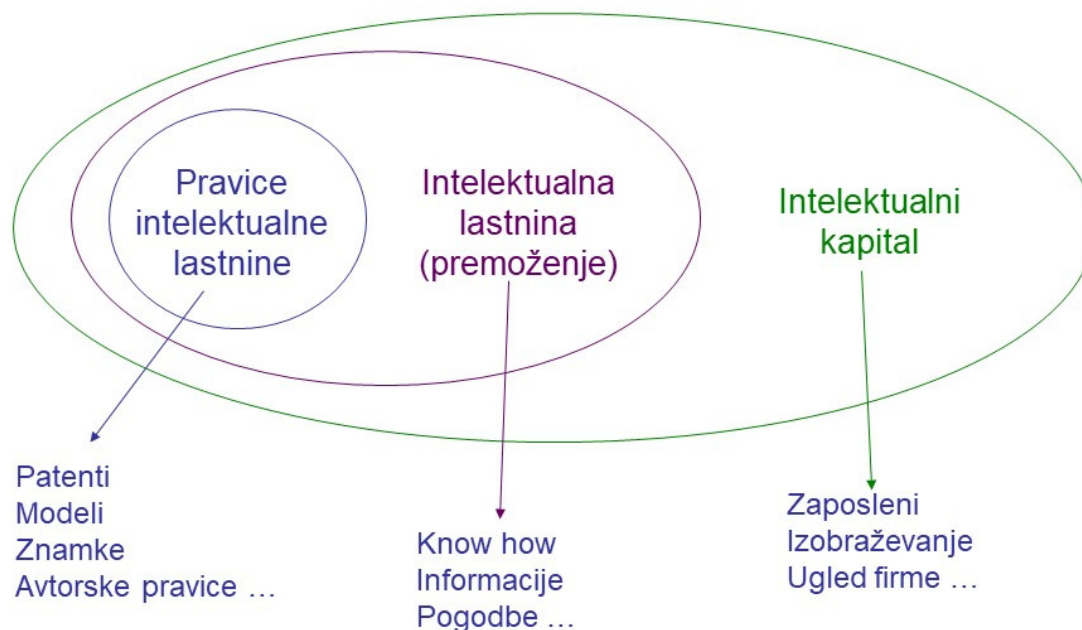
V prispevku bo predstavljen Urad RS za intelektualno lastnino, njegove naloge in pristojnosti, intelektualna lastnina in varstvo pravic intelektualne lastnine s poudarkom na patentnem varstvu. Poleg osnov patentnega varstva bodo obravnavana pomembna vprašanja, ki si jih bi moral zastaviti vsak izumitelj oz. potencialni prijavitelj patentne prijave:

- Zakaj patentirati ?
- Kaj želim doseči s patentno prijavo ?
- Kdaj patentirati ?
- Kje patentirati ?

Predstavljena bo tudi posebna storitev URSIL-a, ki je namenjena inovativnim malim in srednjim podjetjem s tržno zanimivimi proizvodi, ki želijo ugotoviti, kaj vse lahko zavarujejo kot svojo intelektualno lastnino in kakšne prednosti jim to lahko prinese. V sodelovanju z Evropskim patentnim uradom URSIL izvaja projekt Prva informacija o intelektualni lastnini (s poudarkom na inudstrijski lastnini), ki je namenjena inovativnim malim in srednjim podjetjem brez izkušenj na tem področju. Pridobljene nove informacije in novo znanje lahko pomenijo prednost pred konkurenco.



## “Intelektualna” lastnina sodobnega podjetja



## Kaj sodi med pravice intelektualne lastnine

Ime izdelka,  
ime proizvajalca -> **znamka**

Čipi -> **topografija**  
polprevodniških vezij

Oblika izdelka -> **model**

Tehnične rešitve -> **patent**



Glasba,  
fotografija na ekranu, -> **avtorske pravice**  
računalniški programi

Prospekti,  
reklamni spoti, -> **avtorske pravice**  
domača stran

Podatki o kupcih,  
stroškovnik izdelave, -> **poslovna skrivnost**  
know how

spoštujmo *intelektualna* lastnino



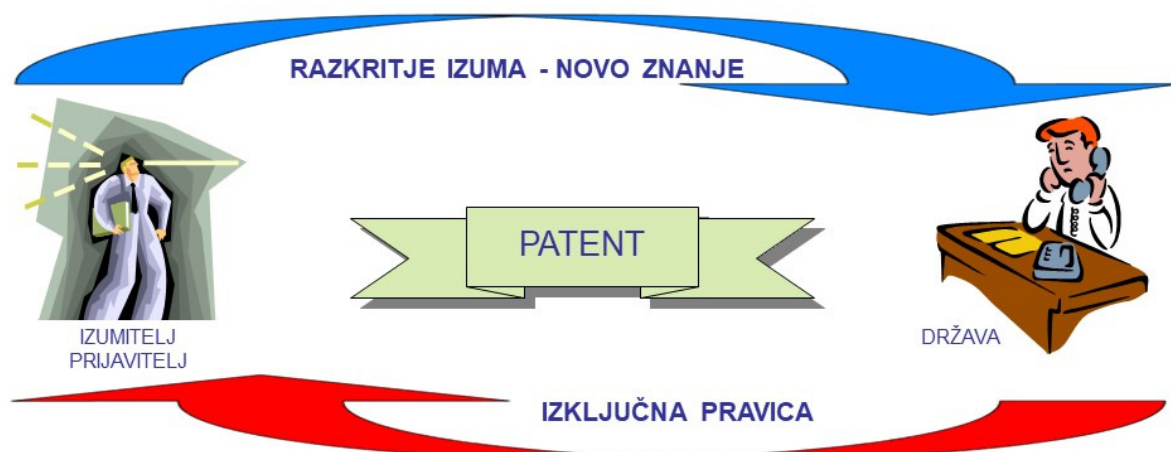
## Cilji in naloge urada

- ✓ Sprejemanje prijav, s katerimi se zahteva pridobite pravic industrijske lastnine
- ✓ Samostojno in neodvisno vodenje postopkov, podeljevanje patentov ter registracija modelov in znamk
- ✓ Vodenje registrov pravic industrijske lastnine in drugih registrov
- ✓ Posredovanje in izmenjava informacij s področja industrijske lastnine
- ✓ Zastopanje RS pri tujih in mednarodnih organizacijah, ki delujejo na področju intelektualne lastnine
- ✓ Promocija in uveljavljanje načel intelektualne lastnine

spoštujmo *intelektualna* lastnino



## PATENT JE PRAVICA NA PODLAGI VAROVANEGA IZUMA



spoštujmo *intelektualna* lastnino



## KAJ JE IZUM?

- ✓ izum je individualni dosežek tehnične narave (nova in inventivna rešitev tehničnega problema)
- ✓ rezultat je lahko v celoti nova naprava ali nov postopek, lahko pa je le izboljšava že znanih naprav ali postopkov

## KAJ JE PATENT?

- ✓ Patent je ekskluzivna pravica, ki jo podeli država za izum, ki je nov, je na inventivni ravni in je industrijsko uporabljen

spoštujmo *intelektualna* lastnino





## Od ideje do uveljavljanja patenta kot lastnine

- |   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
| ✓ Ideja   | } | Izumitelj oz. prijavitelj         |
| ✓ Pregled stanja tehnike                              |   |                                   |
| ✓ Razvoj  |   |                                   |
| ✓ Rešitev tehničnega problema                         |   |                                   |
| ✓ (Ponovno pregled stanja tehnike)                    |   |                                   |
| ✓ Vložitev patentne prijave (strategija)              |   |                                   |
| ✓ Postopek podelitve SI patenta                       | } | Urad RS za intelektualno lastnino |
| ✓ Patent  |   |                                   |
| ✓ Sodno varstvo in uveljavljanje patenta kot lastnine | } | Imetnik patenta                   |

spoštujmo *intelektualna* lastnino



## Zakaj patentirati?

- ✓ Patentiramo zato, da drugim onemogočimo uporabo naših rešitev brez našega dovoljenja
- ✓ Patent, podeljen na podlagi popolnega preizkusa, močno zmanjša možnosti, da bi s svojimi rešitvami naleteli na že veljavne pravice industrijske lastnine drugih oseb
- ✓ Patentiranje je pomembno takrat, ko je kopiranje rešitev zelo enostavno in poceni

## Kdaj vložiti patentno prijavo?

- ✓ Čimprej, vsekakor pa pred javno predstavitvijo izuma, pred oglaševanjem in trženjem (začasne pravice tečejo od dneva vložitve patentne prijave)
- ✓ Čimprej po tistem, ko smo rešitev dodelali do te mere, da jo lahko uporabimo

spoštujmo *intelektualna* lastnino



## Kje patentirati?

- ✓ Kje?
  - ✓ Patentno varstvo je teritorialno omejeno
  
  - ✓ Prijave načeloma vlagamo povsod tam, kjer je želimo zavarovati naše interese
    - ✓ kjer so konkurenti,
    - ✓ kjer bi lahko konkurent proizvajal ali tržil izdelek po naši rešitvi
  
  - ✓ Običajno najprej v lastni državi (ni pa nujno), nato pa v roku 12 mesecev še v drugje
  
  - ✓ “Svetovni” patent ne obstaja

spoštujmo *intelektualna* lastnino



## Prednosti patentnega varstva

- ✓ Preprečevanje kopiranja – edina dovoljena oblika tržnega monopola
- ✓ S patentnim varstvom svojih novih rešitev konkurenci otežimo izrabo podatkov o naših rešitvah in jo prisilimo v “razvijanje mimo” - čas
- ✓ Patent izboljša pogajalska izhodišča s konkurenco ali partnerji
- ✓ Vrednotenje pravic, lažje pridobivanje investicij in strateških partnerjev
- ✓ Lahko ustvarja dodaten dohodek iz licenciranja ali prodaje pravic
- ✓ Uporaba varstva pri oglaševanju – višje marže, povčanje prepoznavnosti in občutka varnosti pri potrošnikih
- ✓ Pozitiven ugled podjetja

spoštujmo *intelektualna* lastnino





---

## Posebna storitev „Prva informacija o intelektualni lastnini“

# Prva i

- ✓ Ali je vaše podjetje inovativno?
- ✓ Imate dobre, inovativne zamisli in tržno zanimive proizvode?
- ✓ Veste, da so vaši izdelki dobri (tako dobri, da so zanimivi tudi za konkurenco), vendar se z intelektualno lastnino še niste srečali?
- ✓ Želite odkriti, kaj vse v okviru vašega podjetja lahko zavarujete kot intelektualno lastnino in kakšne prednosti vam to lahko prinese?

---

spoštujmo *intelektualna* lastnino



Z obiskom našega strokovnjaka in pogovorom z osebo v vašem podjetju, ki dobro pozna podjetje in njegovo razvojno vizijo, boste pridobili nova ali dodatna znanja o tem, kako lahko s pravilno uporabo intelektualne lastnine izboljšate vaš poslovni rezultat in si zagotovite prednost pred konkurenco.

Po razgovoru vam bomo na podlagi pridobljenih informacij in našega znanja **izdelali poročilo, kjer bodo poleg ugotovljenega trenutnega stanja glede intelektualne lastnine vašega podjetja navedena tudi konkretna priporočila o možnostih za njeno varstvo.** Poročilo vam bomo pri naslednjem obisku na kratko predstavili in vam odgovorili na morebitna vprašanja.

---

spoštujmo *intelektualna* lastnino



## RAZVOJ SISTEMA ZA VREDNOTENJE IN DODELJEVANJE DELOVNIH MEST DELAVCEM Z OMEJITVAMI

**Noka KUNEJ, Aljoša NOVAK, Ana ŠUŠTERŠIČ, Marko BARIŠIČ, Matevž MOČILNIKAR**  
HELLA Saturnus Slovenija d.o.o.

### IZVLEČEK

*V podjetju HELLA Saturnus Slovenija smo se odločili, da razvijemo sistem, ki bo omogočal dodeljevanje delovnih mest v proizvodnji delavcem z omejitvami, katere bi lahko tudi po nastopu omejitev zaradi zdravstvenih težav še naprej vključevali v normalni proces dela. Pripravili smo dve bazi podatkov iz katerih vmesnik črpa podatke in odgovorim pomaga pri razporeditvi zaposlenih.*

### 1 UVOD

Kot proizvodno podjetje z velikim številom zaposlenih se redno srečujemo z zaposlenimi, katerim se je zaradi različnih okoliščin spremenilo zdravstveno stanje in delo lahko opravljajo pod določenimi pogoji, predpisanimi s strani pooblaščenih zdravstvenih ustanov. K bolj poglobljenemu razmišljanju o tej tematiki nas je spodbudilo sodelovanje s Fakulteto za strojništvo Univerze v Mariboru. S študenti in profesorji le te smo pripravili zasnovo programa, ki bi na podlagi informacij o delovnih mestih in zaposlenih pomagal odgovornim razporediti zaposlene na primerna delovna mesta.

Izkazalo se je, da za zanesljivo delovanje programa potrebujemo dobro osnovo in poglobljeno razumevanje zdravstvenih omejitev. Delovnih mest tako ni mogoče vrednotiti samo glede na ergonomske smernice, kot so ustrezne višine delovnega mesta, razporeditev materiala ter potreben prostor za neovirano gibanje. Prav tako ni mogoče sklepati o ustreznosti delovnega mesta za osebo z omejitvami na podlagi ocene z eno od priznanih metod (npr. OWAS), saj le te podajo informacijo o možnosti tveganja za nastanek poškodb pri določenih gibih za zdrave osebe. Rezultati slednjih so sicer osnova za kakršnekoli nadaljnje analize, saj je ustrezno ergonomsko zasnovano delovno mesto pogoj za delo vseh zaposlenih.

### 2 RAZVOJ SISTEMA

Glavno vodilo projekta je bilo sistematizirati in olajšati razporejanje delavcev z omejitvami na ustrezna delovna mesta. Možna rešitev smo našli v izdelavi datoteke v programskem okolju Microsoft Excel, katera bo iz dveh baz podatkov zmožna razporediti operaterja na primerno delovno mesto v proizvodnji, saj želimo naše zaposlene kljub določenim omejitvam vključevati v normalen proces dela, kar pa je do sedaj predstavljalo precejšno težavo. Ideja o končnem cilju je skozi čas ostala enaka, vendar smo jo razvijali in dopolnjevali, saj smo tekom dela vedno bolj spoznavali problematiko in zahtevnost priprave takšne rešitve.

#### 2.1 Izhodišče

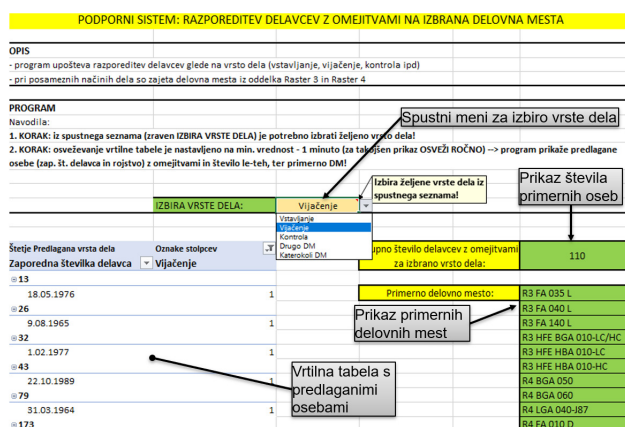
Pri razvoju programa smo se naslonili na predhodno predstavljeno idejo, ki smo jo razvili tekom projekta z Univerzo v Mariboru. Narejena je bila zasnova programa, ki je pri izbiri delovnega mesta na podlagi baz podatkov predlaga primerne osebe.

Omejitve delavcev so bile razdeljene v kategorije (*Slika 1*):

- delovne ure
- način dela, kjer so zavzete vse omejitve povezane s sedečim oziroma stoječim delom, delo na višini in predpis brez prisilne drže

- omejitev dviga bremena po skupinah do 5 kg, do 10 kg oziroma ni predpisano
- omejitve gibljivosti, ki se delijo na omejitve v malih sklepih rok, v predelu ledvene hrbtenice, v ramenskem sklepu ter njihove kombinacije
- ter ostale omejitve vključujoč delo brez ritma, brez viličarja, omejitve sluha in vida

Vsakemu delavcu so bile pripisane vse kategorije in v primeru, da omejitve iz neke skupine ni imel je bila na voljo opcija »ni predpisano«.



Slika 2: Prototip podpornega sistema [1]

Omejitev	Delovne ure	Način dela	Omejitev dviga, prenašanja	Omejitve gibljivo	Ostale omejitve
Zmožen za delo z omejitvami - v skladu z odločbo ZPIZ z dne 24.09.2015 št. 2 4 9580104: delo stoje, sede, brez prisilne države, brez hitrih in naglih predklonov, predvsem v dopoldanskem času, s skrajšanim delovnim časom od polnega 4 ure dnevno (20 tedensko).	4 dopoldan	brez prisilne države	ni predpisano	v predelu ledvene hrbtenice	ni predpisano
Zmožen za delo z omejitvami - z ustrezno korekcijo (očala ali kontaktne leče).	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	omejitev vida
Zmožen za delo z omejitvami - brez nočnega dela.	8 podnevi	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano
Zmožen za delo z omejitvami - v primeru izpostavljenosti hrupu nad 80 dB je nujna dosledna uporaba osebne varovalne opreme za zaščito sluha, v skladu z odločbo ZZZS: kontrolni pregled čez 12 mesecev.	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	omejitev sluha
Zmožen za delo z omejitvami - brez dvigovanja in prenašanja bremen, težjih od 10 kg, brez dela v globokem predklonu, brez stalnih prisilnih drž ledvenokrižne hrbtenice.	ni predpisano	sede	do 10 kg	v predelu ledvene hrbtenice	ni predpisano
delo pri katerem dviguje in prenaša bremena do 5 kg, kjer sama določa ritem in tempo dela za doseganje polne delovne učinkovitosti, <b>sdč</b>	4	stoje brez prisilne države izmenoma sede, stoje brez dela na višini ni predpisano	o 5 kg	ni predpisano	brez ritma (norme)
Zmožen za delo z omejitvami - v skladu z odločbo ZPIZ z dne 20.08.2015 št. 004 945731B 0100: sedeče delo.	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano
Zmožen za delo z omejitvami - z ustrezno korekcijo (očala ali kontaktne leče), priporočam novo boljše korekcijo ostrine vida na srednjo daljavo!	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	omejitev vida
Zmožen za delo z omejitvami - z ustrezno korekcijo (očala ali kontaktne leče), svetujem novo boljše korekcijo ostrine vida!	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	omejitev vida
Zmožen za delo z omejitvami - brez dvigovanja in prenašanja bremen, težjih od 10 kg, brez stalnih prisilnih drž ledvenokrižne hrbtenice, brez pogostega sklanjanja.	ni predpisano	brez prisilne države	do 10 kg	v predelu ledvene hrbtenice	ni predpisano
brez vsiljenega ritma in hitrega tempa, izmenoma sede in stoje, samo v dnevnih izmenah, <b>sdč</b>	4 podnevi	izmenoma sede, stoje	ni predpisano	ni predpisano	brez ritma (norme)
Zmožen za delo z omejitvami - izključno v dnevnih izmenah brez nočnega dela.	8 podnevi	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano
opravljati sme delo, ki ga naj opravlja izmenoma stoje, sede in s hojo, dviguje in prenaša lahko bremena odo 8 kg, brez dolgotrajnih prisiljenih položajev in sunkovitih gibov, <b>sdč</b>	4	izmenoma sede, stoje	do 5 kg	ni predpisano	ni predpisano
Zmožen za delo z omejitvami - v primeru izpostavljenosti hrupu nad 80dB je nujna dosledna uporaba osebne varovalne opreme za zaščito sluha, za izmenoma sedeče in stoječe delo.	ni predpisano	izmenoma sede, stoje	ni predpisano	ni predpisano	omejitev sluha
Zmožen za delo z omejitvami - kontrolni pregled čez 12 mesecev.	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano
Zmožen za delo z omejitvami - v primeru izpostavljenosti hrupu nad 80 dB je nujna dosledna uporaba osebne varovalne opreme za zaščito sluha, ciljni pregled čez 6 mesecev.	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	ni predpisano	omejitev sluha
Zmožen za delo z omejitvami - ki jih je podala Invalidska komisija, s krajšim delovnim časom 4 ure dnevno, 20 ur tedensko je zmožna za delo v ugodnih klimatskih pogojih, kjer bo delala izmenoma sede in stoje ter s hojo in ne bo dvigovala bremen, težjih od 10 kg, na višino 1,5 m. Svetujem delo v maloserjski proizvodnji.	4 podnevi	izmenoma sede, stoje	do 10 kg	ni predpisano	ni predpisano

Slika 1: Omejitve in razporeditev v kategorije [1]

Podatkovna baza delovnih mest pripravljena za prototipni program je vsebovala za splošno delitev del na:

- vstavljanje
- vijačenje
- kontrola
- drugo delovno mesto
- katerokoli delovno mesto

Zaradi časovne omejitve trajanja projekta je bilo v bazo zajetih le nekaj delovnih mest na montažnih linijah in zato je delitev del tudi dokaj nereprezentativna in zelo groba.

Program je na podlagi teh dveh baz v tabeli prikazal tiste delavce, ki so primerni za izbrano vrsto dela (Slika 2). [1]

## 2.2 Razvoj sistema za vrednotenje delovnih mest

Kadar je govora o osebah z omejitvami oziroma invalidih je zakonodaja precej stroga in delodajalec je dolžan zaposlenemu zagotoviti delovno mesto, ki po vseh kriterijih ustreza njegovim omejitvam za delo. Iz tega naslova zato pogosto v pošteved pridejo celo namensko izdelana delovna mesta za posameznega delavca. V našem podjetju povečini uporabljamo standardne naprave povezane v montažne sisteme, kjer pogosto ni prostora za različne spremembe, le te pa so tudi težko finančno upravičene. Poleg same postavitve delovnega prostora pa je zelo pomembno kakšna operacija se na delovnem mestu izvaja, saj je narava dela v večini primerov bolj kritična kot pa sama postavitve, ki načeloma

ustreza ergonomskim smernicam. Iz tega izhaja odločitev, da je bila prvotna delitev operacij na delovnih mestih preveč splošna in na podlagi le te ne moramo z gotovostjo trditi ali je delovno mesto primerno za osebo z neko omejitvijo ali ne.

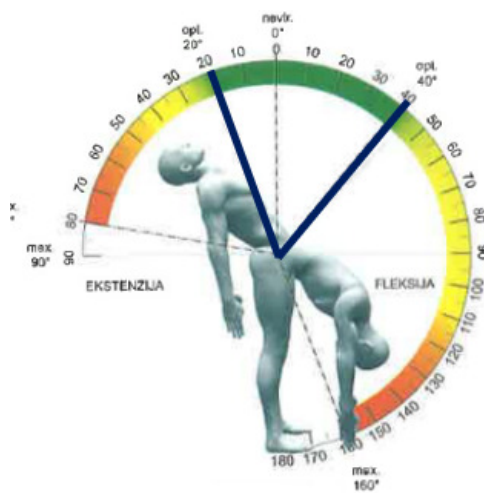
Tabela 1: Primer zdravstvenega stanja in predpisane omejitve pri delu [2]

Bolezen	Najnižja intenziteta izpostavljenosti
Rama / kite, kitne ovojnice, mišična narastišča	- Ponavljajoči se gibi: več kot 2,5 giba/minuto oziroma več kot 150 gibov/uro - Ponavljajoč se ali stalen položaj ramenskega sklepa v fleksiji ali abdukciji nad 60° - kombinacija dejavnikov
Zapestje in roka	- ponavljajoči se gibi: več kot 10 gibov / minuto oziroma več kot 1200 gibov / uro prstov rok - ulnarna ali radialna deviacija v zapestju izven optimalnih sklepnih kotov - uporaba sile Kombinacija dejavnikov tveganja
Sindrom Guyonovega kanala	- kronični ali ponavljajoči se zunanji pritisk na ulnarni živec v zapestju

Cilj projektne skupine je bil izdelati vprašalnik, ki natančno popiše pogoje na delovnem mestu in operacije, ki se na njem izvajajo, na ta način, da so direktno povezljive z informacijo o omejitvi posameznega delavca, brez razdeljevanja v kategorije in posploševanja.

V sodelovanju s specialistom za medicino dela smo zastavili vprašanja, ki popisujejo gibe in frekvence, ki se na posamezni operaciji pojavijo. Upoštevali smo samo gibe, ki se pojavljajo v omejitvah naših delavcev in jih iz oblike prikazane v Tabeli 1 prevedli v uporabniku prijazen vprašalnik.

Vprašalnik za vrednotenje delovnega mesta je sestavljen iz več sklopov. Naslovna stran zajema podatke o delovnem mestu in pregled dokumentov, ki jih v podjetju uporabljamo za vrednotenje ergonomije in normiranje časov ter služijo kot osnovna informacija iz katere lahko izhajajo nadaljnje analize. Prva stran ponuja tudi prostor za zapisnik ocenjevalca in predloge za možne izboljšave.



Slika 3: Primer slikovnega prikaza ekstenzije in fleksije trupa z vrisanimi sprejemljivimi mejami [3]

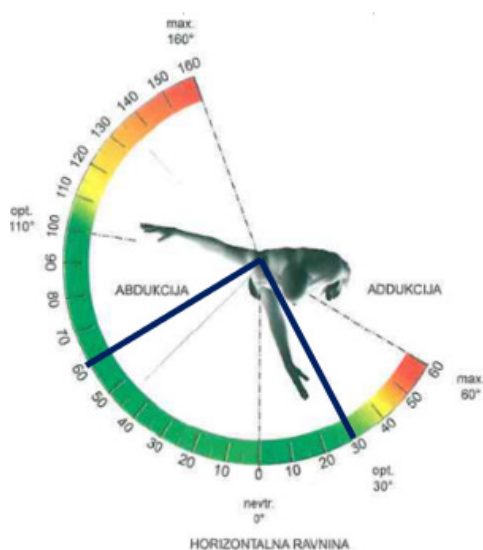
V prvem delu obrazca za ocenjevanje delovnih mest se sklopi delijo na:

- vrednotenje delovnega prostora in drže med izvajanjem operacije (rotacija vratu in telesa v horizontalni ravnini, ekstenzija in fleksija vratu in trupa v sagitalni ravnini (Slika 3) ter laterofleksija vratu in trupa v frontalni ravnini znotraj optimalnih meja)
- delovno okolje, ki vključuje meritve hrupa v okolici, prisotnost vibracij in kemikalij, ter popiše ali delo poteka v nevarnem območju stroja ali v okolici transportnih poti

- zahtevnost dela, kjer se povprašamo o taktu, vlaganju komponent, uporabi sile pri delu, rokovanju z dekorativno občutljivimi izdelki, ter popišemo največjo težo bremena, ki ga je med operacijo potrebno prenesti.

Drugi del vprašalnika se osredotoča na položaje telesa in frekvence ponavljajočih se gibov med izvajanjem operacije na izbranem delovnem mestu. Vprašanja se navezujejo na:

- izvajanje gibov v rami – ekstenzija in fleksija ter abdukcija in addukcija ramenskega sklepa izven določenih meja je lahko prisotna največ 2,5 giba na minuto.
- izvajanje gibov v komolcu - fleksija komolca, kjer se gib izven določenih meja ne sme ponoviti več kot 10 krat na minuto. Pri težavah s komolcem je potrebno upoštevati tudi kombinacije z gibi v zapestju – ekstenzijo, fleksijo, supinacijo in pronacijo.
- izvajanje gibov v zapestju - ko govorimo o težavah z zapestjem pa med opravljanjem operacije ne sme biti prisotnih več kot 10 gibov na minuto s prsti rok, ulnarne in radialne deviacije zapestja pa mora biti znotraj določenih meja.

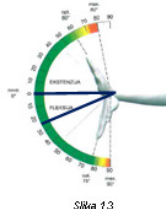


Slika 4: Meje opravljanja gibov v rami – abdukcija in addukcija [3]

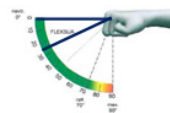
Meje znotraj katerih oseba varno opravlja gibe deloma sovpadajo z optimalnimi, po večini pa za osebe z omejitvami upoštevamo ožja območja, kot prikazuje slika 4.

V nadaljevanju se vprašalnik (Slika 5) osredotoča na pregled gibov, ki so kritični z vidika različnih bolezni: sindrom karpalnega kanala, sindrom kubitalnega kanala, pronatorski in supinatorski sindrom in sindrom Guynovega kanala. Gibi, ki jih vprašalnik obravnava se podobni kot v prvem delu pri čemer pa so meje kotov pod katerimi se lahko gibi izvajajo precej bolj ozke ali pa frekvence izvajanja gibov precej nižje. Pojavljajo pa se tudi različne kombinacije gibov pri uporabi sile, stalni položaji in pa na primer dolgotrajno slonenje na komolcih na ravno in trdo podlago.

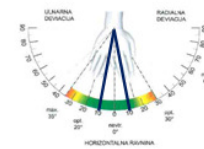
5. Položaji telesa: Sindrom karpalnega kanala				D	N	N/B
a)	Ali so prisotni ponavljajoči se gibi, več kot 120 gibov/minuto, nastiki 10, 11, 12 in 14?			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b)	Ali delovni cikel traja manj kot 30 s in se vsaj 50% časa opravljajo enaki osnovni gibi?			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c)	Ali je operater v prisilnih držah, ki so prikazane na sliki 13, 14 in 15?			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d)	Ali so prisotne lokalne vibracije na roko, ki presegajo opozorilne vrednosti?			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Slika 13



Slika 14



Slika 15

Slika 5: Primer sklopa vprašanj v obrazcu za vrednotenje delovnega mesta

Vprašalnik se izpolnjuje v programu Microsoft Excel, na pa z gumbom »shrani podatke« podatke pošljemo v Excel bazo podatkov vseh obravnavanih delovnih mest, hkrati pa gumb sproži shranjevanje poročila v .pdf obliki.

### 2.3 Razvoj sistema za standardizacijo opisa omejitev

Zaposlenim so predpisane omejitve pri delu iz strani pooblaščenih ustanov v obliki, ki je prikazana v Tabeli 2. Nekateri izmed opisov so precej preprosti in primerne delovnega mesta ni težko najti, med tem ko nekateri izmed opisov zahtevajo bolj poglobljeno razumevanje in analizo.

Tabela 2: Primeri opisa omejitev

Primeri opisa omejitev
Zmožen za delo z omejitvami - v 4h skrajšanem delovnem času, brez dvigovanja in prenašanja bremen, težjih od 5 kg, brez dela v globokem predklonu, brez normiranega dela ter brez dela s ponavljajočimi se gibi zgornje okončine ter brez dela z dvigovanjem zgornjih okončin nad nivo ramen.
Zmožen za delo z omejitvami - za dela, pri katerih ni potrebna fina manipulacija z malimi in natančnimi predmeti s prsti in dlanmi obeh rok; za izmenoma sedeče, stoječe delo in občasno hojo.
Zmožen za delo z omejitvami - zmožen za vsa dela, kjer ob nenadni izgubi zavesti ne bo mogel poškodovati sebe ali druge, brez dela na višini, izven nevarnega območja delovne opreme, brez vožnje motornih vozil v notranjem prometu! - transportu!
Zmožen za delo z omejitvami - brez dvigovanja in prenašanja bremen, težjih od 10 kg, brez dela v globokem predklonu, brez pogostega sklanjanja, z delom v rotaciji hrbtenice do 30 stopinj ter lateralne fleksije hrbtenice do 30 stopinj.

Da bi informacije lahko uspešno povezali z informacijami o delovnih mestih in operacijami, ki se na teh izvajajo, je bilo potrebno razviti sistem, ki pisne omejitve prevede v kategorije, ki so direktno povezane s kategorijami uporabljenimi pri vrednotenju delovnih mest.

Kot smo že predhodno omenili, smo ugotovili, da razporejanje v skupine predstavlja preveliko posplošitev. Sistem za standardizacijo opisa omejitev smo zato zasnovali na podlagi vprašalnika za vrednotenje delovnih mest, pri katerem se sprašujemo ali se določeni gibi, ki bi lahko bili predmet omejitve pojavijo med izvajanjem operacije in o delovnem okolju. Vprašalnik se s podobnimi vprašanji osredotoča

na zaposlenega, torej ali ima oseba omejitev izvajanja določenih gibov oziroma omejitev dela v določenem okolju. Dodatno smo v vprašalnik vnesli vprašanje o delovnih urah, ki jih delavec sme opravljati in v katerih izmenah, čeprav se direktno ne navezujejo na informacijo o primernem delovnem mestu.

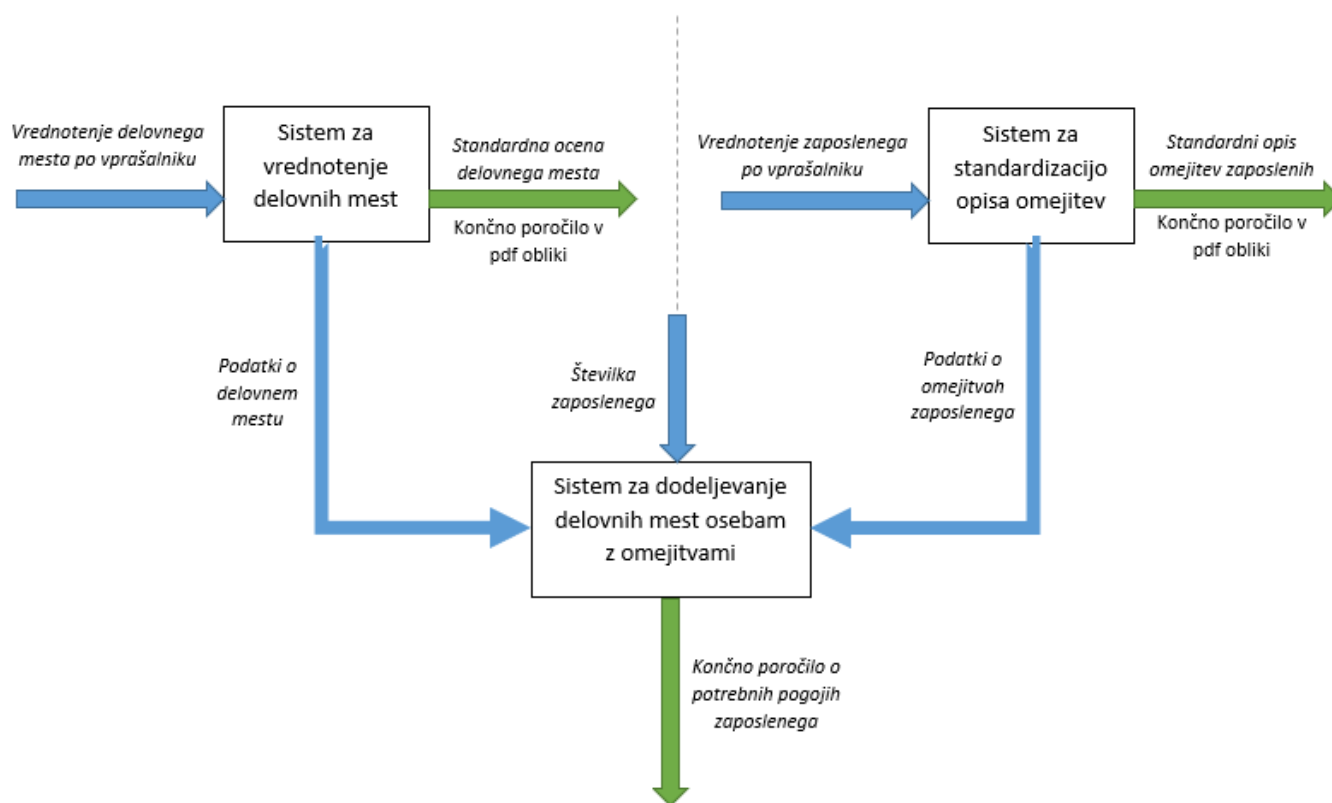
Sistem za standardizacijo opisa (Slika 6) omejitev deluje na enak način kot predhodno opisani vprašalnik za vrednotenje delovnih mest. Izpolnjuje se v programu Microsoft Excel in z gumbom »shrani podatke« se odgovori prenesejo v ločeno bazo podatkov o osebah z omejitvami. Ker gre za zaupne podatke s katerimi lahko operirajo samo pooblaščen osebe v podjetju, so le ti zadolženi za izpolnjevanje vprašalnika o omejitvah in upravljanje s to bazo podatkov.

Omejitve delavca				D	N	N/N
a)	Koliko ur sme delavec opravljati delo?					
	4 ure <input type="checkbox"/>	6 ur <input type="checkbox"/>	8 ur <input type="checkbox"/>			
b)	V katerih izmenah delavec sme opravljati delo?					
	Dopolnitveno <input type="checkbox"/>	Popoldansko <input type="checkbox"/>	Nočno <input type="checkbox"/>			
c)	Sedeče delo <input type="checkbox"/>	Izmenično sedeče/stoječe delo <input type="checkbox"/>	Stoječe delo <input type="checkbox"/>			
d)	Kakšna je vrednost hrupa, ki ne sme biti presežena v delovnem okolju delavca?			dB		
e)	Ali ima delavec delati na delovnem mestu brez vibracij?					
f)	Ali ima delavec možnost izgube zavesti?					
g)	Ali ima delavec reakcijo na kemikalije?					
h)	Ali ima delavec omejitev vida? (samo če to lahko vpliva na oceno dekorativne izdelka)					
i)	Ali delavec ne sme imeti dobočene norme?					
j)	Ali delavec potrebuje vodeno vlaganje in vtiščanje komponent? (le zave z natančnostjo)					
k)	Kakšna je mejna vrednost prenašanja bremen?			kg		
l)	Ali ima delavec omejeno gibanje v vrtalnem predelu?					
m)	Ali ima delavec omejeno zasuk hrbta in nagib v stran?					
n)	Ali ima delavec omejitve predklona?					
o)	Ali ima delavec omejeno gibanje v ramenskem obroču?					
p)	Ali ima delavec omejeno gibanje v lokolcu?					
r)	Ali ima delavec omejeno gibanje z zapetjem?					
s)	Ali ima delavec oteženo gibanje s prsti?					
t)	Ali ima delavec omejitve počepa?					
u)	Ali ima delavec sindrom karpalnega kanala?					
v)	Ali ima delavec sindrom Kubitalnega kanala?					
z)	Ali ima delavec Pronatorski in Supinatorski sindrom?					
x)	Ali ima delavec pritiska na ulnarni živec?					

Slika 6: Obrazec za standardizacijo opisa omejitev

## 2.4 Razvoj sistema za dodeljevanje delovnih mest osebam z omejitvami

Sistem za dodeljevanje delovnih mest osebam z omejitvami v osnovi predstavlja datoteka v programu Microsoft Excel, ki deluje le kot vmesnik in je povezan z bazama končnih podatkov obeh zgoraj opisanih sistemov (Slika 7). Na podlagi teh podatkov v ozadju izloči delovna



Slika 7: Princip delovanja sistema

mesta po algoritmu in jih prikaže v obliki liste glede na izbrano številko osebe. Kadarkoli se spremeni delovno mesto ali diagnoza zdravnika, se podatki samodejno posodobijo.

Končnim uporabnikom sistema se za izbrano osebo izpišejo delovna mesta na njihovem delovnem območju, na katerih delovnih mestih, koliko časa in v katerem delu dneva lahko opravlja delo. Uporabniki nimajo vpogleda v omejitve zaposlenih, saj so le ti shranjeni v ločeni bazi podatkov, kot smo omenili zgoraj.

### 3 SKLEP

Z razvojem sistema za dodeljevanjem delovnih mest osebam z omejitvami smo omogočili končnim uporabnikom, vodjem oddelkov, enostavnejše razporejanje zaposlenih na njim primerna delovna mesta v proizvodnji. Ustvarili

smo sistem, kjer skupine z določenimi znanji prevzamejo del nalog, ki ključno pripomorejo k izboljšanju pogojev dela. Zaposlenemu, kateremu se je spremenilo zdravstveno stanje tako omogočimo nadaljnje vključevanje v normalne procese dela, brez možnosti poslabšanja zdravstvenega stanja. Na ta način izpolnimo zahteve zakonodaje, hkrati pa ustvarjamo ugodno delovno okolje. Nenazadnje med vrednotenjem delovnih mest nemalokrat razvijemo ideje za izboljšave z vidika ergonomije, kar pozitivno vpliva tudi na delo in zdravje vseh ostalih zaposlenih.

Viri:

- [1] Smogavc Ž., Potočnik D., Hribernik B., Sirc R., Šverko M., Kunej N., Harih G., Vujica Herzog N.: Prototip podpornega sistema s programskim orodjem Excel za izbiro delovnih mest, *IRT3000* 85(1/2019), str. 60–61.
- [2] ZVD - Zavod za varstvo pri delu, *interna literatura*
- [3] Balantič Z., Polajnar A., Jevšnik S.: *Ergonomija v teoriji in praksi*, NIJZ, 2016

## PROBLEMATIKA JAVNEGA POTNIŠKEGA PROMETA V MESTNI OBČINI NOVO MESTO

**Matej BABIČ<sup>1</sup>, Janez POVH<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup>Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto, Slovenija,

<sup>2</sup>Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Slovenija

### IZVLEČEK

*Javni potniški promet (JPP) je za vsako skupnost pomemben, saj se sedanji prometni sistem sooča z dobro znanimi problemi, kot so zastoji, vpliv na okolje, pomanjkanje parkirnih površin, večja varnostna tveganja in visoka poraba energentov. Po drugi strani pa je JPP nekonkurenčen osebnemu avtomobilu, saj ne omogoča udobnega ter časovno sprejemljivega prevoza, ampak sili uporabnike, da svoj dnevni ritem preveč prilagajajo voznemu redu JPP. V ruralnih okoljih, kjer je gostota prebivalstva nižja, povprečna starost pa pogosto večja, je zaradi večje razčlenjenosti naselij povezava z urbanimi središči s pomočjo JPP še posebej velik problem. Uporaba avtomobilov za prevoz do mesta se v Novem mestu odraža v obliki prometnih zastojev ob jutranjih in popoldanskih konicah, čez dan pa v obliki visoke zasedenosti parkirnih mest v okolici javnih površin (bolnišnica, zdravstveni dom) oz. v bližini delodajalcev. Ideja projekta je s skupnim angažmajem Razvojnega centra Novo mesto (RCNM), Fakultete za Informacijske študije (FIŠ) in MONM narediti preboj pri povezovanju teh ločenih podsistemov v celovit sistem javnega potniškega prometa v MONM, ki bo na osnovi podrobnih analiz podatkov in umetne inteligence mnogo bolje služil občanom MONM. Glavni cilj projekta je razviti nov model pametnega JPP v mestne občine Novo mesto (MONM), ki bo prilagojen specifičnim potrebam občanov MONM: (i) velikosti avtobusov in njihove trase bodo prilagojene dejanskim potrebam; (ii) v mestu bo tesno navezan na sistem deljenja koles ter na sistem javnih parkirišč; (iii) v ruralnih naseljih bo dopolnjen s sistemom prevozov na klic. V članku bomo predstavili problematiko NFC tehnologijo in beleženje števila povezav na WIFI točkah v mestnih avtobusih. Prav tako bomo pokazali kako pomembne so rešitve potniškega prometa za industrijo.*

### 1 UVOD

Javni potniški promet (JPP) je nedvomno način potovanja 21. stoletja, njegova kakovost pa je eden pomembnejših kazalcev razvitosti in kakovosti bivanja države, regije ali mesta. V razvitih državah EU, kot so Nemčija, Francija, Švedska in Velika Britanija, v mestih, kot so Dunaj, Zürich, London in Stockholm, je ponudba JPP takšna, da ljudje lahko kakovostno živijo brez osebnega avtomobila. Dokaz za to je, da sta se v teh državah rast števila osebnih avtomobilov in uporaba le-teh ustavila, saj so predvsem mlade generacije ugotovile, da lahko brez avtomobilov živijo ceneje in udobneje. JPP je v teh državah praviloma hitrejši, cenejši, varnejši in udobnejši od osebnega avtomobila, kar s seboj prinese vrsto ekonomskih, okoljskih in socialnih koristi.

Javna potniška infrastruktura olajšuje dostop do zaposlitve, izobraževanja, socialnih storitev in storitev rekreacijske priložnosti in spodbuja

gospodarsko rast s podpiranjem produktivnih in uspešnih podjetij. Povezovanje javne infrastrukture za potniški promet z razvojem spodbuja uporabo javnega potniškega prometa promet kot privlačna, učinkovita in dostopna potovalna alternativa zasebnim motornim vozilom. To bo zagotoviti dobro povezane skupnosti, ki so primerne za življenje v Novem mestu. Javna infrastruktura za potniški promet je infrastruktura za javno oskrbo ali povezana z njo potniškega prometa. Pomemben je sistem javnega potniškega prometa, saj se sedanji prometni sistem sooča z dobro znane težave, kot so prezasedenost, vpliv na okolje in uporaba javnega prostora. Neintegrirano sistemi javnega prevoza ponavadi zanemarjajo potrebe strank, kar na koncu pripelje do a zmanjšanje vožnje. Zlasti odsotnost integriranega sistema javnega potniškega prometa povzroča težave in neprijetnosti za stranke in organe, na primer čas potovanja (kjer povezava in vozni redi med izvajalci javnega prevoza niso usklajeni), udobje (za vožnjo z enim potovanjem

je potrebna več kot ena vozovnica), stroški (v nekaterih prometnih razmerjih obstajajo vzporedno in konkurenčne storitve) in informacije (potnik se sooča z nepreglednim sistemom tarif). Na splošno velja, da so številne opredelitve integracije javnega potniškega prometa lahko povsem naravne, najbolj priljubljene pa so tiste, ki so oblikovane kot integracija, je organizacijski proces, v katerem so elementi javnega prometnega sistema (omrežje in infrastruktura, cene vozovnic, vozovnice, informacije in trženje itd.), ki jih uporabljajo različni operaterji, ki uporabljajo različne načine prevoza, učinkoviteje in tesneje sodelujejo.

## 2 PREGLED STANJA NA TEM PODROČJU V MONM

Mestna občina Novo mesto je uvedla JPP že leta 1998, v vsem tem času pa ni dobro zaživel. Avtobusi so pogosto prazni, vozne linije so narejene le po občutku in slabo sledijo ritmu šol in delodajalcev. Izboljšava JPP, da bo prevzel večji del prevoza ljudi, je nujna. Prvi korak k temu cilju je ugotavljanje dejanskega stanja: koliko ljudi uporablja JPP na posameznih odsekih in v posameznih časovnih oknih. Trenutno MONM razpolaga le s kumulativnimi podatki o prevoženih kilometrih in o prodanih vozovnicah, saj JPP izvaja koncesionar. MONM je že v letu 2016 pristopila k Razvojnemu centru Novo mesto, katerega soustanoviteljica je, ter k Fakulteti za informacijske študije v Novem mestu, da bi skupaj iskali rešitve za izboljšavo JPP. V letu 2017 sta MONM in RCNM pristopila k strateškemu projektu EDISON, skozi katerega sta načrtovala reševanje izpostavljenega problema. EDISON je še vedno zelo v povojih, brez financiranja in tudi brez jasnega izvedbenega načrta. MONM je v istem letu tudi uvedla sistem deljenja koles, ki trenutno sploh ni povezan z JPP in se le počasi uveljavlja. V letu 2018 je MONM pristopila k strateškemu projektu Razvoj pametne kartice za svoje občane, katerega izvajalec je Petrol d.d. Kartica bo podlaga za uvedbo digitalne identitete občanov MONM, z njo pa bodo občani med drugim koristili in plačevali storitve JPP in povezanih sistemov ter s tem prispevali dragocene podatke za izboljšavo teh sistemov. V letu 2018 je MONM začela tudi s pilotnimi spremljanji

zasedenosti parkirišč v realnem času ter s pilotnim sistemom prevoza na klic za starejše občane (kupila je en avtomobil v ta namen, s katerim operativno izvajajo prevoze prostovoljci). Vse to kaže, da je nastopil ugoden čas, da se s skupnim angažmajem RCNM, FIŠ in MONM naredi preboj pri povezovanju teh ločenih podsistemov v celovit sistem javnega potniškega prometa v MONM, ki bo na osnovi podrobnih analiz podatkov in umetne inteligence mnogo bolje služil občanom MONM.

## 3 STANJE V SVETU NA TEM PODROČJU

Splošno znano je (glej [3]), da je učinkovit in "pameten" JPP mogoče organizirati le z zajemom individualiziranih podrobnih podatkov o uporabnikih tega sistema, ki so dopolnjeni z ostalimi podatki, kot so npr. posnetki kamer na pomembnih cestah in križiščih, podatki o uporabi ostalih sistemov, podatki o vremenu in nenavadnih pojavih. Podatki iz pametnih kartic so dokazano primeren korak v tej smeri [1,5,6], nujno pa jih je dopolniti z lokacijskimi podatki o udeležencih prometa [4]. V večjih mestih je lahko teh podatkov zelo veliko, zato trčimo ob potrebe po programski in strojni opreми, primerni za velepodatke [2,4], ki terjajo uporabo superračunalniške opreme. V našem primeru bomo tekom izvajanja projekta imeli manjše količine podatkov, izvajanje simulacijskih izračunov (npr. z agentnimi metodami) pa bo terjalo večjo računsko moč, zato ga bomo izvajali paralelno z uporabo s superračunalnika Rudolf, ki ga imamo v lasti na FIŠ-u. Novi koncepti mobilnosti (sopotništvo, solastništvo prevoznih sredstev, Uber) so v velikem porastu in v mnogih mestih odlično delujejo. Vendar je večina teh rešitev izpeljana le v velikih mestih, mesta z do 100.000 prebivalci pa so praviloma premajhna za implementacijo poslovnih modelov, t.i. delilne ekonomije (sharing economy [7]), ki stojijo za temi sistemi. To pomeni, da ni (oz. ne poznamo) rešitev, ki bi jih preprosto kupili ali pa bi jih zasebni ponudniki sami pripeljali v MONM zaradi poslovnega interesa. To je po eni strani frustrirajoče, po drugi strani pa ponuja priložnost inovativnim občinam ter regijskim razvojnim agencijam, torej tudi MONM in RCNM.

## 4 VPVELJAVA NFC TEHNOLOGIJE

V kolikor MoNM poleg trenutnih podatkov o številu vstopov in izstopov potnikov na posameznem avtobusnem postajališču posamezne linije, želi do tovrstnih podatkov dostopati vsakodnevno tudi v prihodnosti, poleg omenjenih podatkov pa potrebuje tudi podatke o statusu potnika, podatke o začetnem in končnem postajališču vsakega potnika na posamezni liniji, podatke o porabljenem času potnika do začetnega postajališča, podatke o poznavanju vozniških redov in cenikov ter informacije o predlogih za izboljšanje storitev mestnega prevoza, potem se lahko omenjene podatke pridobiva preko vozovnice, ki temelji na visokofrekvenčni komunikacijski tehnologiji kratkega dosega oz. NFC tehnologiji – Near Field Communication. S pomočjo vpeljane NFC tehnologije je mogoče v pridobivanje zgoraj omenjenih podatkov zajeti celotno populacijo, ki se poslužuje prevoza z mestnimi avtobusi v MoNM.

Tabela 1: Primerjava različnih variant brezžičnih alternativ in karakteristik NFC tehnologije

Karakteristika	NFC	Bluetooth	WiFi	GPRS/3G	Primerenost za javni promet glede na atribut
Okvirni razdalje transakcije	0,1 m	10–100 m	300 m – 40 km	1 km – 35 km	Namenjeno prostovoljnim uporabniškim opravilom
Hitrost prenosa	848 kbit/s	2 Mbit/s	54 mbit/s	14 Mbit/s	Sprejemljiva hitrost
Čas vzpostavljanja povezave	20 ms	6 s	2 s	1 s	Hipna povezava
Zanesljivost povezave	Visoka	Nizka	Srednja	Srednja	Visoka zanesljivost
Odpornost na motnje/interferenco	Visoka	Običajna	Običajna	Običajna	Možnost robustnega delovanja
Kompatibilnost z obstoječo transportno infrastrukturo	Zelo dobra	Slabša	Slabša	Slabša	Dobra povezljivost z infrastrukturo
Skladnost povprečnega časa transakcije	Popolna	Slaba	Slaba	Slaba	Sprejemljivi časi transakcij



Slika 1: Proces delovanja NFC tehnologije v mestnem prometu

## 5 UPORABA WIFI TEHNOLOGIJE

Wifi je standard za učinkovito komunikacijo brezžičnih naprav. Standard določa RF spekter, podatkovne hitrosti, načina oddajanja - modulacijsko tehniko itn. Wifi lahko deluje v dveh načinih: *ad-hoc* in *infrastructure*. Pri prvem ni nikakršnega centralnega sistema, medtem ko imamo v drugem primeru odlikovano napravo, poimenovano dostopna točka, vendar so vse naprave na fizični ravni enakovredne. Dodaten način delovanja dostopne točke je način nadzorovanja, kjer naprava spremlja dogajanje v svojem podprtem RF spektru. Ker je Wifi tehnologija vgrajena v skoraj vsak mobilni telefon, bi s spremljanjem dogajanja lahko ugotovili, kdo komunicira v bližini dostopne točke. Zaznalo se bi tudi iskanje dostopnih točk, vendar samo v primeru, ko gre za iskanje aktivne narave, kar pa se dogaja redkeje od pasivnega iskanja, oziroma je aktivno iskanje v večini primerov namenjeno pridobitvi dodatnih podatkov o dostopni točki oziroma omrežju, do katerega se želi dostopati. Če bi želeli ugotovi, koliko telefonov oziroma oseb s telefonom je na območju, ki ga dostopna točka pokriva, bi morali zagotoviti, da imajo uporabniki mobilni telefon z vključeno storitvijo Wifi in je ta storitev v fazi komunikacije ali aktivnega iskanja dostopnih točk. Ker storitev Wifi ljudje ob neuporabi pogosto izključijo, če ne drugega zaradi varčevanja z baterijo, in če bi želeli, da bi imeli potniki z namenom štetja to storitev vklopljeno, bi

potrebovali neko storitev, katero bi potniki sprejeli kot osebno korist, na primer storitev dostopa do svetovnega spleta, vendar se je po drugi strani potrebno vprašati, koliko potnikov ima za čas vožnje potrebo po takšni storitvi in če jim uspe vzpostaviti povezavo v dovolj kratkem času glede na svojo vožnjo. V Veliki Britaniji naj bi Wifi na avtobusu uporabljalo okoli 11% udeležencev, med katerimi prevladujejo tisti z daljšimi vožnjami in tisti, ki sedijo na začetni postaji pred odhodom. Če takšne storitve preko Wifi omrežja nismo pripravljene ponuditi, bi v najboljšem primeru lahko zaznali le mobilne telefone oseb, ki imajo storitev Wifi venomer vključeno ali so jo pozabili izklopiti, ter je naprava v aktivnem iskanju, a ker je način iskanja odvisen od proizvajalca mobilnega telefona, ne moremo oceniti, kakšen delež ljudi bi s tem prešteli. Način takšnega zaznavanja se poslužujejo trgovski objekti z namenom sledenja oziroma odkrivanja nakupovalnega obnašanja. Seveda bi v obeh primerih lahko šteli tudi ljudi izven avtobusa, ki so se uspeli povezati na storitev ali samo aktivno iščejo, na primer med čakanjem avtobusa na postaji ali v bližini avtobusa, ko ta čaka pred semaforjem.

## 5 SKLEP

MoNM želi optimizirati posamezne linije mestnega potniškega prometa na podlagi pridobljenih podatkov z vzorčnim štetjem vstopov in izstopov potnikov iz avtobusov. Pridobivanje tovrstnih podatkov, ki dejansko lahko zadostujejo za proces optimizacije je namreč mogoče pridobiti v največ enem mesecu, v podatke je mogoče zajeti vse starostne skupine ljudi, ki uporabljajo mestni prevoz, hkrati pa s to metodo ni pogojeno/potrebno obveščanje in usposabljanje potnikov o spremembah zaradi štetja ter odpade vse delo, ki bi vključuje nameščanje, nastavitve ter vzdrževanje naprav za štetje vstopov in izstopov potnikov. Uporaba takšnega štetja tudi zmanjša tveganja in napake, ki bi jih lahko zagrešile naprave. MoNM želi modernizirati uporabo storitev mestnega potniškega prometa in pri tem vsem potnikom ponuditi sodobne storitve mestnega potniškega prometa, zato je smotrno razmisliti o vpeljavi vozovnic, ki podpirajo NFC ali sorodno industrijsko tehnologijo. MoNM želi najprej izboljšati in nato posodobiti uporabo

storitev mestnega potniškega prometa, zato je smotrno, da proces optimizacije izvede na podlagi podatkov o vstopih in izstopih potnikov s pomočjo vzorčnega štetja potnikov. Po končanem oz. opravljenem procesu optimizacije, pa je smotrno modernizacijo uporabe storitev mestnega potniškega prometa izvesti z vpeljavo vozovnic, ki jih podpira NFC tehnologija. Optimizacija potniškega prometa je pomembna z industrijskega vidika, saj ponuja inovativne rešitve in uporabo sodobne industrijske tehnologije, ki pa predstavlja konkurenčnost in seveda vzpodbudo ostalim občinam k njeni uporabi. Z omenjenimi rešitvami problematike želimo povezati podjetja iz industrije in vzpostaviti ter okrepiti uspešna povezovanja ter sodelovanja.

## Zahvala

»Naložbo sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.«

Viri:

- [1] Agard, B., Morency, C., & Trépanier, M. (2006). Mining public transport user behaviour from smart card data. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(3), 399-404.
- [2] Batty, M. (2013). Big data, smart cities and city planning. *Dialogues in Human Geography*, 3(3), 274-279.
- [3] Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., ... & Scholl, H. J. (2012, January). Understanding smart cities: An integrative framework. In *System Science (HICSS), 2012 45th Hawaii International Conference on* (pp. 2289-2297). IEEE.
- [4] Gowtham, Jsai, and Mohammed Javeed Mehdi. "Smart Public Transport."
- [5] Pelletier, M. P., Trépanier, M., & Morency, C. (2011). Smart card data use in public transit: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(4), 557-568.
- [6] Seaborn, C., Attanucci, J., & Wilson, N. (2009). Analyzing multimodal public transport journeys in London with smart card fare payment data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2121), 55-62.
- [7] Schor, J. (2016). Debating the Sharing Economy. *Journal of Self-Governance & Management Economics*, 4(3).

# 11. INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

## **Poster sekcija**

Portorož, 3. in 4. junij 2019



## RECIKLIRANJE BOKOMPOZITOV

**Silvester BOLKA, Teja PEŠL, Rebeka LORBER, Tamara ROZMAN, Rajko BOBOVNIK,  
Thomas WILHELM**

Fakulteta za tehnologijo polimerov

### IZVLEČEK

*Vse več aktivnosti je v polimerni industriji usmerjenih na zamenjavo steklenih vlaken z naravnimi, v uporabo vsaj bioosnovanih polimerov in reciklaži. Pri naravnih vlaknih so še posebej zanimiva odpadna naravna vlakna, saj s tem močno zmanjšamo količino odpadkov, ki jih uporabimo kot sekundarno surovino za kompozite. Če pri tem uporabimo še bioosnovano termoplastično matrico pomeni, da smo izdelali biokompozit, ki je v dobršni meri izdelan iz obnovljivih virov. Da sledimo trendu krožnega gospodarstva, da ob koncu življenjske dobe izdelka iz bioosnovanega kompozita le tega recikliramo, smo pri razvoju biokompozitov zasledovali tudi vpliv večkratnega recikliranja na lastnosti biokompozita. Da dobimo biokompozit, ki ima zadovoljive lastnosti za uporabo za tehnične izdelke mu moramo dodati dodatke, ki omogočajo večkratno recikliranje brez zaznavnih sprememb lastnosti.*

*V prispevku bomo predstavili biokompozit, ki ima termoplastično matrico, ki je sintetizirana iz sladkornega trsa, kot ojačevalo ima miskantusova vlakna. Zasledovali smo vpliv večkratnega recikliranja biokompozita s postopkom brizganja in mletja brizganih kosov. Karakterizacijo lastnosti smo izvedli v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu. Ovrednotili smo mehanske, toplotne lastnosti, dinamične mehanske lastnosti in žilavost. V dobršni meri smo uspeli ohraniti lastnosti biokompozita in s tem pokazali, da lahko biokompozite iz pretežno obnovljivih virov recikliramo in uporabimo za izdelavo enakovrednih izdelkov.*

*Delo je bilo opravljeno v okviru projekta Cel.Krog - Izkoriščanje potenciala biomase za razvoj naprednih materialov in bio-osnovanih produktov, ki ga vodi Inštitut za celulozo in papir in kjer sodeluje Fakulteta za tehnologijo polimerov kot partner.*

### 1 UVOD

Leta 2016 je svetovna industrija proizvedla 335 milijonov ton plastike, od tega 60 milijonov ton v EU. Sorazmerno majhna količina nafte, približno 7 %, se globalno porabi za proizvodnjo plastike. Kar 64 % vse plastike predstavlja pet termoplastov: polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorid (PVC), polistiren (PS) in polietilen tereftalat (PET). Skozi leta pa se je stalno iskalo alternative petrokemičnim termoplastom. Prva primera uporabe biomase za izdelavo polimerov sta bila celuloz in kavčuk. Veliko podjetji si je v zadnjih letih zadalo sintetizirati bioosnovane termoplaste. Rezultati raziskav na tem področju so ponudili kar nekaj bioplastike, a na koncu so definirali bioplastiko kot plastiko, ki je bioosnovana, delno ali v celoti, biorazgradljiva ali kombinacija bioosnovane in biorazgradljive plastike [1].

Znanstveniki in inženirji po svetu so se začeli osredotočati k zmanjševanju ogljičnega odtisa v

mešanica bioplastike, v kombinaciji z naravnimi ali sintetičnimi vlakni. Od takrat se je izraz biokompoziti preimenoval v biokompozite, narejene iz bioplastike in sintetične plastike, impregnirane z naravnimi vlakni ali sintetičnimi vlakni. Čeprav sintetična vlakna ponujajo boljše zmogljivost ojačitve v primerjavi z naravnimi vlakni, pa imajo slednja prednosti zaradi svoje nizke cene, so iz obnovljivih virov, imajo nižjo gostoto, manjšo porabo energije, višjo udarno žilavost in togost, so biorazgradljiva in drugo. Zato so biokompoziti proizvedeni iz bioplastike in naravnih vlaken, imenovani tudi kot zeleni kompoziti in so okolju bolj prijazni v primerjavi s plastiko, narejeno iz sintetične plastike in/ali polnili [2].

Reciklaža polimernih materialov je cenejša v primerjavi z reciklažo drugih materialov, pri tem pa se lahko uporabljajo tradicionalne tehnologije, kot so klasični ekstruderji in mlini. Zato se recikliranje materialov že več let uporablja za predelavo plastičnih odpadkov, proizvedenih med

predelavo polimerov. Reciklatu lahko v pravem razmerju s svežim materialom s kompatibilizatorji izboljšamo lastnosti, vključno z mehanskimi in toplotnimi lastnostmi, tako, da se uporablja kot alternativa za svež material. Pri reciklaži termoplastov je najdražji del ločevanje in čiščenje. Degradacija termoplastov poslabša fizikalne lastnosti in funkcionalnost polimernih izdelkov. Kakovost je ključnega pomena na primer za tanke filme termoplastov, kjer so zelo pomembne optične lastnosti. Prepoznavanje učinka reciklaže na fizikalne lastnosti različnih termoplastov po reciklaži je zelo pomembno [3].

## 2 PROJEKT CELKROG

Strateška usmeritev programa je napredno izkoriščanje biomase kot obnovljivega surovinskega vira, za razvoj novih materialov in bio-osnovanih produktov. Za te namene je vzpostavljena celostna veriga vrednosti za kaskadno rabo biomase.

Program je umeščen v prednostno področje S4, Mreže za prehod v krožno gospodarstvo in je delno financiran iz sredstev strukturnih skladov EU v Sloveniji. Vključuje vsa fokusna področja: tehnologije za predelavo biomase in razvoj novih bioloških materialov, tehnologije za uporabo sekundarnih surovin in ponovno uporabo odpadkov ter pridobivanje energije iz le teh. Produktne smeri sledijo ambicioznim ciljem vključenih podjetij za razvoj konkurenčnih produktov na osnovi obnovljivih virov, skladno z zahtevami po učinkovitejši rabi surovin in zmanjševanju pritiskov na okolje. S sinergijami v čez-sektorskem povezovanju podjetij, ki predstavljajo celostno verigo v snovni in energetski izrabi biomase, program prispeva k dolgoročni konkurenčnosti pomembnega dela slovenske industrije: kemijske, tekstilne, papirne, lesne in avtomobilske industrije, gradbeništva, inženiringa in energetike.

V programu sodelujejo vrhunske raziskovalne skupine s področij materialov, kemijskega inženirstva, predelovalnih in procesnih tehnologij, biotehnologije in nanotehnologije. Povezovanje v novih verigah vrednosti prispeva k preseganju razdrobljenosti ter s tem h krejitvi sposobnosti za

mednarodno odličnost raziskav in tehnološkega razvoja.

### 2.1 Razvoj lahkih polimernih kompozitov za uporabo v avtomobilski industriji

Raziskave so usmerjene v razvoj nizko- in visoko- temperaturnih polimernih kompozitov. Vanje so kot aktivna komponenta za doseganje potrebnih mehanskih lastnosti in nizke mase vključena različna ligno-celulozna vlakna (v makro, mikro in nano velikostnem redu) v kombinaciji s površinsko kemijsko modifikacijo in uporabo bio-osnovanih modifikatorjev. Cilj je razvoj polimernih kompozitov z vgrajenimi lignoceluloznimi vlakni, ki bodo služili za izdelavo tehnično dovršenih prototipnih avtomobilskih delov z lastnostmi, ki sledijo zahtevam trga: lažji izdelki, ki zmanjšujejo vpliv na globalno segrevanje, omogočajo nižjo porabo in višjo varnost in so hkrati dostopni po konkurenčni ceni. Rezultat bo industrijski prototip komponente dela ohišja v avtomobilski industriji.

## 3 PRIPRAVA VZORCEV IN TESTIRANJA

### 3.1 Priprava vzorcev

Termoplastična matrica je bila polietilen visoke gostote, ki je sintetiziran iz sladkornega trsa SHC 7260, proizvajalca Braskem. Naravna vlakna so bila stebila miskantusa v obliki pelet, katere smo peletirali na FTPO (dobavitelj Krilotim d.o.o.). Kot kompatibilizator smo uporabili PE-HD-g-MA (PE 1040 K2, proizvajalca Exxelor). Da smo zagotovili dobro homogenizacijo in preprečili degradacijo zaradi dodatne predelave smo dodali še lubrikant (Crodamide EBS-MB-(GD), proizvajalca Croda) in antioksidant (AT 10, proizvajalca Amik Italia S.p.A.). Kot polnilo smo dodali talk (Plustalc H 15, proizvajalca CALDIC).

Vsi testi z biokompoziti so bili izvedeni s 30 m.% dodanih vlaken miskantusa v obliki pelet in 15 m.% dodanega talka. Testirali smo vpliv večkratne predelave z brizganjem in mletjem ter ponovnim brizganjem na toplotne in mehanske lastnosti brizganih kosov.

## 2.1 Laboratorijska testiranja

Testiranja smo opravili v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu.

Kompavndirali smo na dvopolžnem korotirajočem ekstruderju Labtech LTE 20-44 s premerom polžev 20 mm in L:D razmerjem 44:1.

Brizgali smo na brizgalnem stroju Krauss Maffei KM 50-180 CX.

Brizgane izdelke smo zmleli na mlinu Wanner C 13.20 S, ki ima rotor premera 130 mm z devetimi noži (Slika 1), velikost odprtine pa je 130 x 200 mm<sup>2</sup>, prostornina posode za mlevino pa je 4 litre.



Slika 1: Mlin Wanner C 13.20 S

Dinamične mehanske analize (DMA) smo izvedli na Perkin Elmer DMA 8000. Vzorce smo segrevali s hitrostjo segrevanja 2 °C/min, pri frekvenci 1 Hz in amplitudi 20 µm. Za testiranja smo uporabili dvojno prižemo.

Termogravimetrične analize (TGA) smo izvedli na instrumentu Perkin Elmer TGA 4000. Vzorec smo segrevali od 40 °C do 550 °C, s hitrostjo segrevanja 10 °C/min, v dušikovi atmosferi (20 mL/min), nato pa 10 min. pri 550 °C v kisikovi atmosferi (20 mL/min).

Upogibne in natezne teste smo izvedli na trgalnem stroju Shimadzu AG-X plus 10kN. Upogibne teste smo izvedli skladno z ISO 178, natezne teste skladno z ISO 527. Pri upogibnem testu je bil razmik spodnjih podpor 64 mm, hitrost testiranja 2 mm/min. Pri nateznem testu je bil

razmak čeljusti 50 mm, hitrost testiranja do raztezka 0,25 % je bila 1 mm/min, nad 0,25 % do pretrga pa 50 mm/min.

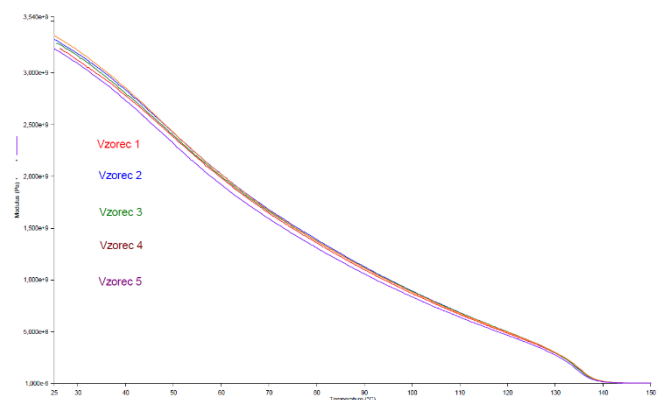
Diferenčno dinamično kalorimetrijo (DSC) smo izvedli na kalorimetru Mettler Toledo DSC 2 skladno z ISO 11357. Hitrost segrevanja in ohlajanja je bila 10 °C/min.

Meritve udarne in zrezne udarne žilavosti smo izvedli na Charpy LY-XJJDS skladno z ISO 179. Razmik med podporama je bil 60 mm, uporabili smo 2 J kladivo.

## 4 REZULTATI IN DISKUSIJA

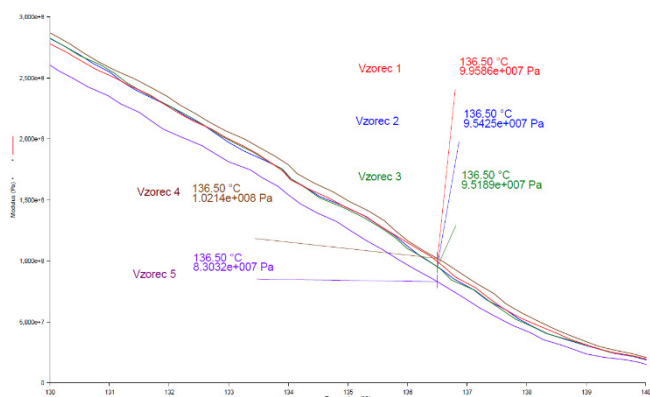
Vzorce smo najprej brizgali, potem zmleli na mlinu, zopet brizgali in to ponovili 5 krat. Pri vsaki seriji brizganih vzorcev smo odvzeli brizgane kose, katere smo karakterizirali na analizni opremi.

Slika 2 prikazuje dinamični E modul za vzorce. Opazimo lahko, da mehansko recikliranje nima občutnega vpliva do četrte predelave (vzorec 4), pri peti predelavi (vzorec 5) lahko opazimo upad dinamičnega E modula.



Slika 2: Rezultati DMA analiz

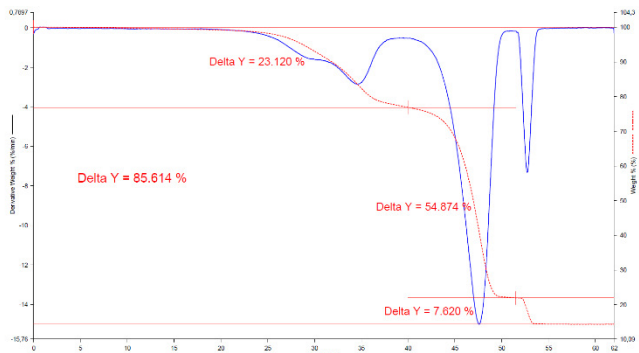
Nižji dinamični E modul pri peti predelavi lahko povežemo z delno degradacijo miskantusovih vlaken kot posledica delno mehanske degradacije (krajšanje miskantusovih vlaken pri mletju brizganih kosov) in delno degradacije polietilena visoke gostote. V območju tališča PE-HD je pri peti predelavi (vzorec 5) dinamični E modul občutno nižji (83 MPa) kot pri vseh ostalih vzorcih (od 95 MPa do 102 MPa) (Slika 3).



Slika 3: Dinamični E modul v območju tališča PE-HD

Če bi primerjali kompozite s steklenimi vlakni, bi se dinamični E modul z vsako predelavo občutno znižal, kot posledica krajšanja steklenih vlaken, v primeru miskantusovih vlaken pa do četrte predelave ne zaznamo sprememb v dinamičnih mehanskih lastnostih.

Na Sliki 4 je prikazan TGA termogram za vzorec 5 kjer je temperatura degradacije miskantusovih vlaken 364 °C, kjer razpade 23,1 m.% biokompozita, Temperatura degradacije PE-HD matrice znaša 491 °C, kjer razpade 54,9 m.% biokompozita. Ko prekopimo iz dušikove v kisikovo atmosfero zgorijo saje (7,6 m.%). Skupni razpad znaša 86,3 m.% biokompozita, kar pomeni, da je bilo v našem biokompozitu 13,7 m.% talka.



Slika 4: TGA termogram vzorca 5

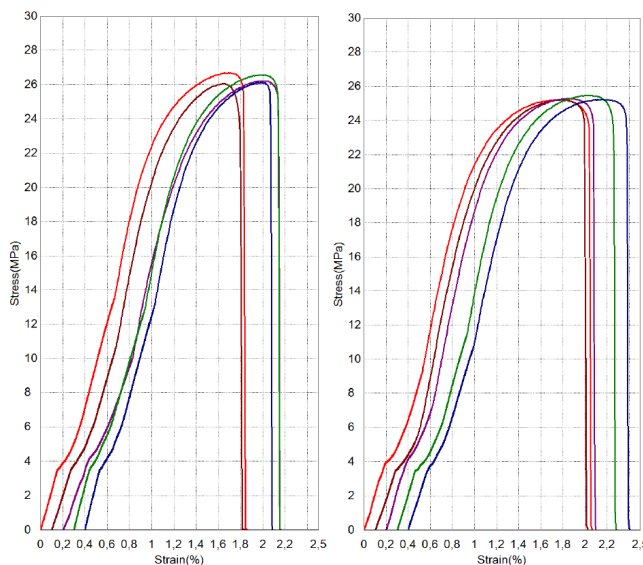
Rezultati TGA analize pokažejo (Tabela 1), da je temperatura degradacije vlaken miskantusa od 364 °C do 368 °C. Temperatura degradacije PE-HD matrice znaša 490 °C do 491 °C. Delež saj je odvisen od sestave vlaken miskantusa in znaša od 6,8 m.% do 7,7 m.%. Skupni razpad se je gibal med 85,2 m.% do 86,3 m.%, kar pomeni, da je bilo v kompozitu od 13,7 m.% do 14,8 m.% talka. Najnižja temperatura degradacije miskantusovih

vlaklen je pri vzorcu 5, kar lahko pomeni, da je delno že prišlo do razpada miskantusovih vlaken kot posledica večkratne predelave in s tem večkratne toplotne obremenitve miskantusovih vlaken.

Tabela 1: Rezultati TGA analiz

Vzorec	T <sub>d1</sub> (°C)	Razpad 1 (m.%)	T <sub>d2</sub> (°C)	Razpad 2 (m.%)	Skupni razpad (m.%)	Saje (m.%)
1	366	22,3	490	56,8	85,9	6,8
2	366	22,9	490	54,7	85,2	7,5
3	368	22,8	491	55,3	85,3	7,3
4	367	25,0	490	53,6	86,3	7,7
5	364	23,1	491	54,9	85,6	7,6

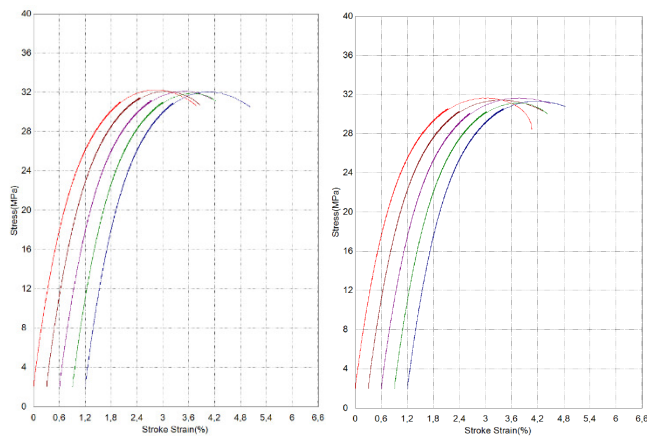
Z večanjem števila predelav natezni E modul in natezna trdnost padata (Tabela 2). Zniževanje nateznega E modula je do tretje predelave minimalno (- 5,6 %), potem se natezni E modul občutno zniža pri četrti (- 11,6%) in peti predelavi (-14,5%). Na Sliki 5 je lepo opazno znižanje natezne trdnosti od prve predelave (levo) do pete predelave (desno).



Slika 5: Natezni test vzorca 1 (levo) in vzorca 5 (desno)

Natezna trdnost se z vsako predelavo malenkostno zniža in je pri peti predelavi nižja za

2 %. Upogibni E modul pri drugi predelavi najprej naraste, potem do četrte predelave ostane na ravni prve predelave pri peti predelavi se spet malo zniža. Upogibna trdnost se z vsako predelavo znižuje in je pri peti predelavi nižja za 2,2 % glede na prvo predelavo. Na Sliki 6 sta predstavljena upogibna testa za vzorec 1 (levo) in vzorec 5 (desno). Nagib krivulje na začetku nam predstavlja upogibni E modul, višina predstavlja upogibno trdnost. Lepo se vidi znižanje maksimalne upogibne trdnosti po peti predelavi.



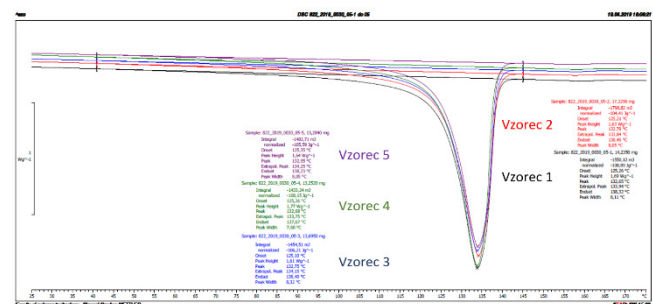
Slika 6: Upogibni test vzorca 1 (levo) in vzorca 5 (desno)

Rezultati nateznih in upogibnih testov so skladni z rezultati dinamične mehanske analize, kjer so do vključno četrte predelave lastnosti ohranjene, pri peti predelavi pa zaznamo upad.

Tabela 2: Rezultati mehanskih analiz

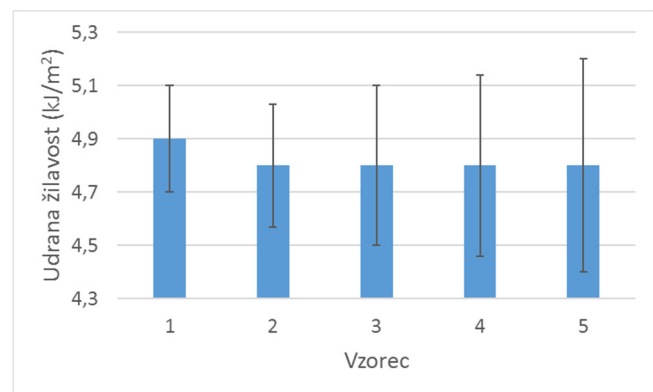
Vzorec	Natezni E modul (GPa)	Natezna trdnost (MPa)	Raztezek pri pretrgu (%)	Upogibni E modul (GPa)	Upogibna trdnost (MPa)
1	3,03	26,3	1,8	3,04	32,1
2	2,94	25,8	1,8	3,12	31,6
3	2,86	25,4	1,8	3,01	31,5
4	2,68	25,3	1,8	3,02	31,6
5	2,59	25,2	2,0	3,00	31,4

DSC analiza nam pokaže (Slika 7), da sta tališče in stopnja kristaliničnosti (talilna entalpija) od števila predelav neodvisni. Z naraščanjem števila predelav znašajo temperature tališč od prve do pete predelave 132,7 °C, 1328 °C, 132,8 °C, 132,7 °C in 133,0 °C. Z naraščanjem števila predelav znašajo stopnje kristaliničnosti od prve do pete predelave 74,9 %, 71,8 %, 730 %, 74,4 % in 72,6 %. Pri preračunu stopnje kristaliničnosti smo upoštevali, da znaša talilna entalpija za 100 % kristaliničen PE-HD 293 J/g in da je delež PE-HD v naših kompozitih znašal 49,62 m. %.



Slika 7: DSC termogrami vzorcev

Na Sliki 8 so prikazane meritve udarne žilavosti. Pri prvi predelavi je vrednost malo višja kot potem pri ostalih štirih predelavah. Vidimo lahko, da povprečne vrednosti ostajajo z višanjem števila predelav konstantne, zvišuje se pa standardni odmik, kar pomeni, da je raztros meritev z naraščanjem števila predelav vedno višji. Ta raztros pa lahko povežemo s krajšanjem miskantusovih vlaken kot posledica mletja brizganih izdelkov kot tudi delne degradacije miskantusovih vlaken kot posledica večkratne temperaturne obremenitve vlaken.



Slika 8: Meritve zarezne udarne žilavosti

## 5 SKLEP

Rezultati vseh testov so pokazali, da je recikliranje biokompozitov izvedljivo v enaki meri kot kompozitov iz neobnovljivih virov. Rezultati nam pokažejo, da pri peti predelavi še ne pride do degradacije PE-HD matrice kljub temu, da je sintetizirana iz obnovljivih virov (sladkornega trsa). Rezultati mehanskih analiz (DMA, natezni in upogibni testi) na nakazujejo, da so mehanske lastnosti do četrte predelave skoraj konstantne, kar je glede na kompozite s steklenimi vlakni nepričakovano. Pri kompozitih s steklenimi vlakni se pri vsakem mletju brizganih izdelkov steklena vlakna močno skrajšajo, kar vodi k opaznem znižanju togosti in trdnosti kompozitov. To za biokompozite iz miskantusovih vlaken ne velja, saj so mehanske lastnosti vsaj do četrte predelave praktično nespremenjene. Toplotne lastnosti so z izjemo temperature degradacije miskantusovih vlaken, ki pri peti predelave razpade 3 °C prej kot pri predhodnih predelavah, praktično nespremenjene. To velja tako za tališče PE-HD kot tudi za stopnjo kristaliničnosti PE-HD. To pa hkrati kaže tudi na to, da med reciklažo biokompozitov ne prihaja do degradacije PE-HD matrice in da so spremembe lastnosti biokompozitov po vsej verjetnosti povezane le s krajšanjem miskantusovih vlaken in z delno degradacijo miskantusovih vlaken.

Viri:

- [1] Bio-based plastics: status, challenges and trends ([https://www.openagrar.de/receive/timport\\_mods\\_00037696](https://www.openagrar.de/receive/timport_mods_00037696))
- [2] Pilla, S.: *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*. Madison: Wisconsin Institute for Discovery, 2011.
- [3] Zenkiewicz, M., Richert, J., Rytlewski, P., Moraczewski, K., Stepczynska, M., Karasiewicz, T.: Characterisation of multi-extruded poly(lactic acid), *Polymer Testing* (2009), vol. 28, no. 4, str. 412-418.

## VPLIV ČASA SKLADIŠČENJA NA LASTNOSTI BRIZGANIH IZDELKOV IZ PA 66 GF15

**Silvester BOLKA**

Fakulteta za tehnologijo polimerov

### IZVLEČEK

*Za brizgan izdelek želimo dobiti čim boljše mehanske in toplotne lastnosti ter lep izgled, če je izdelek na vidnem mestu. Za zagotovitev funkcionalnega in estetsko lepega izdelka je potrebno ustrezno nastaviti parametre brizganja, ki vplivajo na vsak material drugače. Za poliamide je značilno, da navzemajo vlago predvsem v amorfnem delu strukture. Z višjo vsebnostjo vlage vplivamo tudi na izboljšanje njihove žilavosti. Visoka žilavost je pomembna predvsem pri konstrukcijskih brizganih kosih, ki jih uporabljamo pri izdelkih, kjer so mehansko obremenjeni, da ne pride do loma.*

*V prispevku bomo predstavili vpliv časa skladiščenja, kjer so brizgani izdelki iz PA 66 GF15 navzemali vlago, na spremembo njihovih mehanskih in toplotnih lastnosti. Predstavili bomo, kako s parametri brizganja, s katerimi smo dosegli nižjo stopnjo kristaliničnosti, dosežemo večji navzem vlage in s tem večjo spremembo mehanskih in toplotnih lastnosti.*

### 1 UVOD

Kristaliničnost in navzem vode sta pomembna za fizikalne lastnosti poliamidov. Voda se veže na amidne skupine, vendar le na amorfnu fazo. Večji kot je delež kristalinične faze, manjši je navzem vode. Voda hkrati deluje tudi kot plastifikator za poliamid. Vsi poliamidi imajo zelo dobro odpornost proti obrabi tako v suhem kot kondicioniranem stanju. Prednost poliamida 66 je predvsem v visokem tališču, kar mu izboljša uporabnost pri povišanih temperaturah. Molekule vode, ki so prisotne v zraku, se absorbirajo na amidne skupine v amorfnu fazi. Količina prisotne vode je odvisna od relativne vlažnosti zraka, s katero je poliamid v ravnovesju. Absorpcija ima velik vpliv na mehanske lastnosti poliamida. Natezni E modul in natezna trdnost se zmanjšata, raztezek in žilavost pa naraščata z naraščanjem vsebnosti vode. [1]

Pri brizganju poliamida 66 + 15 m.% steklenih vlaken je pred brizganjem priporočljivo sušenje granulata pri 80 °C 4 ure. Temperature brizganja so odvisne od tipa poliamida in se gibljejo od 270 °C do 290 °C. Temperature orodja se gibljejo od 80 °C do 120 °C in tlaki brizganja med 700 barov do 1200 barov. Skrček pri predelavi PA 66 je med 1 % in 2 %, pri poliamidnih kompozitih s

steklenimi vlakni je skrček manjši. Zaradi dviga temperatur orodja lahko zmanjšamo napetosti v materialu, vendar pride do dimenzijskih sprememb zaradi naknadne kristalizacije [2, 3 in 4].

### 2 EKSPERIMENTALNI DEL

Pri predelavi polimerov z brizganjem so poleg samega orodja pomembni tudi parametri, ki jih nastavimo na stroju. Za brizgan izdelek želimo dobiti čim boljše mehanske in toplotne lastnosti ter lep izgled, če je izdelek na vidnem mestu. Pri delnokristaliničnem PA 66 GF15 je pomembna stopnja kristaliničnosti po brizganju na sposobnost navzemanja vlage pri skladiščenju brizganih izdelkov.

#### 2.1 Uporabljeni materiali

Za raziskavo smo uporabili Durethan AKV 15 H2.0, proizvajalca Lanxess. Pred brizganjem smo granulata osušili na vlago pod 0,1 %.

#### 2.2 Priprava vzorcev

Izdelali smo 2 seriji vzorcev in sicer z visoko in nizko razliko med temperaturo taline in temperaturo orodja. Vzorce smo potem skladiščili

v pogojih zaprtega, vendar neogrevanega skladišča. Pri brizganju vzorcev z nizko razliko med temperaturo taline in orodja (vzorci 1) smo nastavili temperature cilindra 270 °C, 280 °C, 275 °C, 270 °C in 260 °C, ter temperaturo orodja 100 °C. Pri vzorcih z visoko razliko med temperaturo taline in orodja (vzorci 2) smo nastavili temperature cilindra 285 °C, 305 °C, 300 °C, 295 °C in 290 °C, ter temperaturo orodja 30 °C. Vzorce smo potem skladiščili 7 tednov in zasledovali spremembe v lastnostih.

### 2.3 Laboratorijski testi

Vse laboratorijske teste smo opravili v laboratorijih na Fakulteti za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu.

Brizgali smo na brizgalnem stroju Krauss Maffei KM 50-180 CX.

Natezne in upogibne teste smo izvedli na trgalnem stroju Shimadzu AG-X plus 10 kN. Natezne teste smo izvedli skladno z ISO 527. Razmak čeljusti je bil 50 mm, hitrost testiranja do raztezka 0,25 % je bila 1 mm/min, nad 0,25 % do pretrga pa 50 mm/min. Upogibne teste smo izvedli skladno z ISO 178. Razmik spodnjih podpor je bil 64 mm, hitrost testiranja pa 2 mm/min.

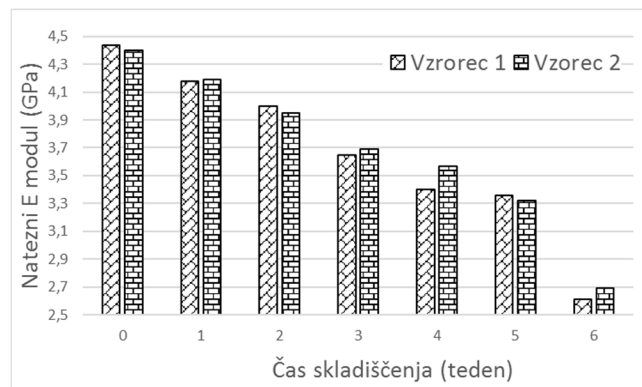
Dinamične mehanske analize (DMA) smo izvedli na Perkin Elmer DMA 8000. Vzorce smo testirali na upogib z dvojno prižemo s frekvenco 10 Hz, amplitudo 0,02 mm in do 210 °C. Hitrost segrevanja je bila 2 °C/min.

Preizkus udarne žilavosti smo izvedli po Charpy-ju na LY-XJJDS z 2 J kladivom. Vzorci so bili širine 10 mm in debeline 4 mm, razdalja med podporama je bila 60 mm.

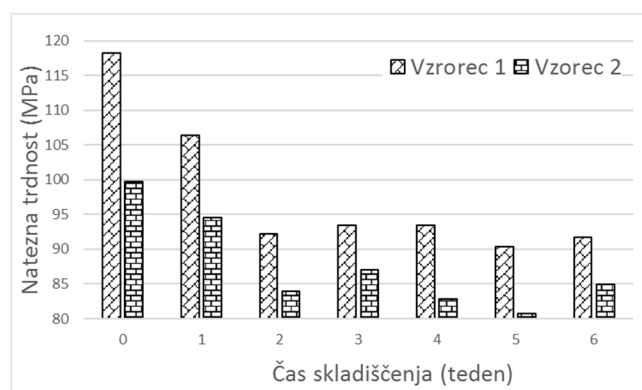
Termogravimetrične analize (TGA) smo izvedli na instrumentu Perkin Elmer TGA 4000. Vzorec smo segrevali od 40 °C do 550 °C, s hitrostjo segrevanja 10 °C/min, v dušikovi atmosferi (20 mL/min), nato pa izotermno držali pri 550 °C 10 min. v kisikovi atmosferi (20 mL/min).

### 2.4 Rezultati

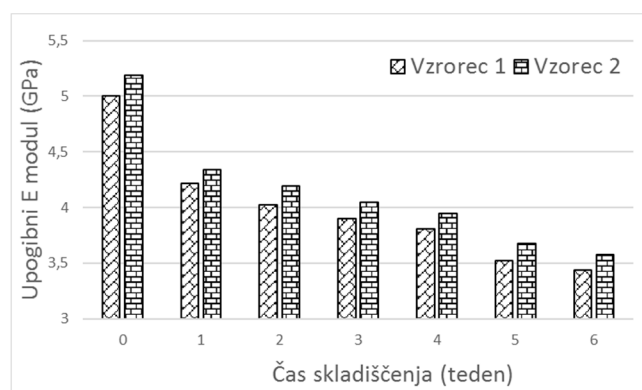
Na Slikah od 1 do 4 so predstavljeni rezultati nateznih in upogibnih testov.



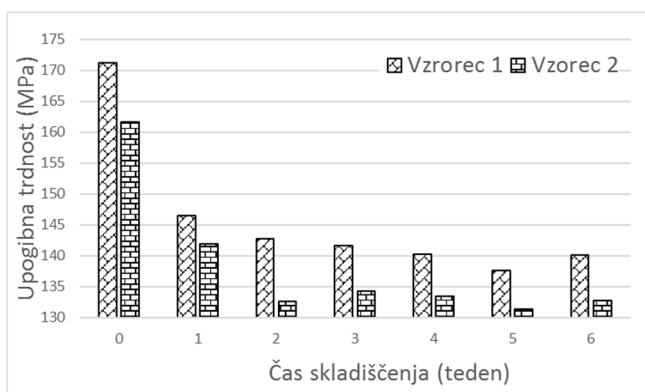
Slika 1: Natezni E modul v odvisnosti od časa skladiščenja



Slika 2: Natezna trdnost v odvisnosti od časa skladiščenja



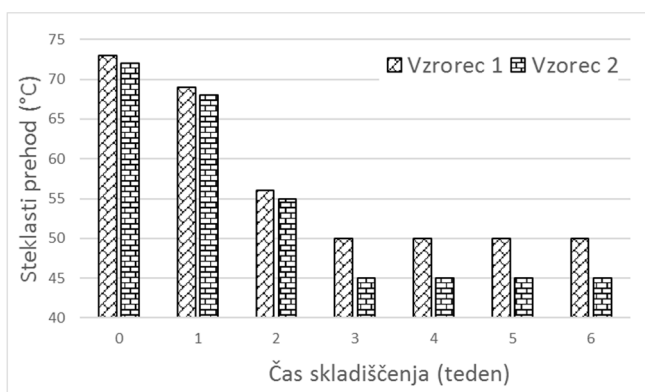
Slika 3: Upogibni E modul v odvisnosti od časa skladiščenja



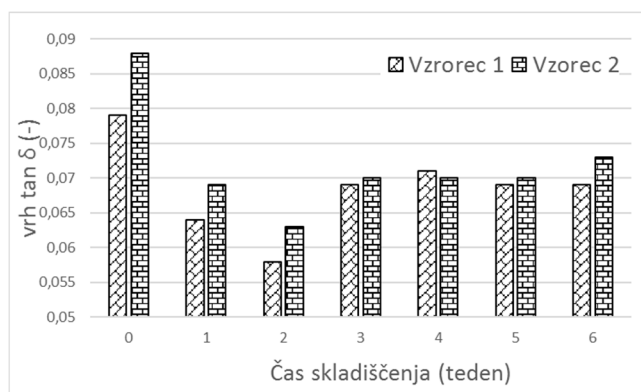
Slika 4: Maksimalna upogibna trdnost v odvisnosti od časa skladiščenja

Tako natezni kot upogibni E modul se s časom skladiščenja znižujeta, kar je pričakovano, saj s časom skladiščenja poliamid navzema vodo, ki deluje v kompozitu kot plastifikator in tako zniža togost materialu. Razlike med obema vzorcema so minimalne, tako da bi na podlagi togosti težko razlikovali oba vzorca glede morfologije, kar pa je po vsej verjetnosti posledica vsebnosti steklenih vlaken, ki imajo na togost veliko večji vpliv in so prisotna v obeh vzorcih v enaki količini. Pri trdnosti bi lahko zaključili, da je trdnost močno povezana z zračno vlago v času skladiščenja. Pri natezni in upogibni trdnosti pa vidimo občutno razliko med vzorcema in sicer ima vzorec 1 višjo trdnost ne glede na čas skladiščenja.

Na Sliki 5 so prikazane temperature steklastega prehoda izmerjene z DMA (vrh faktorja izgub) in na Sliki 6 so prikazane višine vrhov izmerjene z DMA (vrh faktorja izgub).



Slika 5: Temperature steklastega prehoda izmerjene z DMA (faktor izgub)

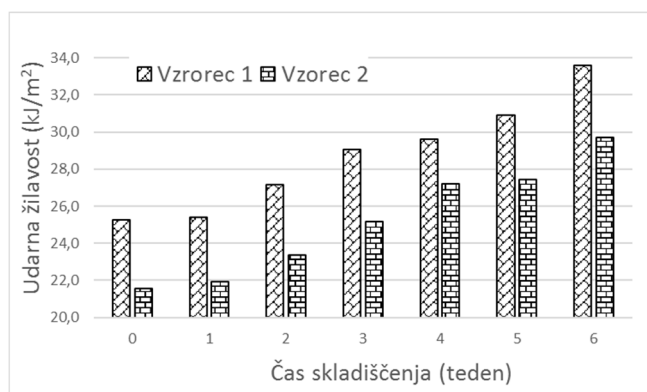


Slika 6: Višine vrhov faktorja izgub izmerjene z DMA (faktor izgub)

Zniževanje steklastega prehoda izmerjenega z DMA z daljšanjem časa skladiščenja pomeni, da je vpliv vlage, ki se veže v poliamid zelo velik in sicer do 3 tedna skladiščenja, ko dosežeta oba vzorca minimalne vrednosti, ki se potem do konca testa niso več spremenile. Vzorec 2 ima skozi celotno obdobje skladiščenja malenkostno nižji steklasti prehod kot vzorec 1. Na podlagi rezultatov bi lahko zaključili, da ima vzorec 1 višjo stopnjo kristaliničnosti, ki ima na položaj steklastega prehoda tudi vpliv (višja stopnja kristaliničnosti lahko zviša temperaturo steklastega prehoda). Rezultati višine vrhov faktorja izgub na dajo presenetljive rezultate. Višji kot je vrh pomeni, da ima material bolj plastičen odziv, zato smo pričakovali, da bomo s daljšanjem časa skladiščenja dobili naraščanje višine vrhov. Dobimo pa zanimiv rezultat, saj prve tri tedne dobimo zniževanje višine vrhov, kar pomeni, da ima naknadna kristalizacija materiala večji vpliv na odziv kot navzemanje vlage.

Na Sliki 7 so prikazani rezultati udarne žilavosti obeh vzorcev v povezavi s časom skladiščenja.

Rezultati udarne žilavosti jasno kažejo vpliv časa skladiščenja na občutno zvišanje žilavosti poliamidnih kompozitov. Presenetljivo je, da ima vzorec 2 nižjo žilavost kot vzorec 1, saj so nam rezultati predhodnih testov potrdili, da je stopnja kristaliničnosti vzorca 1 višja kot vzorca 2. Višja stopnja kristaliničnosti pa običajno zniža tudi žilavost.



Slika 7: Prikazani rezultati udarne žilavosti

V Tabeli 1 so prikazani rezultati TGA analiz.

Tabela 1: Rezultati TGA analiz

Vzorec – čas skladiščenja (teden)	Vlaga (m.%)	T <sub>d1</sub> (°C)	Poliamid (m.%)	Steklena vlakna (m.%)	Saje (m.%)
1-0	1,0	482,9	82,1	12,9	3,9
1-1	1,9	481,7	80,4	14,3	3,4
1-2	3,3	480,2	80,8	12,3	3,6
1-3	1,8	479,2	79,4	14,7	0,8
1-4	1,8	481,2	80,6	17,4	0,1
1-5	2,1	481,9	79,3	14,9	3,7
1-6	2,9	482,5	78,9	14,4	3,7
2-0	0,8	461,9	82,7	13,3	3,2
2-1	1,7	478,9	80,2	13,9	4,1
2-2	2,7	479,0	79,7	13,5	4,2
2-3	2,2	472,6	80,1	14,3	3,3
2-4	2,2	467,3	80,5	13,9	3,4
2-5	2,4	478,7	77,9	14,8	4,7
2-6	2,8	468,1	78,2	14,2	4,1

Na podlagi TGA analiz lahko zaključimo, da so vzorci v prvih dveh tednih skladiščenja navzeli največ vlage. Vsebnost steklenih vlaken je pri vseh vzorcih primerljiva (izjema je le vzorec 1 po 4. tednu skladiščenja, kjer je vsebnost steklenih vlaken 17,4 m.%). Vsebnost saj tudi kar močno niha in sicer od 0,1 m.% do 4,7 m.%, kar bi mogoče lahko povezali z vsebnostjo barvila. Vsebnost poliamida znaša od 77,9 m.% do 82,7 m.%. Temperatura degradacije je pri vzorcu 1

višja kot pri vzorcu 2, kar lahko pomeni, da je višja temperatura pri predelavi povzročila že delno degradacijo poliamida. Razlika v temperaturi razpada je več kot 20 °C. Predvidevanja, da bodo vzorci z nižjo stopnjo kristaliničnosti (vzorec 2) navzeli več vlage, so se pokazala kot pravilna, saj je vsebnost vlage pri vzorcih 2 v povprečju višja kot pri vzorcu 1.

### 3 SKLEP

V okviru raziskave smo testirali termoplastični kompozit PA 66 GF 15, katerega smo brizgali z visoko in nizko razliko v temperaturi taline in orodja, ter študirali vpliv časa skladiščenja na lastnosti brizganih kosov.

Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da z daljšim časom skladiščenja poliamid navzema vlago iz okolice, hkrati pa ima trenutna zračna vlaga velik vpliv na elastični odziv kompozita, tudi na natezno in upogibno trdnost. Z daljšanjem časa skladiščenja močno padeta tako natezni kot upogibni E modul, prav tako tudi temperatura steklastega prehoda.

Predvidevanja, da bo daljši čas skladiščenja zvišal žilavost poliamidnega kompozita so se izkazala kot pravilna, hkrati pa smo pokazali, da ima material z višjo stopnjo kristaliničnosti (vzorec 1) višjo žilavost, kot degradiran material (vzorec 2), ki je bil brizgan pri višji temperaturi taline.

Viri:

- [1] Vinken, E.: *Polyamid: hydrogen bonding, the Brill transition, and superheated water*. Eindhoven, University of Technology, 2008.
- [2] Privšek, H.: *Umetnost brizganja*. Škofljica: ProfiDTP, d. o. o., 2015.
- [3] Navodnik, J.: *Plastik – orodjar: Priročnik*. 3. dopolnjena izdaja. Velenje: Navodnik – kemijski inženiring, 1998.
- [4] Nor, M., Rahman, A., Aziz H., Rosiyah Y.: *Plasticisation Effect on Thermal, Dynamic Mechanical and Tensile Properties of Injecton-Moulded Glass-Fibre/Polyamide 6,6*. Malaya: University of Malaya, 2008

## STEREOLITOGRAFIJA: PRIPRAVLJENA NA IZDELAVO KONČNIH IZDELKOV?

**Janez SLAPNIK<sup>1</sup>, Tanja STILLER<sup>2</sup>, Andreas HAUSBERGER<sup>2</sup>, Franc HANŽIČ<sup>3</sup>, Slavko CEHNER<sup>3</sup>, Urban CEHNER<sup>3</sup>, Damian MURGEC<sup>3</sup>, Irena PULKO<sup>1</sup>, Thomas WILHELM<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fakulteta za tehnologijo polimerov

<sup>2</sup>Polymer Competence Center Leoben, GmbH

<sup>3</sup>Doorson, d.o.o.

### IZVLEČEK

*Stereolitografija (SLA) je prva patentirana tehnologija dodajalne izdelave (ang. Additive Manufacturing (AM)), poznana tudi pod izrazom 3D tisk. Deluje na principu utrjevanja fotoobčutljive smole s pomočjo svetlobe in omogoča natančno izdelavo kompleksnih izdelkov neposredno iz modela za računalniško podprto načrtovanje (ang. Computer Aided Design (CAD)). Zaradi krhkosti fotoobčutljivih smol se je v preteklosti uporabljala le za izdelavo vizualnih prototipov. Nedavni napredek v razvoju materialov in tehnologij odpira stereolitografiji nove možnosti uporabe. V uvodnem delu prispevka bodo predstavljeni primeri možnosti uporabe stereolitografije za industrijske namene. V nadaljevanju bo predstavljeno, kako lahko krojimo mehanske in termične lastnosti fotoobčutljivih smol za AM, glede na zahteve končnega izdelka. Prikazan bo praktični primer razvoja fotoobčutljive smole z izboljšanimi tribološkimi lastnostmi za aplikacijo gonilnega sistema avtomatskih vrat.*

### 1 UVOD

AM je tehnologija, ki omogoča neposredno izdelavo izdelkov iz CAD modela. Za razliko od konvencionalnih postopkov izdelave, kjer je potrebna natančna analiza geometrije izdelka, da lahko določimo postopke izdelave, lahko z AM izdelamo izdelke neposredno, brez načrtovanja procesa izdelave. AM deluje na principu izdelave izdelkov z nanašanjem materiala po dveh dimenzijah (X in Y os) sloj na sloj ter na tak način ustvarja tretjo dimenzijo (Z os). Kot je avtomatizacija prinesla nenaden industrijski napredek oziroma tretjo industrijsko revolucijo lahko AM skupaj z ostalimi tehnologijami, kot so industrijski internet stvari in napredkom na področju umetne inteligence spremeni način izdelave, logistike, trženja in uporabe izdelkov. Glavna prednost AM pred konvencionalni izdelavo je njena agilnost, saj za izdelavo izdelkov ne potrebujemo orodij. Posledično lahko z AM izdelamo izdelke izjemno kompleksnih geometrij, ob enem pa zagotavljamo kratke čase razvoja in izdelave. Zgodovina AM sega v 1984, ko je Charles W. Hull patentiral prvo tehnologijo AM pod pojmom SLA. Princip delovanja SLA je utrjevanje tekoče fotoobčutljive smole v kadi s pomočjo svetlobe. Prve tehnologije so kot vir svetlobe uporabljale laser, ki se usmerja po kadi s

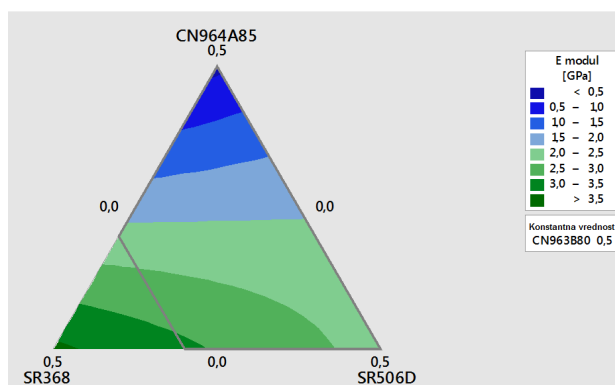
fotoobčutljivo smolo s pomočjo galvanometrov. Kasneje so se razvile še druge izvedbe tehnologije, ki za usmerjanje svetlobe uporabljajo šablone, ki so na primer tekoči kristalni zasloni (ang. Liquid Crystal Display (LCD)), naprave z digitalnimi ogledali (ang. Digital Mirror Devices (DMD)) in dvofotonski postopki, ki kot vir svetlobe uporabljajo laserje, kateri omogočajo visoko resolucijo izdelave. Prednost stereolitografije pred drugimi tehnologijami AM je izjemna natančnost izdelave in kvaliteta površine, saj posamezni sloji praktično niso vidni [1,2]. Stereolitografija je bila na začetku primarno namenjena izdelavi vizualnih prototipov in ne funkcionalnih končnih izdelkov, saj so imele fotoobčutljive smole za 3D tisk slabe mehanske lastnosti (krhkost). Nedavni napredek na področju materialov in tehnologij pa stereolitografiji odpira nove možnosti uporabe. Tehnologije, kot so proizvodnja z neprekinjeno tekočo medfazo (ang. Continuous Liquid Interface Production (CLIP)) omogočajo zelo visoke hitrosti izdelave izdelkov (hitrost po Z osi do 1 m/h). Prve smole za SLA so bile na osnovi akrilatov ali vinil etrov, ki so bili zelo reaktivni, vendar so se med utrjevanjem zvijali, kot posledica zelo visokih in nehomogenih skrčkov. Manj reaktivni monomeri (akrilati, metakrilati ali vinil etri/epoksidi) se bistveno manj zvijajo in se lahko po 3D tisku naknadno zamrežijo. Sodobne smole za SLA so

najpogosteje sestavljene iz kombinacije akrilatov, ki so zelo reaktivni in omogočajo visoke hitrosti izdelave in epoksidov, ki reagirajo počasneje, vendar nudijo nizke skrčke ter niso občutljivi na kisik. Utrjeni polimeri tako niso kopolimeri, ampak prepletene polimerne mreže. Z SLA je možno posredno izdelati tudi kovinske in keramične izdelke, neposredno pa kompozitne izdelke [1,4].

## 2 KROJENJE LASTNOSTI FOTOOBČUTLJIVIH SMOL ZA AM

Fotoobčutljive smole so običajno sestavljene iz treh osnovnih komponent: fotoiniciatorja, ki absorbira svetlobo in tvori reaktivne radikale ali ione, ki iniciirajo fotopolimerizacijo; oligomere ali polimere, ki pri polimerizaciji gradijo glavno verigo polimerne mreže in monomere, ki delujejo kot reaktivna razredčila in so posledično vgrajeni v polimerno mrežo. Pravilna izbira teh komponent je ključna za dobre lastnosti končnega izdelka. Kemijska struktura oligomerov in monomerov lahko variira od alifatskih do aromatskih, od etra, estra do uretana. Elastomerne materiale dobimo z alifatskimi verigami, medtem ko z aromatskimi dobimo trde in toge materiale. Polimeri na osnovi multifunkcionalnih akrilatov imajo običajno visoko stopnjo zamreženja in posledično dobro temperaturno obstojnost. Alifatski uretanski akrilati imajo nizek skrček, med staranjem ne porumenijo in zagotavljajo fleksibilnost, ki prepreči pokanje izdelkov. Posledično je možno kroitati lastnosti fotoobčutljivih smol za AM glede na namen uporabe [4]. Načrtovanje eksperimentov (ang. Design of Experiments (DoE)) je statistična metodologija, ki omogoča učinkovito in uspešno korelacijo vhodov in izhodov procesa. Načrtovanje mešanic je posebna vrsta DoE s površino odziva, s katerih proučujemo mešanice z več komponentami. Pri načrtovanju mešanic je odziv (npr. modul elastičnosti) odvisen od relativnih deležev posameznih komponent. Dizajn mešanic nam omogoča, da matematično opišemo relacije med vhodi (deleži komponent) in odzivi. S pomočjo izdelanega matematičnega modela lahko nato napovedujemo lastnosti materiala skozi celotno območje koncentracij in na tak način optimiramo sestavo smole glede na želene lastnosti materiala. Na Fakulteti za tehnologijo

polimerov (FTPO) smo na podlagi dizajna mešanic razvili matematični model, ki nam omogoča napovedovanje lastnosti fotoobčutljivih smol v odvisnosti od deležev posameznih komponent. Z variiranjem deležem štirih komponent (dva oligomera in dva monomera) lahko prilagajamo mehanske in termične lastnosti (modul elastičnosti, natezna trdnosti, raztezek pri pretrgu, udarna žilavost, mehanska stabilnost pri povišani temperaturi, viskoelastične lastnosti – dušenje vibracij, itd.) glede na želene lastnosti končnega izdelka. Slika 1 prikazuje konturni diagram mešanice za modul elastičnosti v odvisnosti od deležev treh komponent, pri konstantni koncentraciji ene komponente. S prilagajanjem koncentracij štirih komponent lahko pripravimo fotoobčutljive smole z modulom elastičnosti od 0,5 GPa (temno modro področje) do 3,5 GPa (temno zeleno področje).



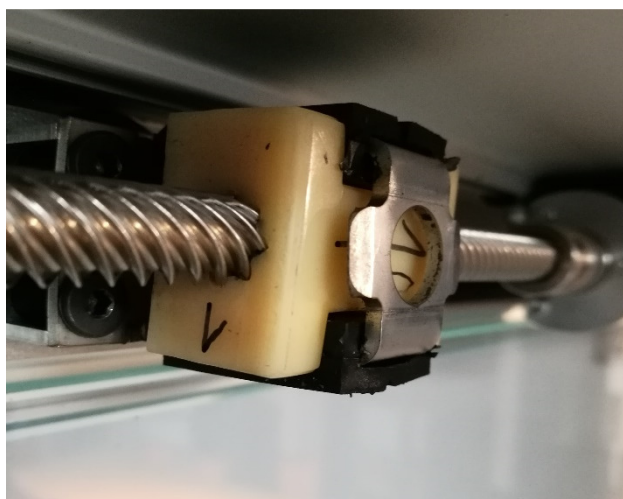
Slika 1: Konturni diagram mešanice za modul elastičnosti v odvisnosti od deležev treh komponent, pri konstantni koncentraciji ene komponente.

## 3 FOTOOBČUTLJIVE SMOLE ZA AM Z IZBOLJŠANIMI TRIBOLOŠKIMI LASTNOSTMI

Polimerni materiali so pogosto uporabljeni v različnih aplikacijah, kot so ležaji, tesnila gredi in zobniki, kjer so izpostavljeni drsenju, saj nudijo dobre tribološke lastnosti. Tovrstni deli se tradicionalno izdelujejo s postopkom brizganja plastike ali z rezkanjem iz surovcev [6]. Brizganje plastike je postopek predelave z veliko produktivnostjo in predstavlja ekonomsko ugodno rešitev za izdelavo velikih serij izdelkov, vendar ima omejitve, kot so omejena natančnost izdelave, omejitve pri geometriji izdelkov in draga maloserijska izdelava. S postopkom rezkanja je

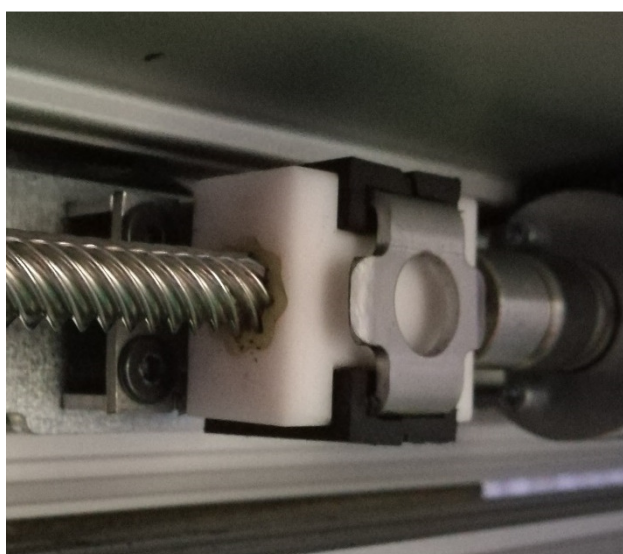
mogoče izdelati natančne izdelke, vendar ima omejitve pri geometriji izdelkov in nizko produktivnost. AM lahko s svojimi prednostmi nudi alternativo za izdelavo izdelkov, ki se uporabljajo v triboloških aplikacijah. SLA je še posebej zanimiva tehnologija za določene tribološke aplikacije, saj omogoča veliko natančnost izdelave in dobro kvaliteto površine, vendar uporaba SLA za tribološke aplikacije v literaturi ni proučevana. Doorson d.o.o. je vodilno podjetje na področju avtomatskih drsnih vrat v Sloveniji in na Hrvaškem. Za novo generacijo avtomatskih drsnih vrat razvijajo sistem za pogon na jekleno vreteno z matico. Gonilni sistem mora omogočiti tiho in nemoteno delovanje 100.000 ciklov odpiranja vrat za nizko frekvenčne prehode ter več kot 300.000 ciklov za visoko frekvenčne prehode. Komercialno dostopne matice za gonilna vretena so izdelane s postopkom brizganja plastike iz poliamida ojačenega s steklenimi vlakni. Zaradi njihove geometrije je problematično učinkovito vpetje matice na drsna vrata. Pri testiranju na preizkuševalni napravi se je izkazalo, da so brizgane matice preglasne in odpovejo po okvirno 70.000 ciklih. Z željo po izboljšanju delovanja vrat je podjetje Doorson pričelo proučevati AM kot tehnologijo za izdelavo matice za pogon vrat. Testiranje je potekalo z maticami izdelanimi s AM s postopkom ekstruzije in SLA tehnologije, kjer se je SLA zaradi natančne izdelave izkazala kot bolj primerna tehnologija za izdelavo navoja za matico, vendar pri maticah izdelanih iz komercialno dostopnih fotoobčutljivih smol pride do relativno hitre obrabe (okvirno 70.000 ciklov). Podjetje Doorson je skupaj s Fakulteto za tehnologijo polimerov in Polimernem kompetenčnem centru Leoben pričelo z razvojem fotoobčutljivih smol za SLA z izboljšanimi tribološkimi lastnostmi. Za razvoj osnovne fotoobčutljive smole smo uporabili matematični model, ki smo ga predhodno razvili. Na tak način smo pripravili smolo za aplikacijo pogona vrat, ki ima primerne lastnosti, kot so modul elastičnosti, natezna trdnost, udarna žilavost, mehanska stabilnost pri povišani temperaturi, dušenje vibracij, itd.. Željeno je, da ima matica dobre tribološke lastnosti, ki zagotavljajo nizki koeficient trenja in nizko obrabo, dobre mehanske lastnosti, ki zagotavljajo prenos obremenitve iz vretena na vrata ter učinkovito dušenje vibracij, ki zagotavlja tiho

delovanje gonilnega sistema vrat. Osnovni smoli smo dodali različne suhe lubrikante, kot so grafit, politetrafluoroetilen (PTFE) in molibdenov disulfid, ki so pogosti dodatki za izboljšanje triboloških lastnosti polimernih materialov. Določili smo ustrezne vsebnosti lubrikantov v fotoobčutljivi smoli, ki še omogočajo nemoteno izdelavo s postopkom SLA in pripravili fotoobčutljive smole, ki vsebujejo po en lubrikant ali kombinacijo dveh lubrikantov. Iz pripravljenih smol smo izdelali preizkušance za določanje mehanskih, termičnih in triboloških lastnosti z nateznim preizkusom, preizkusom udarne žilavosti po Charpyju, dinamično mehansko analizo (DMA), preizkusom trdote po Shore D in merjenjem triboloških lastnosti z metodo igla na disk ter določanje kemijske sestave (pretvorbe dvojnih vezi) z infrardečo spektroskopijo. Iz pripravljenih materialov smo tudi izdelali matice, ki smo jih testirali na preizkuševalni napravi. PTFE se je izkazal kot lubrikant, ki najbolj izboljša tribološke lastnosti fotoobčutljive smole. Najboljše tribološke lastnosti smo izmerili pri hibridnem sistemu lubrikantov (PTFE/molibdenov disulfid), kjer se koeficient zniža do 52 % in hitrost obrabe do 92 % napram smoli brez lubrikantov. Najboljše razmerje med mehanskimi, termičnimi in tribološkimi lastnostmi je imela fotoobčutljiva smola z vsebnostjo PTFE, zato smo ta material izbrali z nadaljnjo testiranje. Slika 2 prikazuje matico izdelano s tehnologijo SLA iz fotoobčutljive smole z vsebnostjo PTFE, ki je vpeta na preizkuševalni napravi. Prve testirane matice so bile v celoti izdelane s tehnologijo SLA. Med testiranjem so matice zdržale okrog 160.000 ciklov, odpovedale pa so navadno zaradi zloma »ušes«, ki so pritrjena na vpetje vrat. Delovanje gonilnega sistema vrat je bilo opazno tišje napram brizgani matici in maticah tiskanimi s komercialno dostopnimi smolami, saj material bolje duši vibracije.



**Slika 2: Matica izdelana s tehnologijo SLA iz fotoobčutljive smole z vsebnostjo PTFE vpeta na preizkuševalni napravi**

Glede na rezultate testiranja, pri katerih je prišlo do odpovedi matic zaradi zloma »ušes« se je podjetje odločilo, da preizkusi možnost uporabe dvodelnih matic, pri katerih je navojnica izdelana iz fotoobčutljive smole z izboljšanimi tribološkimi lastnostmi, ohišje matice pa je izdelano iz komercialno dostopne fotoobčutljive smole ojačene s steklenimi vlakni. Navojnica zagotavlja nizko trenje in nizko obrabo, medtem ko ohišje zagotavlja dobre mehanske lastnosti (togost, trdota in udarna žilavost), ki so potrebne za prenos gonilne sile na vpetje na vratih. Slika 3 prikazuje dvodelno matico izdelano s tehnologijo SLA vpeto na preizkuševalni napravi.



**Slika 3: Dvodelna matica izdelana s tehnologijo SLA vpeta na preizkuševalni napravi**

Dvodelne matice so pri testiranju zdržale bistveno višje število ciklov (preko 500.000), saj med

testiranjem ni prišlo do zloma »ušes«, temveč do obrabe navojnice.

#### 4 SKLEP

SLA je tehnologija AM, ki omogoča preprosto izdelavo izdelkov kompleksnih geometrij z visoko natančnostjo. V preteklosti je bila SLA namenjena le za izdelavo vizualnih prototipov, saj so imele fotoobčutljive smole za AM slabe mehanske lastnosti (krhkost). Napredek na področju materialov in tehnologij je pripeljal SLA na stopnjo, da se lahko uporablja za izdelavo končnih izdelkov. Na trgu je komercialno dostopen širok nabor materialov za pripravo fotoobčutljivih smol z različnimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi, kar omogoča krojenje lastnosti materiala, glede na namen uporabe. Fotoobčutljivim smolam je mogoče z dodatkom lubrikantov izboljšati tribološke lastnosti. Tovrstni materiali so primerni za izdelavo končnih izdelkov, ki so izpostavljeni drsenju. Z SLA smo uspešno izdelali matico za gonilni sistem vrat, ki ima izboljšano delovanje napram matici izdelani iz poliamida ojačenega s steklenimi vlakni izdelani s postopkom brizganja plastike. Matica izdelana z SLA iz fotoobčutljive smole z izboljšanimi tribološkimi lastnostmi ima bistveno daljšo življenjsko dobo od brizgane matice (za več kot 600 %), poleg tega pa zagotavlja tišje delovanje avtomatskih vrat.

Viri:

- [1] Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B.: *Additive Manufacturing Technologies*, Springer Science+Business Media, New York, 2015.
- [2] Bahrin, M.A.K., Othman, M.F., Azli N.H.N., Talib M.F.: Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic, *Jurnal Teknologi* 78(2016)6-13, str. 137–143.
- [3] Ligon, S.C., Liska, R., Stampfl, J., Gurr M., Mühlaupt R.: Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing, *Chemical Reviews* 117(2017)15, str. 10212–10290.
- [4] Nguyen, L. H., Straub, M., Gu, M.: Acrylate-based photopolymer for two-photon microfabrication and photonic applications, *Advanced Functional Materials* 15(2005)2, str. 209–216.
- [5] Antony, J.: *Design of Experiments for Engineers and Scientists*, Elsevier, Oxford, 2014.
- [6] Friedrich K., Polymer composites for tribological applications, *Advanced Industrial and Engineering Polymer* 1(2018)1, str. 3–39.

INDUSTRIJSKI  
FORUM  
**IRT**  
2019

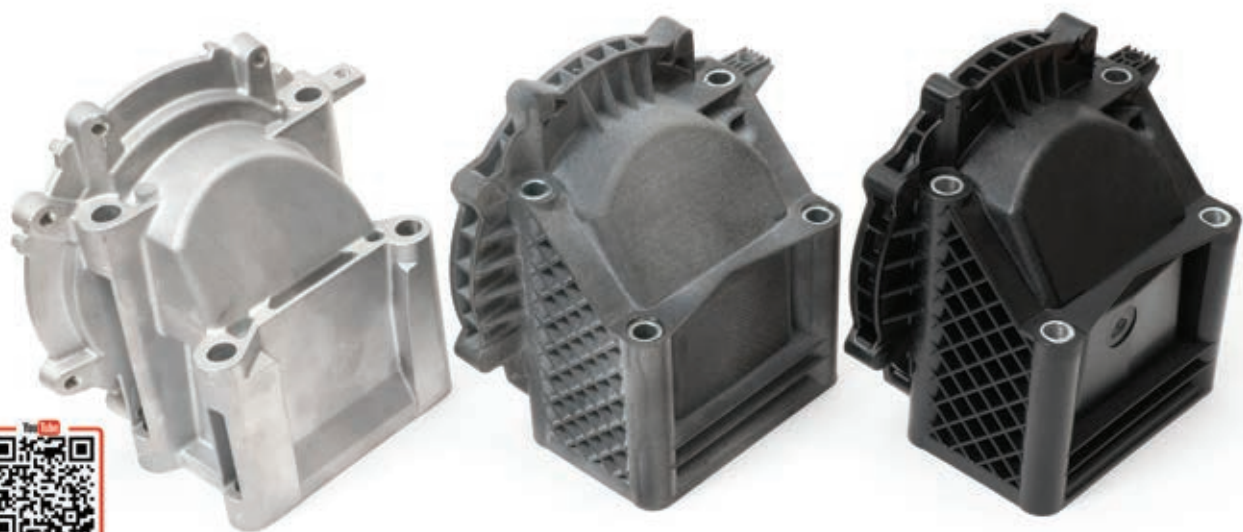


Finalisti izbora  
TARAS 2019





## RAZVOJ POLIMERNE IZVEDBE AVTOMOBILSKE KOMPONENTE OLJNEGA SEPARATORJA



Iskra ISD Plast d.o.o.

Fakulteta za strojništvo  
Univerza v Ljubljani  
(LADISK)

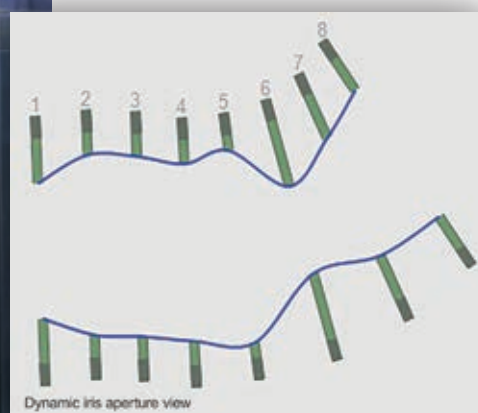
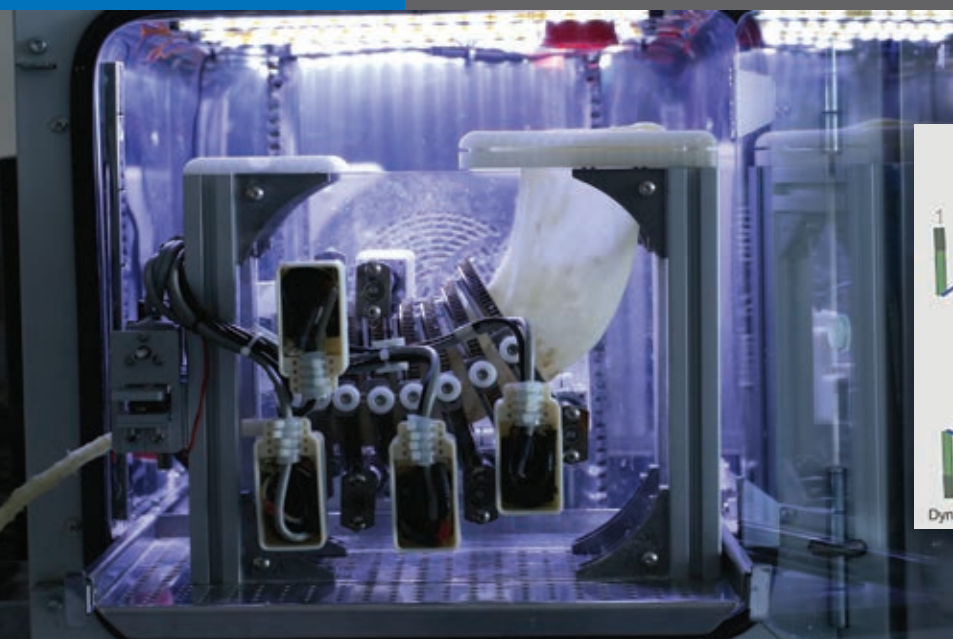
Glavni trendi avtomobilske industrije 21. stoletja kažejo predvsem na potrebo po zmanjšanju števila sestavnih delov ter zmanjšanju teže vozil. Slednji cilj je aktualen tako z vidika zmanjšanja CO2 izpustov pri vozilih z notranjim izgorevanjem, kot dandanes še posebej z namenom povečanjem dosega pri električnih vozilih, kjer je težnja po zmanjšanju teže ključnega pomena.

Termoplasti predstavljajo temeljno skupino polimerov, ki zagotavlja tako ustrezno reciklabilnost in zaradi stalnega razvoja tudi vedno boljše mehanske lastnosti in kemično odpornost. Posledično so odlični substitut kovinam, saj imajo poleg bistveno nižje gostote tudi boljše sposobnost preoblikovanja in torej zmožnost doseganja kompleksnih, multifunkcionalnih geometrij, kar vodi do zmanjšanja števila sestavnih delov.

V podjetju Iskra ISD Plast d.o.o. iz Kranja smo skupaj z LADISK-om (FS LJ) in ob tehnični podpori FTPO-ja razvili polimerno povezovalno kolena oljnega separatorja 13 litrskih dizelskih motorjev tovornih vozil, kot substitut trenutni aluminijasti izvedbi. Polimerna izvedba ima primerljivo dinamsko karakteristiko, je 15% lažja in popolnoma ekonomsko upravičena.



## UMETNI ŽELODEC ZA ANALIZO IN USMERJANJE RAZVOJA KOMPLEKSNIH TRDNIH FARMACEVTSKIH OBLIK



**Lek farmacevtska družba d.d.**  
**Razvojni center Slovenija**

**Fakulteta za strojništvo Univerza v Ljubljani**

**Fakulteta za farmacijo Univerza v Ljubljani**

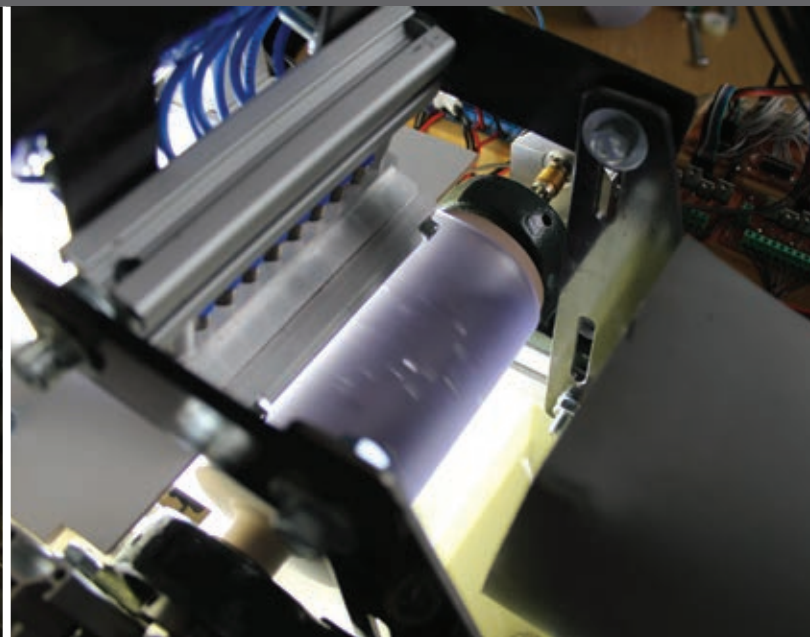
Peroralna aplikacija zdravil ostaja najbolj zaželen način dajanja zdravil z najvišjim sodelovanjem bolnika pri terapiji, saj je bolniku prijazna. Pri trdnih farmacevtskih oblikah (FO) je proces sproščanja zdravilne učinkovine v prebavnem traktu zelo pomemben korak za sledečo absorpcijo in v končni fazi ustrezno terapevtsko učinkovitost zdravila. Za vrednotenje trdnih FO so v uporabi standardizirane naprave za sproščanje, ki so zaradi svoje enostavnosti in robustnosti dobro uveljavljene v večini laboratorijev.

Zaradi porasta vedno bolj kompleksnih FO in slabo topnih zdravilnih učinkovin pa klasične metode za testiranje sproščanja velikokrat ne pokažejo realne situacije, zato je vedno večji poudarek na biorelevantnih metodah, ki posnemajo fiziološke pogoje prebavnega trakta. Ob dobrih simulacijah lahko opustimo pilotne preskuse na ljudeh, ki jih pogosto izvedemo pred glavno bioekvivalenčno (BE) študijo, z namenom da potrdimo ali zavrnilo pravilnost v razvoju novega generičnega zdravila.

Z zavedanjem pomena biološko relevantnih metod za doseganje konkurenčnosti na trgu se je podjetje Lek d.d. odločilo, da bo v sodelovanju s Fakulteto za strojništvo, UL in Fakulteto za farmacijo razvilo tehnično zahteven in povsem nov želodčni simulator. Naprava je strateškega pomena za naše podjetje, saj omogoča hitre razvojne aktivnosti, zmanjšanje števila pilotnih študij (opuščanje), povečano uspešnost končnih BE-studij in posledično čim hitreše trženje zdravil, kar vodi do velikih finančnih učinkov v podjetju. Posebnost in prednost našega inovativnega modela je v unikatnosti neposrednega posnemanja dimenzij in peristaltičnega gibanja želodca ter dejstva, da je primeren za testiranje različnih oblik trdnih peroralnih dostavnih sistemov. Slednje smo potrdili tudi s podeljenim patentom (EP3080793).



## RAZVOJ NAPREDNEGA SISTEMA ZA LOČEVANJE ODPADNE SEKUNDARNE SUROVINE TRANSPARENTNEGA POLIKARBONATA



**PLASTIKA SKAZA d.o.o.**

**Fakulteta za strojništvo  
Univerza v Mariboru**

V podjetju želimo v proizvodnjo zahtevnih izdelkov iz transparentnega polikarbonata vključiti sekundarno odpadno surovino. Če želimo dosegati ustrezne vizualne lastnosti izdelkov iz transparentne plastike, je potrebno iz sekundarne odpadne surovine, ki je v obliki mlevca in kasneje granulata, izločiti delce z nepravilnostmi.

Nepravilnosti na delcih transparentnega polikarbonata so slabo poudarjene in se kažejo v zelo različnih in nepredvidenih oblikah (različne barvne degradacije, zažganine, majhne črne pike ...). Prav tako so opazovani delci plastike nehomogeno prosojni in nedefiniranih oblik. Osvetlitev takšnih delcev povzroča nepredvidene odboje in prehode svetlobe. Zaznavanja takšnih napak z determinističnimi pristopi ni bilo uspešno, zaradi tega smo razvili sistem z uporabo strojnega učenja, kar se je izkazalo kot učinkovita rešitev.

Mehansko ločevanje analiziranega sipkega materiala smo razvili z uporabo komprimiranega zraka in namensko razvitega sistema šob. Za ločevanje majhnih delcev je potrebno zagotoviti visoko hitrost gibanja delcev, da se le-ti izpihujejo med v naprej poznano trajektorijo gibanja po zraku. To pogojuje zelo hitro realno časovno obdelavo zajetih slik ter krmiljenje ventilov, kar smo dosegli z implementacijo sistema na programabilna logična vrata.



INDUSTRIJSKI  
FORUM  
**IRT**  
2019

Sodelujoči na  
Industrijskem forumu IRT



ORGANIZATOR DOGODKA

**PROFI dtp**

**Profi dtp, 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



PROGRAMSKI ODBOR

Vinko Drev, LTH Castings d.o.o.  
Dr. Blaž Florjančič, BSH Hišni aparati, d. o. o., in iMold, d. o. o.  
Gašper Gantar, Visoka šola za proizvodno inženirstvo, Visoka šola za varstvo okolja  
Marko Klinc, Gorenje MDM Kragujevac Srbija  
Dr. Damjan Klobčar, UL, Fakulteta za strojništvo.  
Dr. Janez Kopač, UL, Fakulteta za strojništvo  
Dr. Borut Kosec, UL, Naravoslovnotehniška fakulteta  
Dr. Gorazd Kosec, Acroni, d. o. o.  
Jernej Kovač, UL, Fakulteta za strojništvo  
Dr. Davorin Kramar, UL, Fakulteta za strojništvo  
Marko Lotrič, OZS, predsednik odbora za znanost in tehnologijo  
Dr. Franc Majdič, UL, Fakulteta za strojništvo  
Marko Mirnik, TURNA, d. o. o.  
Dr. Simon Muhič, SIMUTEH s.p., Fakulteta za tehnologije in sisteme

Dr. Blaž Nardin, Gorenje d.d.  
Matija Obolnar, Hella Saturnus Slovenija d.o.o.  
Dr. Iztok Palčič, UM, Fakulteta za strojništvo  
Dr. Tomaž Pepelnjak, UL, Fakulteta za strojništvo  
Dr. Tomaž Perme, vodja programskega odbora  
Janez Poje, KERN, d. o. o.  
Matjaž Rot, revija IRT3000  
Dr. Tomaž Savšek, TPV, d. d.  
ŠENKINC Denis Šenkinc, Strokovna revija IRT3000  
Janez Škrlec, Razvojno raziskovalna dejavnost Janez Škrlec s.p.  
Darko Svetak, Strokovna revija IRT3000  
Miha Zibelnik, Orodja Prebil d.o.o.  
Dr. Leon Žlajpah, Institut Jožef Stefan  
Dr. Matjaž Žnidaršič, CBS inštitut, celovite gradbene rešitve, d. o. o.

MEDIJSKI PARTNERJI



PARTNER REGISTRACIJE



POKROVITELJ RAČUNALNIŠKE OPREME



PARTNERJI ZNANJA IN TEHNOLOŠKI PARKI

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo



Univerza v Mariboru  
Fakulteta za strojništvo



VISOKA ŠOLA  
ZA PROIZVODNO  
INŽENIRSTVO



Fakulteta za  
tehnologijo polimerov



PARTNERJI IZ INDUSTRIJE



**gorenje**group  
Gorenje Orodjarna, d.o.o.

**KOVINOPLASTIKA** LOŽ  
ALVEUS | ARX | KOVINOtools



**LITOSTR&JPOWER**

**B/S/H/**



**TRI  
MO**

ENGINEERING  
TOMORROW



Iskra Mehanizmi, d.d., Lipnica

**Turmalina**  
Nadaljujemo tradicijo. Ustvarjamo prihodnost.



GLAVNI POKROVITELJ



NACIONALNI PARTNER FORUMA



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA GOSPODARSKI  
RAZVOJ IN TEHNOLOGIJO

POKROVITELJI



METTLER TOLEDO

SECO

SILABS<sup>...</sup>  
by sij



YASKAWA

RAZSTAVLJAVCI NA FORUMU

**3D-ING**  
SCANNING

**CAD/CAM Lab**  
**CAD/CAM**  
member of GROUP

**LOTRIČ** METROLOGY

**ABB**

**Camincam** d.o.o.

**MARSi**  
plastic solutions  
3D metal print

**abc**  
MAZIVA

**EMUGE**  
FRANKEN

**MESSER**  
Gases for Life

**ADDProS**  
Accepting Challenges. Providing Solutions.

**FANUC**

**METTLER TOLEDO**

**CADdy**

**meusburger**

**BASIC**  
CAD | CAM | CAE

**iCm**  
PASSION FOR PERFECTION

**MIEL** OMRON  
www.miel.si

**BECKHOFF**  
New Automation Technology

**IRT** 2000  
INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE  
WWW.IRT2000.COM

**MiniTec**  
THE ART OF SIMPLICITY

**BÖHLER**

**KMS**

**MOULDING**  
**EXPO**  
Mednarodni sejem  
za orodja, modele in kalupe

**BTS**  
COMPANY

**Leoss**  
moč podatkov

**PILZ**  
THE SPIRIT OF SAFETY

RAZSTAVLJAVCI NA FORUMU





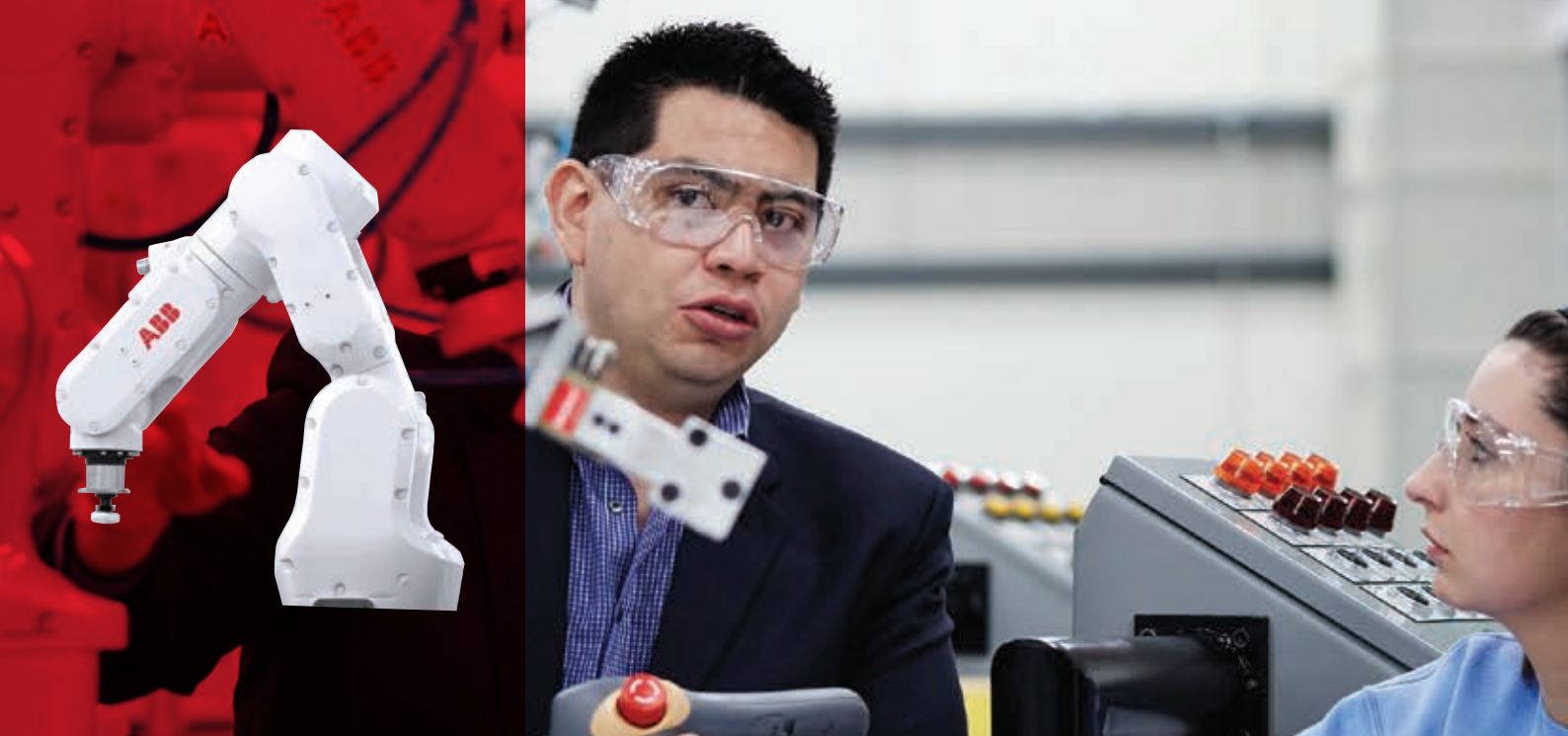
INDUSTRIJSKI  
FORUM

**IRT**

2019

Komercialni oglasi  
podjetij





---

# IRB1100

## ABB-jev najkompaktnejši in najhitrejši robot

Nov ABB-jev industrijski robot IRB 1100 je namenjen hitrim aplikacijam sestave, testiranja, strege strojem, vijačenja in zlaganja v farmacevtski in elektronski industriji, kjer je potrebno hitro izvajati zahtevne naloge v izredno kratkih ciklih, hkrati pa zagotavljati ustrezno kakovost procesa.

IRB 1100 je 10% manjši, 20% lažji ter do 35% hitrejši od prejšnje generacije in je prvi ABB-jev robot zgrajen na novi platformi, ki omogoča večje število robotskih variant glede nosilnosti in dosega. S tem so lahko robotske rešitve povsem prilagojene posameznemu kupcu in aplikaciji.

Robot ima nosilnost 4 kg, na voljo pa je v dveh različicah in sicer z 475 mm in 580 mm dosegom. Robot je krmiljen z novim OmniCore™ krmilnikom, ki z naprednimi funkcijami omogoča izjemne dinamične lastnosti robota. V prihodnosti bo na voljo tudi cleanroom opcija.

[www.abb.com](http://www.abb.com)





# SPLAČA SE BITI NAROČNIK

**UGODNOSTI ZA  
 NAROČNIKE REVIJE**

ZA SAMO 50€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 številok)
- strokovne vsebine na več kot 140 straneh
- vsakih 14 dni e-novice IRT3000 na osebni elektronski naslov
- možnost ugodnejšega nakupa strokovne literature

JAN	FEB	MAR	<b>VSEBINA PO MESECIH</b>	Utrip doma Orodjarstvo in strojogradnja Nekovine Napredne tehnologije
APR	MAJ	JUN		Utrip doma Proizvodnja in logistika Spajanje, materiali in tehnologije Vzdrževanje in tehnična diagnostika
JUL/AVG	SEP			
OKT	NOV/DEC			

**NAROČITE SE!**

Vsak novi naročnik prejme  
 majico in ovratni trak

- ☎ 01 5800 884
- ✉ info@irt3000.si
- 💻 [www.irt3000.si/narocam](http://www.irt3000.si/narocam)

**WWW.IRT3000.COM**



oblikujete vaše sanje

# A<sup>®</sup> Brand

Inovativna in visoko-zmogljiva orodja

*A<sup>®</sup> Brand je premium blagovna znamka, ki jo sestavljajo najnovejša visoko-zmogljiva in inovativna orodja za vrtanje, vrezovanje in vtiskovanje navojev ter rezkanje.*



več o  
**A<sup>®</sup> Brand**  
orodju

A Brand\* A znamka\*

BTS Company d.o.o.  
info@bts-company.si  
www.bts-company.com

LJUBLJANA  
Bratislavska cesta 5  
T. 01 5841 502

MARIBOR  
Cesta k Tamu 16  
T. 02 4600 300

**BTS**  
COMPANY

# NOVO!

ZBIRKA KNJIG  
PATRICKA DE VOSA

# UMETNOST ODREZAVANJA KOVIN



## 1. UPORABNA FIZIKA ODREZAVANJA KOVIN – DOBRE PRAKSE

Knjiga »Uporabna fizika odrezavanja kovin – Dobre prakse« je prva v zbirki štirih knjig, ki sta jih avtorja Patrick De Vos, korporativni vodja tehničnega šolanja pri Seco Tools, AB, in Jan-Eric Ståhl, profesor na katedri za proizvodne tehnologije in materiale Univerze v švedskem Lundu, namenila ljudem, ki imajo v industriji in praksi opravka z odrezavanjem kovin.

### Naročilo knjige

naročila sprejemamo na e-poštni naslov: [info@irt3000.si](mailto:info@irt3000.si)

### Posamezen izvod

1. in 2. knjiga: 25,00 EUR

3. knjiga: 29,00 EUR

Izdajatelj PROFIDTP d.o.o.



## 2. SLABŠANJE ORODJA – PRAKTIČNI MODELI

Ta knjiga obravnava samo en element postopka odrezavanja, in sicer obrabo orodij. Obraba orodij je ravnotežni element modelov odrezavanja. Večino težav, ki se pojavijo pri postopku odrezovanja, je mogoče opredeliti kot dogodke povezane z obrabo orodij. Končno vrednotenje izvedenih sprememb v procesu, da zagotovimo ravnotežje, prav tako temelji na obrabi orodij. Kot taka je obraba orodij ravnotežni element, ravnotežna točka in ravnotežni merilni sistem za odrezovanje brez težav: vse obenem.

**SECO**

**PROFIDTP**



## 3. ODREZAVANJE KOVIN – TEORIJE V PRAKSI

Ta 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.

## VEČ SE IZPLAČA!

Ob naročilu dveh knjig iz zbirke knjig SECOTOOLS vam priznamo

**10 % popust**

na celotni nakup.

Ob naročilu celotne zbirke knjig SECOTOOLS (3 knjige) vam priznamo

**15 % popust**

na celotni nakup.



**BÖHLER**  
**AMPO**



Additive  
Manufacturing  
Powder

HIGHLIGHT GRADES

**BÖHLER L625**  
**AMPO**

**BÖHLER L718**  
**AMPO**

**BÖHLER M789**  
**AMPO**

**BÖHLER N700**  
**AMPO**

**BÖHLER W360**  
**AMPO**

**BÖHLER W722**  
**AMPO**

A LOGICAL STEP  
FOR BÖHLER,  
ONE GIANT LEAP FOR THE  
3D PRINTING INDUSTRY:

**AMPO, high quality powder and printing know-how  
from the material expert voestalpine BÖHLER Edelstahl**

As a technology leader in relevant market segments of powder metallurgy, it was a logical step for us to use our know-how for the production of powder for additive production. Our extensive research and testing facilities enable us to develop customized powder variants to redefine the performance limits of the most demanding components: AMPO, high quality powder and printing know-how from material expert voestalpine BÖHLER Edelstahl.

# 52. MOS TEHNIKA



OPREMA IN ORODJA ZA PODJETJA IN DOMAČE MOJSTRE

Največja poslovno-sejemska prireditelja  
v regiji z 52-letno tradicijo



10.-15. september 2019  
**CELJSKI SEJEM**





## Karakterizacija in določanje kvalitete materialov prilagojeno vašim potrebam

- **Modularni koncept** - rešitve po vaši meri
- **Visoka zmogljivost** - analize širokega spektra vzorcev
- **Zanesljiva avtomatizacija** - analiza velikega števila vzorcev
- **Šolanja in podpora** - seminarji ter aplikacijska literatura
- **Servis** - hiter odziv in možnost servisne pogodbe



Več o termični analizi:

► [www.mt.com/ta](http://www.mt.com/ta)

**METTLER TOLEDO**



Zasnuj, izdelaj, preizkusi!

# POLETNA ŠOLA STROJNIŠTVA

**SI ŽE KDAJ POSKUSIL IZDELATI IZDELEK, KI PRAV ZARES DELUJE?**

Pridruži se Poletni šoli strojništva, kjer boš najprej izdelek zasnoval, ga izdelal v laboratoriju in ga na koncu praktično preizkusil. Po končani poletni šoli izdelek lahko odneseš s seboj domov, da ga pokažeš svojim prijateljem in domačim.

**KDAJ?**

Od vključno 20. do 23. avgusta 2019.

**KJE?**

Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva cesta 6, 1000 Ljubljana.

**KDO?**

Osnovnošolci od 7. do 9. razreda in srednješolci od 1. do 3. letnika.

**DELAVNICE!**

Na voljo je 10 zanimivih delavnic.

**PRIJAVA!**

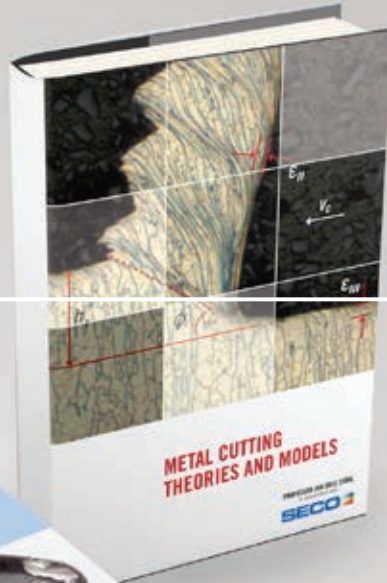
Na izbrano delavnico se prijaviš prek spletne prijavnice. Prijave so možne do vključno 30. 6. 2019 oz. do zapolnitve mest pri posamezni delavnici.

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo



Več informacij na  
[www.poletnasolastrojnistva.si](http://www.poletnasolastrojnistva.si)

Partick De Vos je, v sodelovanju s prof. Ståhlom iz Univerze v Lundu, Švedska, izdal tri knjige, z namenom zagotavljanja tako podpore pri izobraževanju strokovnjakov kot tudi vira dopolnilnih informacij na področju odrezavanja kovin. Seco jih uporablja pri izobraževanju strokovnjakov po vsem svetu, da lahko bolje razumejo najrazličnejše procese obdelave kovin z odrezavanjem. S ponosom vas obveščamo, da smo v sodelovanju z založniškim podjetjem PROFIDTP, prevedli vse tri knjige v slovenski jezik. Svoj izvod lahko naročite na spletni strani IRT3000.



# PREVEDENO ZA VAS

WWW.IRT3000.SI/STROKOVNA-LITERATURA



SECO TOOLS SI D.O.O.  
TEL +386 2 450 23 40  
FAX +386 2 450 23 41  
EMAIL: SECO.SI@SECOTOOLS.COM

**SECO**

# FS Fakulteta za strojništvo

## ■ UNIVERZITETNI ŠTUDIJ

Strojništvo  
Gospodarsko inženirstvo - smer Strojništvo  
Mehatronika  
Tehniško varstvo okolja  
Oblikovanje in tekstilni materiali

## VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ

Strojništvo  
Mehatronika  
Tehnologije tekstilnega oblikovanja

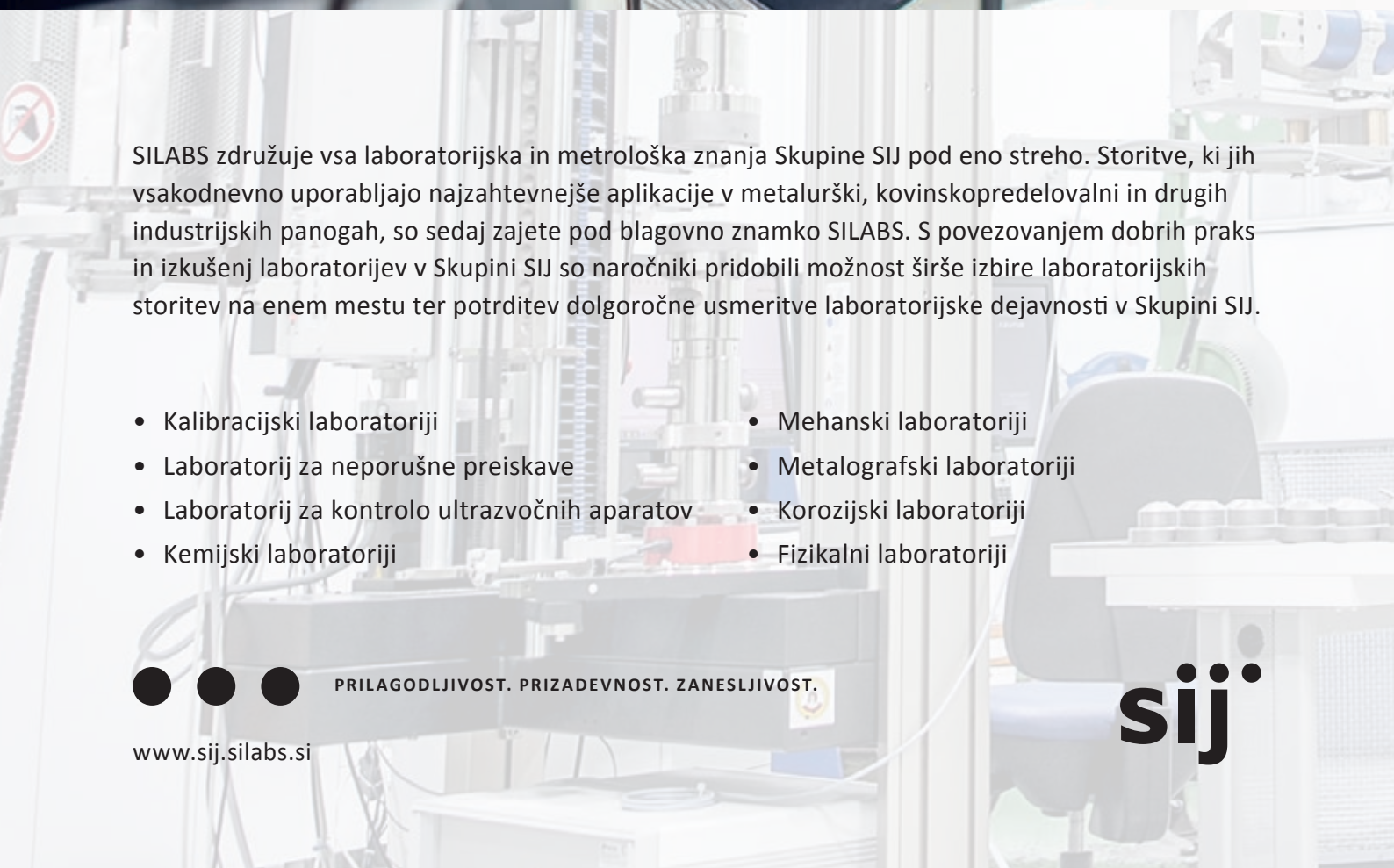
## ■ MAGISTRSKI ŠTUDIJ

Strojništvo  
Gospodarsko inženirstvo - smer Strojništvo  
Mehatronika  
Tehniško varstvo okolja  
Oblikovanje in tekstilni materiali  
Inženirsko oblikovanje izdelkov

## ■ DOKTORSKA ŠOLA FAKULTETE ZA STROJNIŠTVO



**SILABS**<sup>...</sup>



SILABS združuje vsa laboratorijska in metrološka znanja Skupine SIJ pod eno streho. Storitve, ki jih vsakodnevno uporabljajo najzahtevnejše aplikacije v metalurški, kovinskopredelovalni in drugih industrijskih panogah, so sedaj zajete pod blagovno znamko SILABS. S povezovanjem dobrih praks in izkušenj laboratorijev v Skupini SIJ so naročniki pridobili možnost širše izbire laboratorijskih storitev na enem mestu ter potrditev dolgoročne usmeritve laboratorijske dejavnosti v Skupini SIJ.

- Kalibracijski laboratoriji
- Laboratorij za neporušne preiskave
- Laboratorij za kontrolo ultrazvočnih aparatov
- Kemijski laboratoriji
- Mehanski laboratoriji
- Metalografski laboratoriji
- Korozijski laboratoriji
- Fizikalni laboratoriji

● ● ● PRILAGODLJIVOST. PRIZADEVNOST. ZANESLJIVOST.

[www.sij.silabs.si](http://www.sij.silabs.si)

**sij**<sup>•</sup>

# VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 24

- | 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

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.

Štiriindvajsetletno izhajanje revije Ventil pomeni, da je v prostoru neprecenljiva za razvoj stroke. Uredništvo si skupaj z znanstvenim 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 vtujini 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



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



**Novi ATOS 5**

Hitro 3D-skeniranje z velikim merilnim območjem

Plastics  
Knowledge  
Day 2019

12. 6. 2019 Zagreb, Hrvaška  
11. 9. 2019 Ljubljana, Slovenija



Veselimo se vaše prijave na naslovu:  
[www.gom.com/knowledge-day](http://www.gom.com/knowledge-day)



**Novi GOM CT**

Meroslovni računalniški tomograf



# MTECH 2019

**POREČ / HRVAŠKA / 9.-12. 10.**

Vabimo vas na mednarodno konferenco MTECH, ki bo v navdušujočem kompleksu Valamar Collection Isabella Island Resort v Poreču. Posebnost konference je, da jo organizirajo štiri strokovna združenja in tako povezuje različna strokovna področja. Izjemno smo ponosni tudi na sekcijo izbranih študentskih prispevkov.

Na enem mestu se bodo zbrali inženirji in strokovnjaki, raziskovalci, delodajalci in študenti, ki si bodo v spodbudnem okolju izmenjali izkušnje na področju inovacij, razvoja materialov in preskusnih metod. Vsi strokovnjaki, ki se ukvarjajo z eksperimentalnimi raziskavami, se bodo lahko srečali s sodelavci vključenim v proizvodnjo, zaščito pred korozijo, kontrolo kakovosti in druge vidike industrijskih procesov.



15. 7. Rok za oddajo prispevka

15. 8. Preliminarni program

9. 9. Rok za zgodnje plačilo kotizacije

18. 9. Dokončni program

18. 9. Rok, do katerega je zagotovljena ugodna cena hotelske nastanitve

## POMEMBNI DATUMI



- Korozija
- Metode zaščite pred korozijo
- Materiali, odporni proti koroziji
- Neporušne preiskave in vrednotenje materialov
- Preiskave v pogojih uporabe
- Certificiranje in akreditiranje
- Merilna tehnika in zagotavljanje kakovosti
- Materiali in procesi
- Karakterizacija materialov
- Nanomateriali in nanotehnologije
- Metalurgija
- Trenje, obraba in mazanje
- Prevlake
- Napredne metode za modificiranje in oslojevanje površin
- Toplotna obdelava v vakuumu
- Oprema za toplotno obdelavo
- Gasilna sredstva in tehnologije gašenja
- Matematično modeliranje in simulacije procesov toplotne obdelave

## TEME



CENI - Hrvatski center za neporušne preiskave - [www.ceni.hr](http://www.ceni.hr)

HDMT - Hrvatsko društvo za materiale in tribologijo - [www.hdmt.hr](http://www.hdmt.hr)

HDTOIP - Hrvatsko društvo za toplotno obdelavo in oplemenitenje površin - [www.hdtoip.hr](http://www.hdtoip.hr)

HDZAMA - Hrvatsko društvo za zaščito materialov - [www.fsb.unizg.hr/hdzama](http://www.fsb.unizg.hr/hdzama)

Medijski partner:



**Več informacij:**

[www.mtech.com.hr](http://www.mtech.com.hr)

[mtech@mtech.com.hr](mailto:mtech@mtech.com.hr)

# MOTOMAN HC10

6-osni-kolaborativni robot



Krmiljen z  
**YRC1000**

Motoman HC10 je 6-osni kolaborativni robot z nosilnostjo 10kg in polmer dosega R=1200mm.

HC10 predstavlja novo generacijo robotov, ki so zmogljivi, cenovno dostopni, vsestransko uporabni, preprosti za uporabo in izdelani za integracijo v industrijske procese. Roboti so namenjeni uporabnikom, ki iščejo preprosto in hitro avtomatizacijo nalog, ki jih industrijski roboti opravljajo v bližini ljudi v sodelujočem načinu delovanja.

#### Varno sobivanje z uporabniki

##### Varnostni krmilnik FSU: Functional Safety Unit

Nadzor nad različnimi mejnimi vrednostmi sile merjene s senzorji sile na vseh šestih robotskih oseh.

##### Tehnologija PFL Power and Force Limiting

Robot se takoj odzove na zunanje sile in tako ščiti uporabnika.

##### Aplikacija EasyTeach – natančno ročno vodeno učenje in programiranje robota

Poenostavljena izvedba in preprosta uporaba robota HC10.

#### Brez varnostne ograje

- Vgrajena funkcija kontrole sile ob dotiku na vseh šestih robotskih oseh
- Gibljivi deli robota so oblikovani tako, da preprečujejo možnost poškodb
- Varnostni standard – aplikacija za industrijske robote: ISO 10218-1 (5.10.5 Power and Force limiting)
- Varnostne funkcije za krmilnike industrijskih robotov: ISO 13849-1, PLd, CAT3
- Tehnična specifikacija za delovanje kolaborativnih robotov: TS15066

#### Enostavno programiranje

- Neposredno premikanje robotske roke s pomočjo ročnega vodenja
- Pametni vmesnik (Smart HUB) za programiranje po principu »enostavnega učenja«

## NOVO FREZALO ZA ČELNO OBDELAVO Z VISOKIMI PODAJALNIMI HITROSTMI

Po uspehu serije AHX640 ter AHX440, ki je bila oblikovana za manjše rezalne ploščice za uporabo na kompaktnih obdelovalnih centrih z manjšimi močmi, je bil pričakovan razvoj nove serije frezal z visokimi podajalnimi hitrostmi za čelno frezanje jekel, litega železa in trših materialov. Novo frezalo AHX475S omogoča, zaradi geometrije kota nagnjenosti rezalne ploščice 75°, višje rezalne hitrosti. Na seriji 440 lahko prav tako uporabite visoko zmogljive ekonomične rezalne ploščice s štirinajstimi rezalnimi robovi, kar omogoča uspešno obdelavo tudi na manjših obdelovalnih strojih z manjšo močjo.

Nova tehnologija, ki jo je podjetje Mitsubishi razvilo za obdelavo jekel, se imenuje Miracle Sigma, to so rezalne ploščice MP s PVD-prevleko. Najnovejša kakovosti rezalnih ploščic MP6120 in MP6130 so idealne z lomilci odrezkov geometrije L in M. Nerjavno jeklo je enostavno obdelovati z uporabo rezalnih ploščic kakovosti MP7130 in MP7140, ki imata visoko odpornost na toplotne razpoke in gladko površino, kar preprečuje nalepek na cepilni ploskvi. Obseg materialov HRSA (toplotno odporne super zlitine) je v veliki meri pokrit z na novo predstavljeno kakovostjo



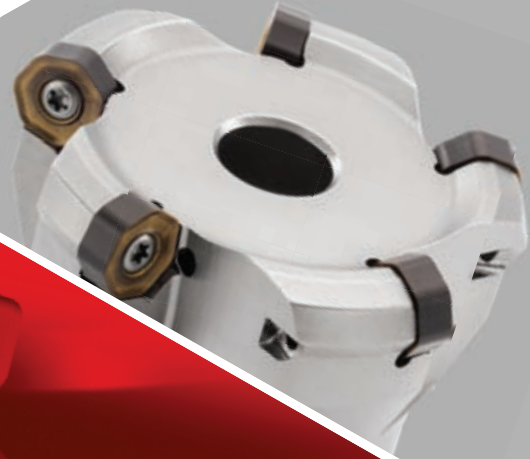
MP9120 in MP9130 in so na voljo za velika frezala AHX640. Preizkušene in zanesljive rezalne ploščice MC5020 in VP15TF so namenjene učinkovitemu frezanju litega železa. Poleg tega zelo vsestranske rezalne ploščice, ki so oplaščene s tehnologijo Miracle Sigma, dajejo odlične rezultate tako v manjših delavnicah pri obdelavi različnih materialov kot tudi v zelo produktivnem okolju. Za serijo AHX440 sta na voljo tudi dve novi rezalni ploščici wiper v kakovosti MC5020 za lita železa in VP15TF za splošno obdelavo.

Stalne teme v moderni obdelovalni industriji so zmanjšanje proizvodnih stroškov in povečanje produktivnosti; in prav serija AHX s heptagonsko geometrijo in dvostranimi rezalnimi ploščicami s kar 14 rezalnimi robovi zagotavlja manjše stroške obdelave. Poleg tega enostaven, a robusten sistem za vpenjanje rezalne ploščice z enim vijakom skrajša čas zamenjave rezalnega roba. Trdnost, ki je potrebna za kakovostno vpetje, je zagotovljena s celotnim krožnim kontaktom med sedežem in rezalno ploščico. Ko je potrebno obračanje, je identifikacija rezalnih robov enostavna, saj so na rezalni ploščici v fazi izdelave sintrane številke od 1 do 7.

Nabor rezkarjev AHX je na voljo v velikostih premera od Ø 40 mm ter vse do Ø 315.

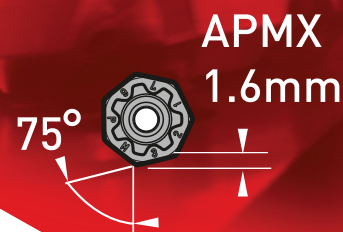
ISO	GRADE SELECTION													
P	PVD			M	PVD		K	CVD	PVD	S	PVD		H	PVD
P10	MP6120	VP15TF	VP20RT	M10	VP15TF	VP20RT	K10	MC5020	VP15TF	S10	VP20RT	MP9120	H10	VP15TF
P20	NEW	NEW	NEW	M20	NEW	NEW	K20	NEW	NEW	S20	NEW	NEW	H20	NEW
P30	NEW	NEW	NEW	M30	NEW	NEW	K30	NEW	NEW	S30	NEW	NEW	H30	NEW
P40	NEW	NEW	NEW	M40	NEW	NEW	K40	NEW	NEW	S40	NEW	NEW	H40	NEW

# AHX475S



**“HIGH-FEED”  
REZKALNA GLAVA  
ZA PLANSKO REZKANJE  
Z VISOKOPRODUKTIVNIMI PLOŠČICAMI  
NA 14 REZALNIH ROBOV**

- premeri  $\phi 50$  do  $\phi 160$  mm (4 do 12 ploščic)
- obojestranska ploščica na 14 rezalnih robov
- maksimalna globina rezkanja  $APMX=1,6$  mm
- pomik do 2 mm/zob
- za obdelavo jekla, litine in kaljenega jekla



VERISURF.



**Camincam** d.o.o.

Pohorska cesta 31, Slovenj Gradec  
info@camincam.si, tel.: 02 88 29 214



Verisurf podpira različne 3D merilne naprave, kot so koordinatni merilni stroji, prenosne merilne roke, laserski skenerji, laserski projektorji, laserski sledilci in tudi prenosni 3D-merilnik (PCMM) Master3DGage, s katerim lahko hitro in vendar natančno merimo in kontroliramo izdelke in jih primerjamo s CAD modelom – **direktno na CNC stroju ali kjerkoli drugje v proizvodnem procesu.**



**Build** omogoča sprotni grafični prikaz odstopanj merjenega kosa od računalniškega modela. Z njim lahko v realnem času primerjamo izdelek z njegovim CAD modelom, direktno na CNC stroju ali kjerkoli drugje v proizvodnji.



**Automate** omogoča enostavno, hitro in cenovno ugodno programiranje ter upravljanje s koordinatnimi merilnimi stroji (CMM). Od preprostega online programiranja v načinu učenja do hitrega programiranja na osnovi CAD modela.



**Measure** je zbirka enostavnih in prilagodljivih orodij za merjenje pozicije posameznih točk, preverjanje dimenzijske točnosti ter pravilnosti in natančnosti geometrijskih oblik. Vsebuje tudi aplikacijo za izdelavo dokumentov in poročil.



**Reverse** je programska oprema za povratno inženirstvo, izdelavo računalniškega 3D modela na osnovi posnetega fizičnega objekta. Napredna orodja, ki so vključena v Verisurf Reverse, omogočajo konstruiranje natančnih CAD modelov.



# UMETNOST BRIZGANJA

HENRIK PRIVŠEK • MATJAŽ ROT  
AVTOR UREDNIK

## IZ VSEBINE

### TEHNIČNE ZAHTEVE ZA TERMOPLASTIČNI MATERIAL

- Izbira materiala za nek namen
- Določanje lastnosti materiala
- Opis standardov za ugotavljanje lastnosti termoplastičnih materialov
- Preglednice tehničnih lastnosti termoplastičnih materialov

### VPLIV PARAMETROV PREDELAVE TERMOPLASTIČNEGA MATERIALA NA KAKOVOST IZDELKA

- Vpliv materiala in njegove priprave na kakovost izdelka
- Vpliv orodja in njegove priprave na kakovost izdelka
- Vpliv stroja in njegove priprave na kakovost izdelka
- Razmerje med pripravo, predelavo in strukturo materiala ter kakovostjo izdelka
- Preglednice tehnoloških priporočil

### NAPAKE PRI BRIZGANJU IN NJIHOVO PREPREČEVANJE

- Najpogostejše napake pri predelavi termoplastov
- Obrazec Napake v proizvodnem procesu
- Preglednica napak in možnih vzrokov

Knjiga Umetnost brizganja obravnava ozko področje predelave termoplastov s tehnologijo brizganja. Napisana je z namenom, da zapolni veliko praznino v tovrstni literaturi v slovenskem jeziku, medtem ko je v tujih jezikih take literature zelo veliko. Je prvi korak k izpopolnjevanju znanja s tega področja. V njej bo bralec našel več kot le osnove brizganja, saj je napisana z namenom, da deluje kot priročnik tipa vse-v-enem.

Posebnost knjige je tudi v njenem podajanju praktičnih izkušenj. Medtem ko večina podobnih del predstavlja predvsem t. i. najboljše prakse, knjiga Umetnost brizganja izpostavlja napake, ki se jim velja izogniti, in njihove posledice. Cilj avtorja in urednika je delavcem olajšati odpravljanje predelovalnih težav in izboljšati obvladovanje samega proizvodnega procesa.

## KOMU JE KNJIGA NAMENJENA

Knjiga je namenjena zelo širokemu krogu strokovnih delavcev, in sicer delavcem v razvojnem oddelku, ki snujejo nove plastične izdelke, konstruktorjem orodij, orodjarjem, vodjem proizvodnega procesa brizganja, tehnologom brizganja, predelavcem, pripravljalcem materiala ter delavcem oddelka za kakovost. Znanja in vsebine bodo v pomoč tudi komercialno tehničnemu osebju, ki je pri opravljanju svojega dela pogosto primorano poslovnim partnerjem in upravnim uslužbencem posredovati tehnične informacije o predelavi plastičnih mas.

## CENA KNJIGE

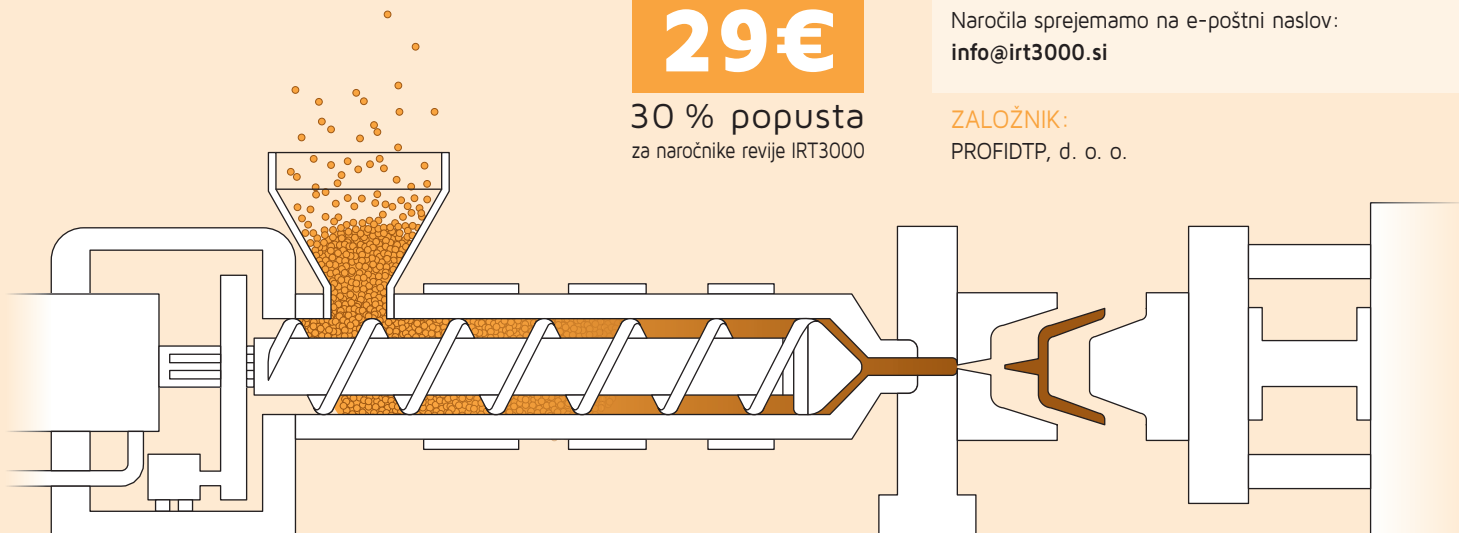
**29€**

30 % popusta  
za naročnike revije IRT3000

## NAROČILO KNJIGE

Naročila sprejemamo na e-poštni naslov:  
[info@irt3000.si](mailto:info@irt3000.si)

ZALOŽNIK:  
PROFIDTP, d. o. o.





# Inovativne rešitve za potrebe industrije 4.0

---

**JAPONSKA KAKOVOST**



**TUNGALOY REZILNA ORODJA**

031 450 017

info@tungaloy.si

[www.tungaloy.com](http://www.tungaloy.com)



# SAMUEXPO 2020

METALWORKING, SUBCONTRACTING AND PLASTIC EXPO

SEJMI:

SAMUMETAL

SAMUPLAST

SUBTECH

30 JANUAR -  
01 FEBRUAR 2020  
PORDENONE  
EXHIBITION CENTER



# VSE, KAR POTREBUJETE. NA ENEM MESTU.

Nemoten, učinkovit nabavni in proizvodni proces ima odločilen pomen za poslovni uspeh. Če se sprašujete, kako lahko z vrhunskim delavniškim pohoštvom izboljšate svoj proizvodni proces, je najbolje, da to vprašate nas. Zakaj? Mi vam prisluhnemo. Razmišljamo z vami. Razmišljamo vnaprej. In vaši izzivi postanejo naši. Pri ponujenih rešitvah so vedno v ospredju vaše prednosti. Kot kupec Hoffmann Group ste nenehno deležni vseh prednosti, ki jih ponujajo naše edinstvene kompetence – kompetenca trgovanja, kompetenca proizvajalca in kompetenca storitev.

[www.hoffmann-group.com](http://www.hoffmann-group.com)



# SKLADIŠČE

**Mora biti blago tudi pri vas vedno ob pravem času na pravem mestu in brez napak?**

**Paket MOBOS Skladišče sestavljajo moduli:**

<b>Prevzem</b>	Prevzem blaga (kosovno, šarža, serijska številka, rok uporabe)
<b>Izdaja</b>	Izdaja blaga
<b>Medskladiščni prenos</b>	Prenos blaga med skladišči
<b>Preskladiščenje</b>	Premiki blaga znotraj istega skladišča (modul »Lokacijsko vodeno skladišče«)
<b>Lokacijsko vodeno skladišče</b>	Informacije o lokaciji blaga, vodenje po skladišču
<b>Optimizacija po skladišču</b>	Predlog optimalnih poti in razporeditve blaga v skladišču
<b>Proizvodnja</b>	Enostavna proizvodnja z možnostjo dodelav po specifikaciji stranke
<b>Inventura</b>	Inventura blaga v skladišču
<b>Sledljivost</b>	Skrb za pravočasno izdajo iz skladišča (FIFO, FEFO)
<b>Komision</b>	Izdelava dokumentov po predlogi

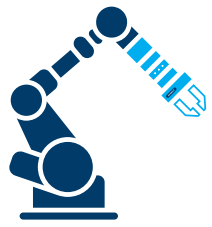


Paket Skladišče je del celotnega sistema MOBOS. Ta je na voljo v različnih paketih, ki jih lahko med seboj kombiniramo. Tako lahko istočasno na istem terminalu deluje več paketov, npr. **TERENSKA PRODAJA, ZBIRANJE NAROČIL in SKLADIŠČE**. Več na [www.mleoss.com](http://www.mleoss.com)

MOBOS Skladišče je rešitev za vse, ki želite pospešiti in poenostaviti delo v skladišču ter izločiti napake. **MOBOS** je povezljiv z vašim informacijskim sistemom. Povprašajte na [leoss@leoss.si](mailto:leoss@leoss.si) ali po telefonu **(01) 530 90 28**. Za vse produkte iz našega kataloga zagotavljamo kompletno podporo in pomoč kot tudi vzdrževanje v lastnem servisu.



Equipped by  
**SCHUNK**



**+ 90 %**

hitrejša  
menjava  
prijemal  
Sistem hitre  
menjave SWS



**+ največji  
odklon  
do 3°**

Enota za  
kompenzacijo  
toleranc TCU



**NOVO:**

**+ Do 50 %  
večja prijemalna  
sila**

Univerzalno  
prijemalo  
PGN-plus-P



Vrhunsko vpenjanje in prijemanje

Vse za vase artikulirane  
robotske roke

Več kot 3000 komponent  
za strego in montažo.

**SCHUNK**

[schunk.com/equipped-by](https://schunk.com/equipped-by)

001111101011010101100111110101101010111011  
001111101011010101100111110101101010111011

# 11.-13.2.2020

GR, Ljubljana, Slovenija

001111101011010101100111110101101010111011  
001111101011010101100111110101101010111011

**IAM**

**INTRONIKA**

**Robotics**

**ICT 4Industry**



001111101011010101100111110101101010111011  
00111110101101010111011  
001111101011010101100111101011010111011  
00111110101101010111011  
0011111010110101011001111101011010111011  
00111110101101  
01101010111011  
01101010111011

11010110101011  
11011101010110  
11011101010110

powered by

**iCM**

[www.icm.si](http://www.icm.si)



## Spojite vse naenkrat in povečajte vašo produktivnost

Ne glede na vaš izbor povezave - premer, zmogljivost, mehanske lastnosti, količina ...

Stäubli multi-spojke zagotavljajo rešitev in konfiguracijo, ki ustreza vašim zahtevam za vse aplikacije v industriji predelave plastičnih mas. Hlajenje – uvlek jeder – izmetači – sekvenčno brizganje ...

**Multi spojke za termo regulacijo in hidravlične povezave:**

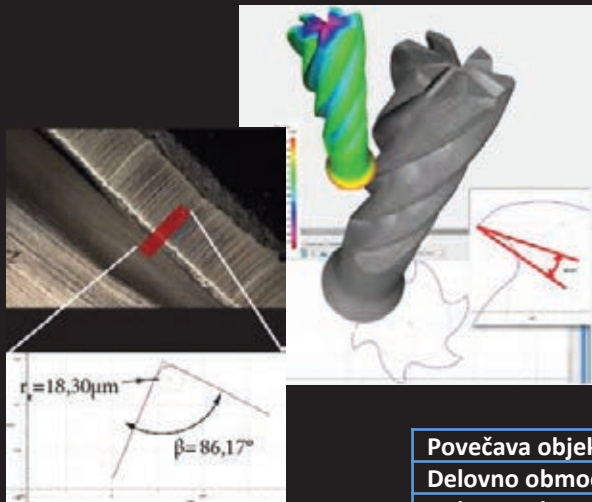
**Zanesljivost. Učinkovitost. Varnost. Stäubli.**

[www.staubli.com](http://www.staubli.com)

FAST MOVING TECHNOLOGY

Stäubli Systems, s.r.o., Podružnica Ljubljana – Tel.: +386 8 20 50 105 – E-mail: [d.kikelj@staubli.com](mailto:d.kikelj@staubli.com)

# STÄUBLI



**MERITVE GEOMETRIJE REZALNIH ORODIJ,  
MERITVE OBRABE REZALNIH ORODIJ ...**

**MERITVE HRAPAVOSTI (linijska, površinska)**

**MERITVE POLJUBNE 3D GEOMETRIJE**

**ALICONA  
InfiniteFocusSL**



Povečava objektiva	5x	10x	20x
Delovno območje (X, Y, Z) [mm]	50 x 50 x 155		
Delovno območje objektiva [mm]	4 x 4	2 x 2	1 x 1
Lateralna resolucija [µm]	3,52	1,76	0,88
Vertikalna resolucija [nm]	510	100	50
Minimalna merljiva profilna hrapavost Ra [µm]	-	0,3	0,15
Minimalna merljiva površinska hrapavost Sa [µm]	-	0,15	0,075
Minimalen merljiv radij [µm]	10	5	3

## KATEDRA ZA MENEDŽMENT OBDELOVALNIH TEHNOLOGIJ

Predstojnik katedre: izr. prof. dr. Franci Pušavec

Telefon: +386 1 4771 211

Faks: +386 1 4771 768

E-mail: franci.pusavec@fs.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo



KATEDRA ZA  
MENEDŽMENT  
OBDELOVALNIH  
TEHNOLOGIJ



**DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE**  
in  
**WORLD FOUNDRY ORGANIZATION**



vas vljudno vabita na

**WFO-Technical Forum in 59. IFC Portorož**  
s spremljajočo livarsko razstavo

**18.-20. september 2019**

Kontakt in vse informacije na:

DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE • Lepi pot 6, p.p. 424, 1001 Ljubljana.

T: 01 2522 488 • F: 01 4269 934

drustvo.livarjev@siol.net • www.drustvo-livarjev.si

# FIELD system



## POVEŽE

različne naprave proizvajalcev in generacij



## NADZIRA

analize in izboljšave



## MISLI

z umetno inteligenco kot podpora pametni avtomatizaciji in optimizaciji

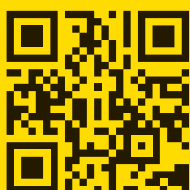


## ZAŽENE

in nadzira opremo z boljšim realnim časom

FIELD je programska oprema za upravljanje pametnih tovarn, izdelana v skladu z načeli "Industrije 4.0", in je namenjena za zbiranje in analizo podatkov s posameznih komponent, strojev, proizvodnih linij ali celotnih tovarn. FANUC nudi strojno opremo in osnovno strukturo programske opreme. Ker je sistem popolnoma odprt, lahko uporabniki ali neodvisni ponudniki izdelujejo lastne aplikacije povsem po meri in zahtevah uporabnika.

**TO JE FANUC!**



**Za nekatere je to služba.  
Za nas je to strast!**

FANUC Adria d.o.o.  
Ipavčeva 21  
3000 Celje  
[www.fanuc.si](http://www.fanuc.si)

# BOVEC MARATON

[www.bovecmaraton.si](http://www.bovecmaraton.si)

14. 9. 2019



Za vse naročnike  
revije IRT3000  
**-10%**  
(na [info@irt3000.si](mailto:info@irt3000.si))



42 km  
21 km  
7,4 km

Čiste narave





INDUSTRIJSKI  
FORUM  
**IRT**  
2019

ISBN 978-961-94025-7-3



9 789619 402573